

CONEXÃO DE MICRORREDES CONDOMINIAIS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Tema: Recursos Energéticos Distribuídos

Autores: Ronaldo Antonio Roncolato

Co-Autores: José Filho Castro, Pedro A. Rosas, Vittoria S. Andrade, Antonio R. Donadon, Luiz Carlos da Silva, José Gomes Matos, Rafael G. Bento, Fernando A. Assis, Francisco C. R. Coelho

Empresa: IATI - Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação

Resumo

- As microrredes de energia elétrica condominiais são constituídas por um agrupamento geograficamente próximo, no formato de um condomínio residencial ou comercial. A microrrede condominial é um sistema local delimitada geograficamente e dotada de cargas e Recursos Energéticos Distribuídos (RED). Dentro das microrredes há um ou mais tipos de geração de energia distribuída e sistema de armazenamento de energia, normalmente a baterias. As microrredes condominiais normalmente operam conectadas à rede elétrica da distribuidora, podendo também trabalhar de forma ilhada fornecendo energia aos clientes, no caso de interrupção de fornecimento pela concessionária. O presente trabalho apresenta os principais critérios para a conexão das microrredes condominiais às redes de distribuição da concessionária, em Média ou Baixa Tensão. É apresentado também o caso real da conexão de uma microrrede condominial em um condomínio residencial na cidade de Campinas/SP, como parte do projeto CPFL MERGE – Desenvolvimento de Microrredes Eficientes, Confiáveis e Sustentáveis. Essa microrrede, denominada CON-GRID, foi projetada e implantada para operar de forma inteligente e independente quando da interrupção da rede elétrica da CPFL. Localizada no Condomínio dos Ipês, consiste em microrrede com geração fotovoltaica, sistema de armazenamento em baterias (BESS) e 47 Unidades Consumidoras (UC), sendo 45 residências e 2 áreas comuns.

1. Introdução

O presente trabalho apresenta, de forma sucinta, os critérios técnicos a serem observados nas instalações elétricas de consumidores conectados às redes de distribuição e que desejam ligar a elas, de forma permanente, Microrredes instaladas em Condomínios (denominadas Congrid), com a presença de centrais de geração distribuída (GD) e sistemas de armazenamento de energia (SAE) e com a possibilidade de operação com geração em paralelismo e/ou de forma ilhada.

São considerados os quesitos específicos de interconexão e requisitos técnicos de microrrede interconectada à rede de distribuição, operando nas seguintes condições:

- Durante a operação da microrrede em paralelo com o sistema elétrico (rede de distribuição);
-

Na ocorrência de desconexão resultando na transição da microrrede para o modo ilhado, em função da perda completa da rede de distribuição ou na condição de contingência/emergência, ou em antecipação a uma perturbação do sistema de energia; e

- No retorno da microrrede do modo isolado de volta à operação em paralelo com o sistema de distribuição, após a restauração da rede à sua condição normal.

O trabalho contém os subsídios técnicos para os estudos de viabilidade, a elaboração dos projetos, a definição das especificações, as características construtivas e os aspectos de operação e manutenção dessas instalações, bem como referência a celebração dos contratos de acesso e Acordo Operativo entre os agentes envolvidos nas questões da conexão de microrredes, implicando no paralelismo ou na operação isolada. Os requisitos e diretrizes são aplicáveis para a conexão de microrredes condominiais dotadas de unidades consumidoras com carga instalada de até 75 kW, devendo ser observado também, no que for aplicável, as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Em complemento é apresentado os aspectos mais relevantes da implantação de uma microrrede (Congrid) destinada a atender o fornecimento de energia do condomínio residencial dos Ipês em Campinas/SP, constituído pelos sistemas fotovoltaicos, sistema de armazenamento de energia e demais equipamentos para interligação, seccionamento, proteção e controle da microrrede.

2. Desenvolvimento

1. Critérios Técnicos de Conexão das Microrredes Condominiais

1.1 - Microrredes Condominiais – Subsistemas

As microrredes condominiais podem ser dotadas dos seguintes subsistemas:

- Cargas especiais essenciais ininterruptíveis: Cargas que devem ter suprimento de forma continuada, sem interrupções de curta ou longa duração. Nas microrredes condominiais, essas cargas podem ser os sistemas de iluminação, sistema de segurança e alarmes etc.;
- Cargas convencionais não essenciais interruptíveis: Cargas que podem ter o suprimento interrompido em situações de desconexão da microrrede ao sistema de fornecimento da distribuidora;
- Sistema de armazenamento de energia (SAE): fonte de energia/potência secundária para as cargas, utilizado para permitir a operação ilhada;
- Geração Própria: grupo gerador (máquina girante ou conversor eletrônico/inversor) com capacidade de operar em paralelismo com as cargas da microrrede;
- Sistema de gerenciamento de energia (EMS – Energy Management System): sistema de controle, em alto ou baixo nível, responsável por gerenciar e controlar a operação dos demais subsistemas.

1.2 - Ponto de Conexão

O ponto de conexão (PCC – *Point of Common Coupling*) da microrrede condominial, ponto onde a mesma se interconecta fisicamente à rede de distribuição, pode ocorrer em média tensão ou em baixa tensão. Nesse ponto deve ser instalado um dispositivo de interconexão, responsável pela separação física da microrrede

do sistema elétrico, podendo ser implementado por meio de um dispositivo de proteção e seccionamento (por exemplo, religador ou disjuntor).

A Figura 1 apresenta um modelo genérico de uma chave geral para conexão e desconexão de uma microrrede condominial, com conexão na rede de média tensão.

Esse modelo é composto por três blocos principais, na qual o primeiro é a unidade de conexão e disjunção entre a rede da distribuidora e a microrrede. Esse pode ser equipado com um disjuntor a vácuo ou até mesmo um religador. Os sistemas de medições, intrínsecos à chave, são formados por TCs e TPs. Vale ressaltar que há a possibilidade da inserção de mais TPs para medições dos níveis de tensão da rede que podem servir de referência para os inversores formadores de rede de dentro da microrrede, dependendo da técnica que será utilizada. O segundo bloco, é onde se concentra todos os controladores, o monitoramento e as proteções adicionais. Já o terceiro bloco é referente à unidade de informação visual que indica o status da chave como fechada ou aberta (operação ilhada ou conectada). Neste terceiro bloco também deve estar presentes as características relativas à segurança para equipes de manutenção.

Considerando que poderá haver tensão dos dois lados de cada polo da chave quando estiver aberta, e que essas tensões, no pior dos casos, podem estar defasadas de 180 graus (em oposição de fase), a classe de isolamento do elemento/chave de conexão ou desconexão de microrredes com possibilidade de operação ilhada, ainda que apenas momentaneamente, deve observar que a tensão nominal eficaz de linha da chave deve ser pelo menos igual ao dobro do valor eficaz da tensão de linha no ponto de conexão.

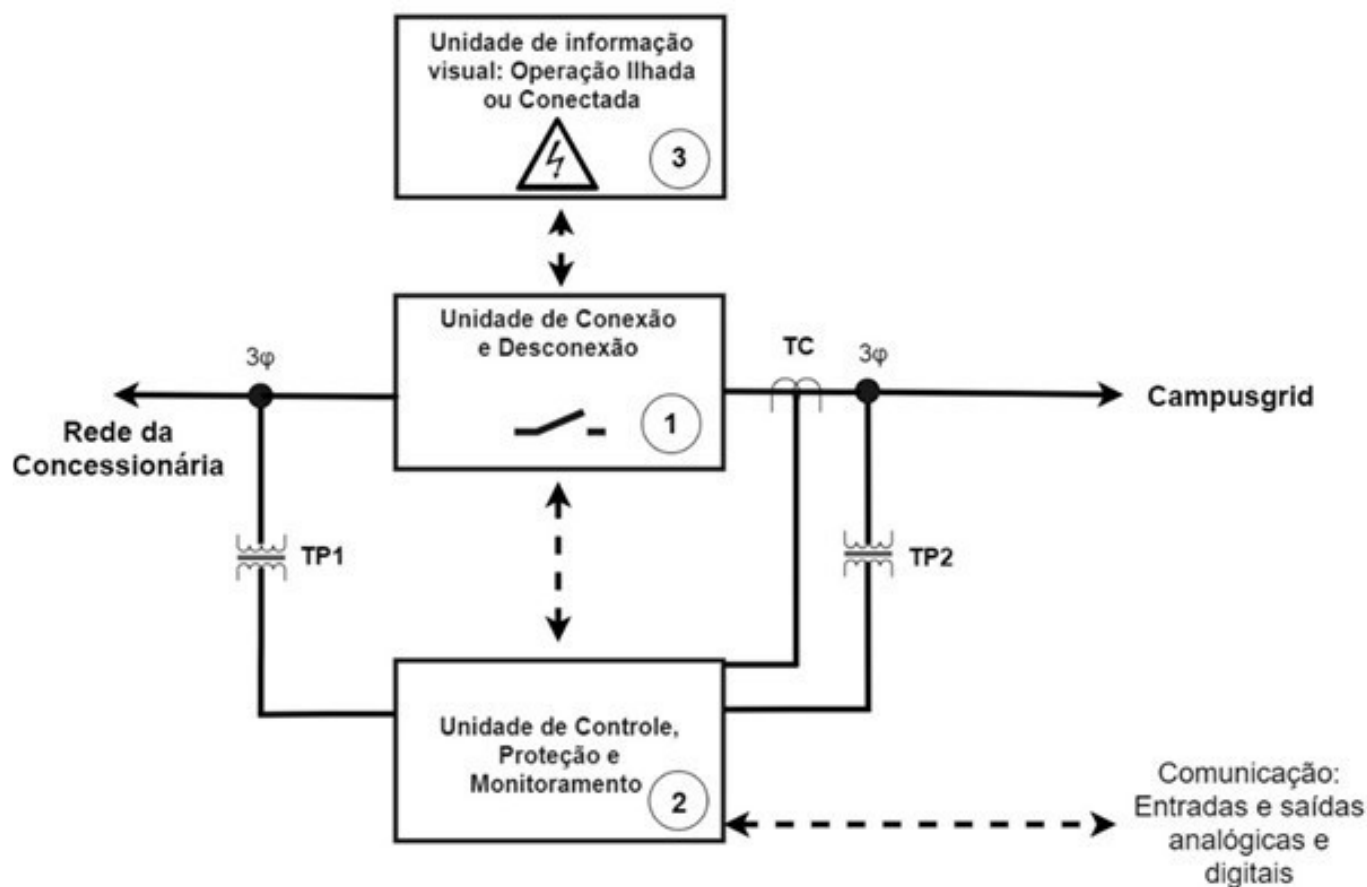


Figura 1 - Modelo Genérico da Composição da Chave Geral de um PCC

Com relação ao bloco de controle apresentado na Figura 1, deve ser capaz de trocar informações com as fontes internas à microrrede, de forma a executar as manobras de abertura e fechamento da chave, de acordo com modo de operação da microrrede;

Particularmente, na transição *off-grid* para *on-grid*, o SCPM (Sistema de Controle, Proteção e Monitoramento) deve enviar sinais de tensão (do lado da Rede) para os conversores formadores de rede (do lado da microrrede), para que esses conversores sincronizem as tensões geradas com as tensões do lado da Rede, o que é necessário para que a chave possa ser fechada. Deve ter sistema de detecção de falta da Rede e garantia de que a microrrede rede da concessionária nessas condições (detecção e proteção contra reenergização não intencional da rede de distribuição durante ilhamento da microrrede).

1.3 - Diagramas de Conexão (Unifilares)

Os diagramas unifilares simplificados da Figura 2, Figura 3 e Figura 4 a seguir contemplam, respectivamente, topologias de uma microrrede condominial com conexão em baixa tensão, conexão em média tensão e mais de um ponto de conexão em média tensão. Os possíveis subsistemas de uma microrrede condominial presentes nos diagramas são: (1) Sistemas de Armazenamento de energia (SAE), (2) Fontes de geração distribuída, (3) fontes de geração termoeletrica convencional ou qualificada e (4) cargas prioritárias e não prioritárias.

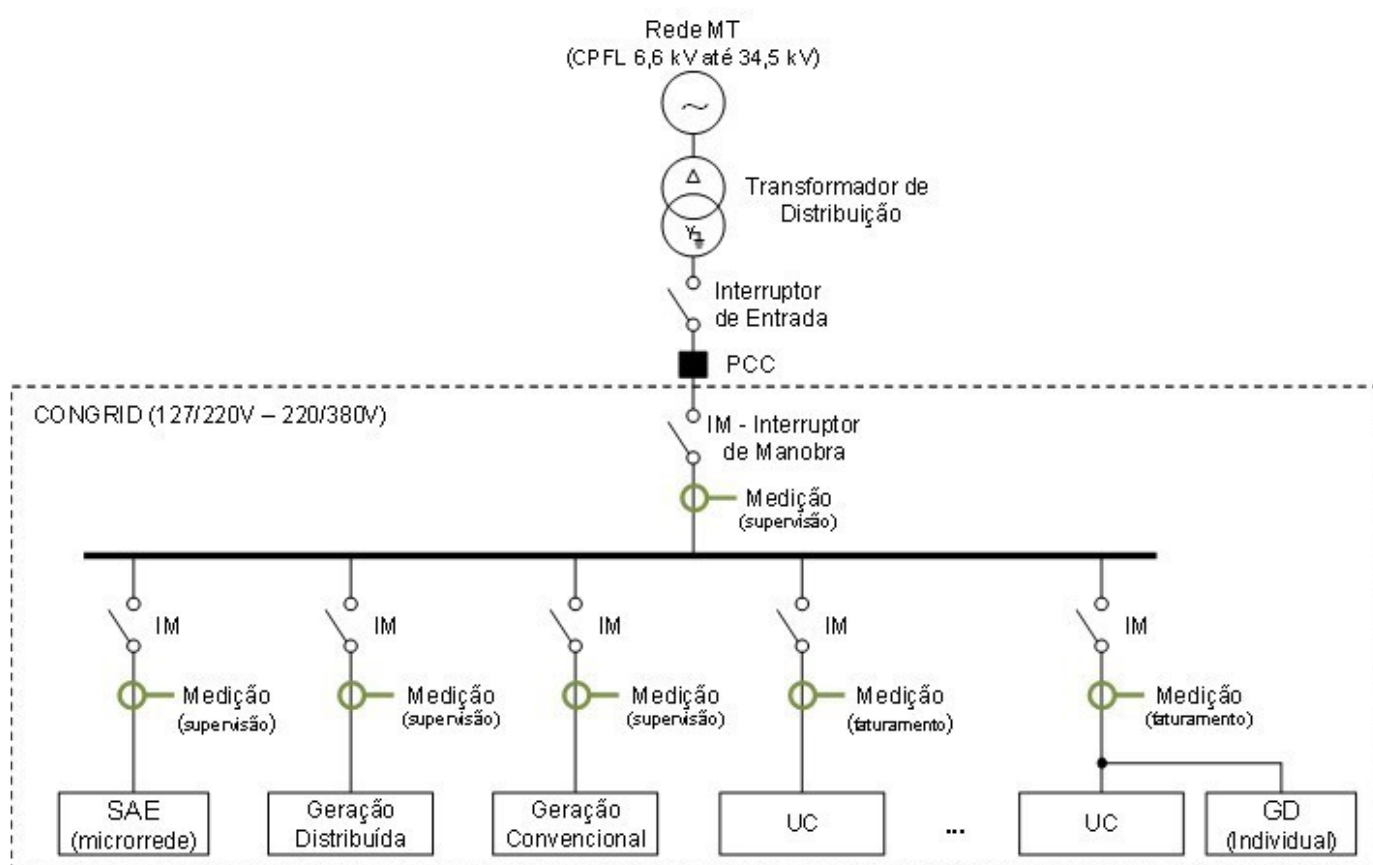


Figura 2 - Diagrama Unifilar de uma microrrede condominial com Ponto de Conexão em Baixa Tensão

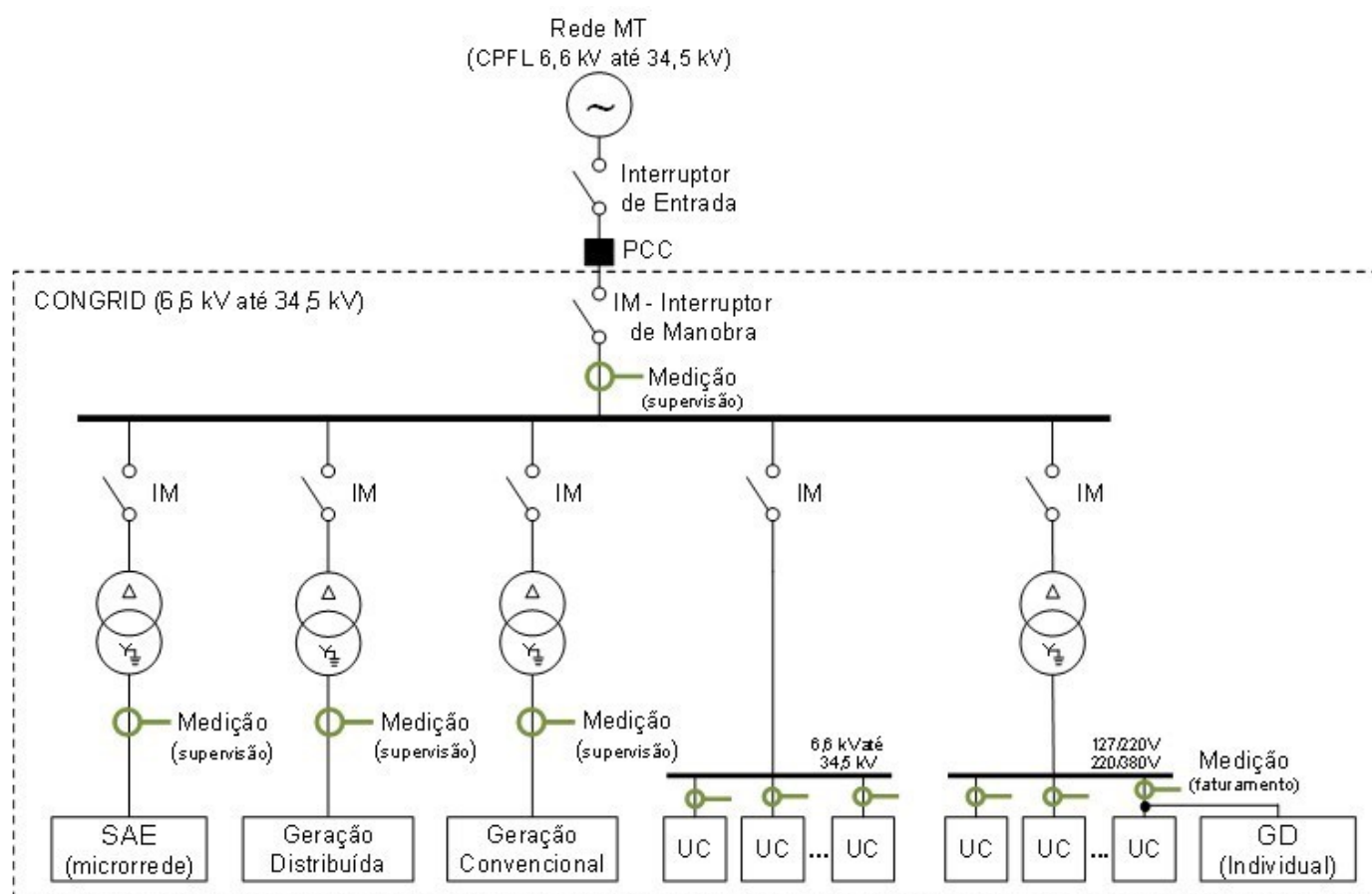


Figura 3 - Diagrama Unifilar de uma microrrede condominial com Ponto de Conexão em Média Tensão

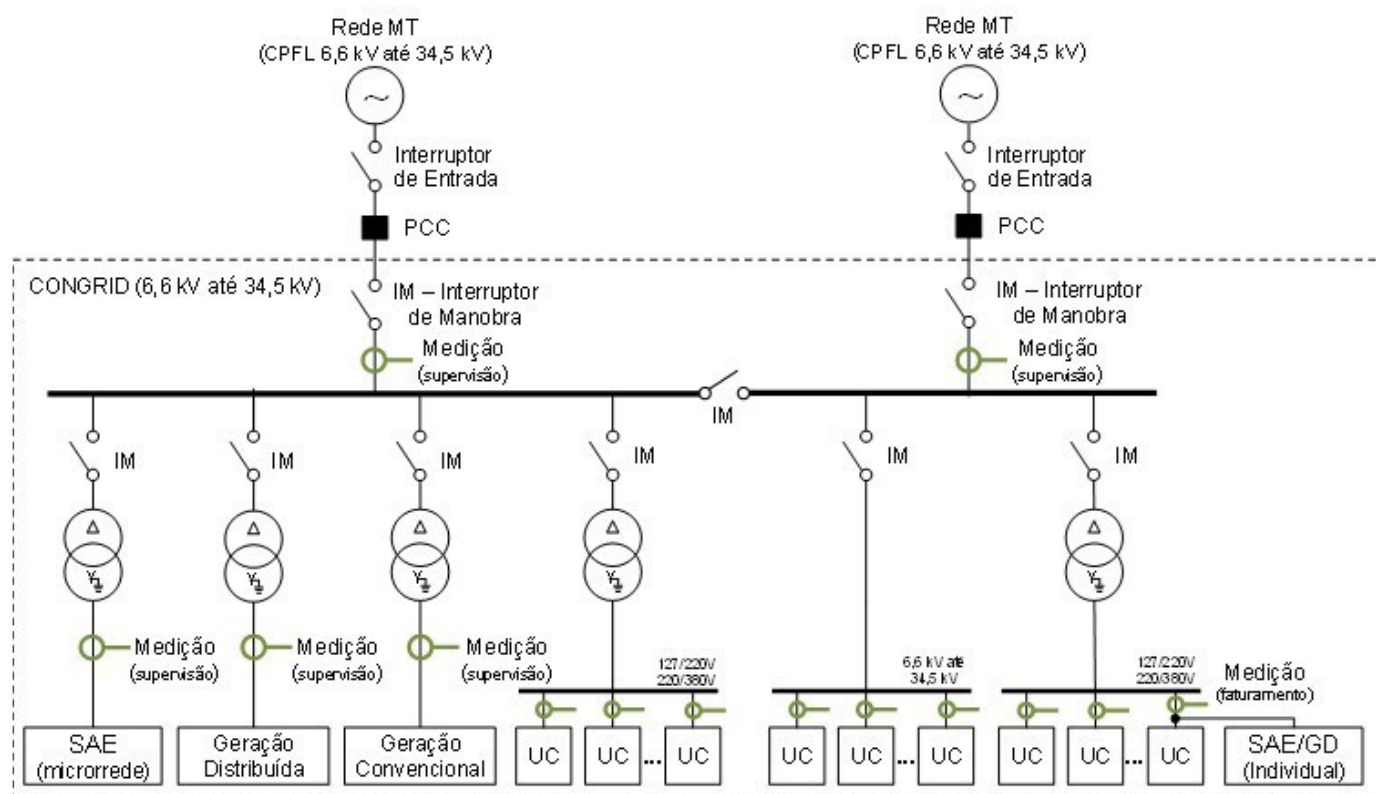


Figura 4 - Diagrama Unifilar de uma microrrede condominial com 2 Pontos de Conexão em Média Tensão

1.4 - Padrão de Entrada

O Padrão de Entrada de uma microrrede condominial é constituído por um conjunto de equipamentos a serem instalados alocados no PCC da Microrrede Condominial. No padrão (A) da Figura 5 o elemento de desconexão/ é um Religador e no padrão (B) da Figura 6 o Ponto de Acoplamento da Microrrede Condominial é dotado de Chave Estática de Transferência (STS) e Esquema de transferência para conexão do SAE na Baixa tensão. Exige-se o uso de uma sinalização visual que demonstre o estado de operação da rede da concessionária bem como da microrrede utilizando o padrão de cores da norma NR-10 que cita no item 10.3.9 a obrigatoriedade das cores de sinalização: vermelho “L” (ligado) verde “D” (desligado).

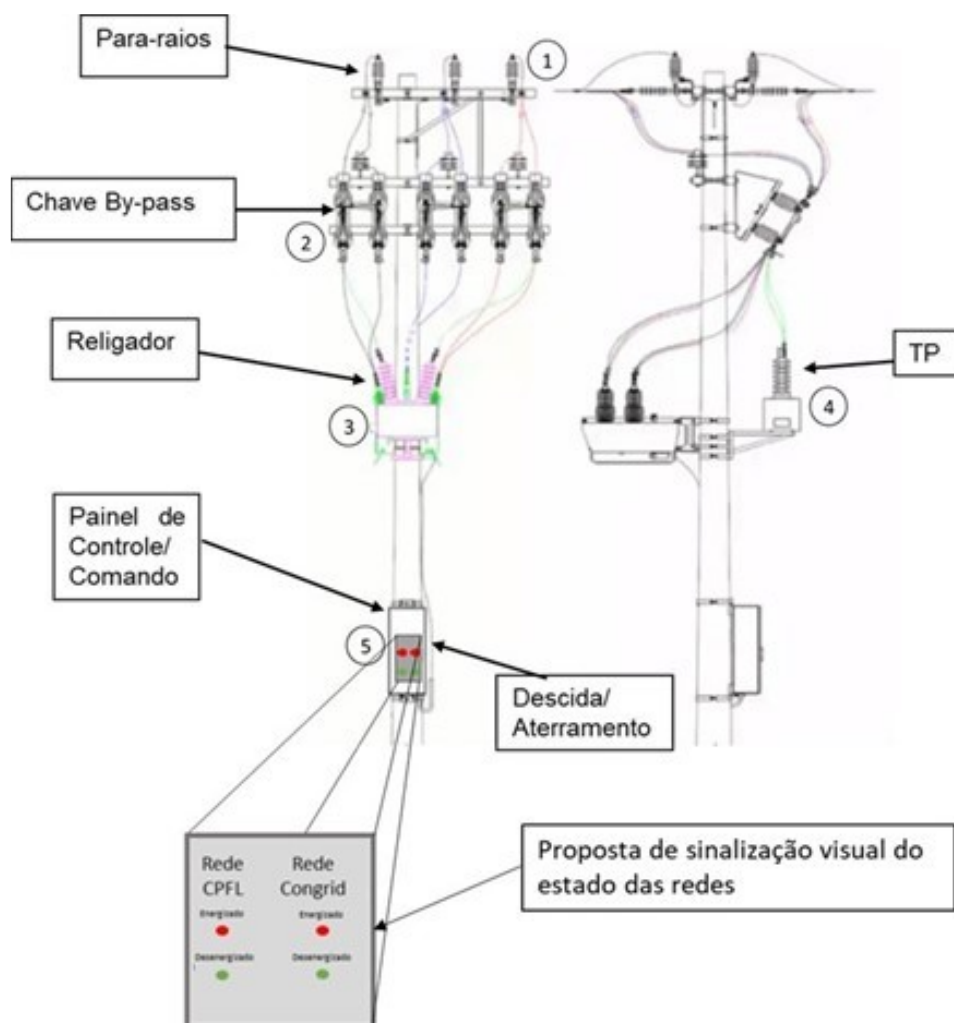


Figura 5 - Padrão de Entrada de microrrede condominial com religador de distribuição

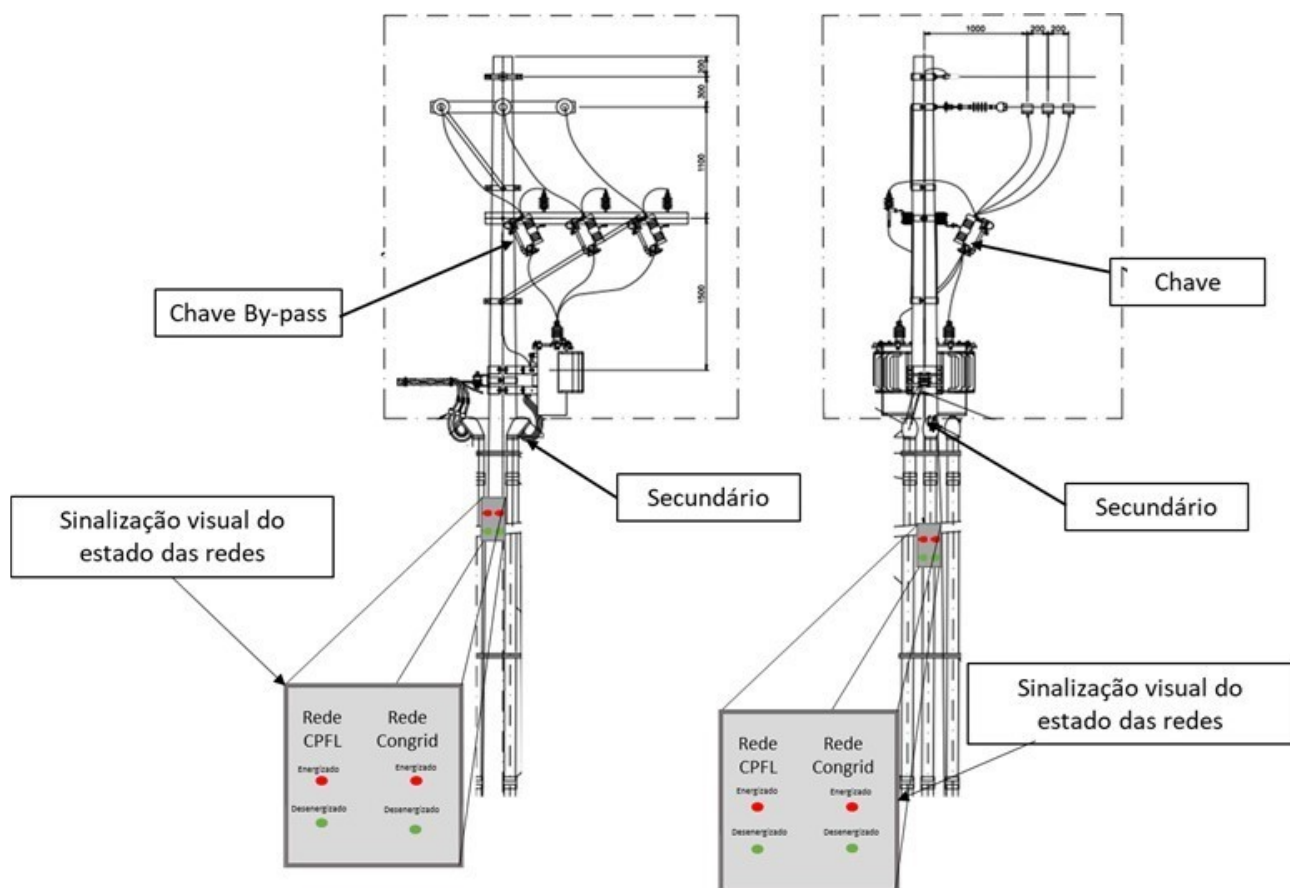


Figura 6 - Padrão de Entrada de microrrede condominial com STS e chave de transferência na Baixa Tensão

1.5 - Proteção, Seccionamento e Manobra

Os dispositivos de proteção de microrrede terão que ser dotados de, no mínimo, dois conjuntos de configurações para atuação tanto em operação no modo conectado à rede da concessionária quanto no modo de operação ilhado. Isso ocorre devido aos níveis distintos de curto-circuito entre os diferentes modos de operação.

Nas conexões à rede de média tensão (MT) de distribuição, o dispositivo de seccionamento deverá, ainda, ser visível (referido, então, como DSV), além de acessível a qualquer tempo ao pessoal técnico autorizado. Usualmente, ele é um seccionador ou chave seccionadora com uma alavanca de manobra que tenha um dispositivo que permita introdução de lacre externo pelo pessoal técnico concessionária, tanto na posição aberta quanto na fechada.

Em instalações com potência instalada de geração superior a 300 kW será necessário que o acessante instale um religador conforme especificação técnica concessionária, com recursos de supervisão remota, e funções de proteção que, a critério da concessionária, poderão estar habilitadas ou não, estando todos instalados no ponto de conexão do circuito alimentador, onde se estabelece o paralelismo do acessante. Quanto ao elemento de interrupção automática nos acessos à rede de MT, deverá ser utilizado um disjuntor ou religador que atue na média tensão acionados por proteção e comando secundário (relés ou controles eletrônicos). Assim, é factível que as funcionalidades providas por seccionamento e interrupção em MT possam ser efetuadas pelos equipamentos da cabine primária da microrrede. Caso não estejam aptos ao atendimento das funcionalidades já descritas para permitir a conexão de microgeração distribuída, o seccionador e o disjuntor (ou religador), juntamente com os relés e dispositivos que os supervisionam e comandam, deverão ser modificados ou substituídos às expensas do acessante.

Na Tabela 1 é apresentado um conjunto mínimo das funcionalidades de proteção requeridas na conexão das microrredes com centrais micro e minigeradoras. A concessionária, conforme as características e ponto de conexão da microrrede com microgeração distribuída e após as avaliações que fizer em termos dos eventuais impactos do acesso pretendido, propor proteções adicionais (ou mesmo funções de supervisão e controle) quando justificadas tecnicamente. No caso de acesso à rede primária de distribuição (MT), isso poderá ser mandatório.

Proteção	Código ANSI	Potência Instalada (kW)	
		75 < P ≤ 500	500 < P ≤ 5000
Subtensão e Sobretensão	27/59	x	√
Subfrequência e Sobre frequência	81 U/O	√	√
Desequilíbrio de corrente	46	x	√
Desbalanço de Tensão	47	x	√
Sobrecorrente direcional	67	√	√
Sobrecorrente com restrição de tensão	50V/51V	x	√
Sincronismo	25	√	√
Anti-ilhamento		x	x
Sobrecorrente	50/51	√	√
Sobrecorrente de neutro	50N/51N/51G	√	√
Sobretensão de neutro	59N	√	√
Direcional de potência ativa	32	√	√
Medição de ângulo de fase	78	√	√
Taxa de variação de frequência	81 df/dt	√	√

Tabela 1 - Tabela de proteções em função da potência Instalada na Microrrede Condominial

1.6 - Proteção, Seccionamento e Manobra

A autorização da conexão de acessantes através de microrredes é permitida quando não resultar em problemas técnicos e de segurança para outros consumidores em geral, ao próprio sistema elétrico e ao pessoal de operação e manutenção da concessionária. De modo algum poderá haver prejuízo ao desempenho dos serviços públicos de energia elétrica a qualquer consumidor. A microrrede condominial deve instalar sinalização indicativa da existência na unidade consumidora do tipo microrrede através de placa de advertência. A Figura 7 sugere uma placa com sinalização indicativa conexão de microrrede condominial.



Figura 7 - Placa de sinalização indicativa de conexão de microrrede

Além da segurança física e operacional, recomenda-se que a microrrede seja dotada de estratégias/equipamentos/sistemas de proteção contra ataques físicos e cibernéticos por meio de políticas e procedimento de segurança bem definidos.

1.7 - Acordo Operativo da Microrrede

As microrredes instaladas em condomínios urbanos ou rurais com micro ou minigeração distribuída que aderirem ao sistema de compensação de energia elétrica devem celebrar com a concessionária um Acordo Operativo, independentemente da potência da geração distribuída.

O Acordo Operativo de Microrrede Condominial deve contemplar, além das exigências relativas ao sistema de compensação de energia, os direitos, deveres, procedimentos e responsabilidades de ambas as partes (microrrede e concessionária) quanto à operação e manutenção das microrredes, quando conectadas ou em operação ilhada. A área operacional da concessionária deve elaborar o Acordo Operativo de Microrrede Condominial, visando regulamentar e disciplinar os procedimentos operativos entre o acessante e a CPFL, relacionados tanto à situação normal (microrrede conectada), situação de ilhamento (microrrede ilhada), como à emergencial, abrangendo ainda aspectos de segurança quando de manutenção e as formas de contato entre as partes, segundo as características próprias da conexão.

1.8 - Etapas para Aprovação de Conexão da Microrrede

As tratativas para estabelecimento da conexão de novas microrredes condominiais seguirão os preceitos e prazos estabelecidos no Módulo 3, do PRODIST. São quatro etapas a serem observadas: consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso, como apresentado na Figura 8. As duas etapas denominadas, uma, consulta de acesso e, outra, informação de acesso, está sucedendo à primeira, referem-se à obtenção por parte do acessante das informações técnicas que o subsidiem nos estudos pertinentes ao acesso, sendo-lhe facultada a indicação de um ou mais pontos de conexão de interesse.



Figura 8 - Etapas para Aprovação da Conexão da Microrrede

Anteriormente à conexão devem ser realizados estudos de impacto, de responsabilidade do acessante, fornecendo os dados e parâmetros do empreendimento. Os estudos para Informação de Acesso de Microrredes devem seguir o modelo dos estudos para Informação de Acesso de geradores acessantes à rede básica ou ao sistema de distribuição.

Pelo menos os seguintes estudos devem ser realizados²⁶:

- Fluxo de potência em regime permanente;
- Estudo de superação de equipamentos (estudo de curto-circuito);
- Estudo de estabilidade eletromecânica (quando aplicável);
- Estudo do sistema de proteção e,
- Estudos de impacto na qualidade de energia.

2. Conexão Microrrede Condominial (CONGRID)

Como parte do Projeto CPFL MERGE - Desenvolvimento de Microrredes Eficientes, Confiáveis e Sustentáveis, este trabalho apresenta também a conexão real de uma microrrede em condomínio residencial na cidade de Campinas/SP, como parte do projeto CPFL MERGE – Desenvolvimento de Microrredes Eficientes, Confiáveis e Sustentáveis. Essa microrrede, denominada CONGRID, foi projetada e implantada para operar de forma inteligente e independente quando da interrupção da rede elétrica da CPFL. Localizada no Condomínio dos Ipês, consiste em microrrede com geração fotovoltaica, sistema de armazenamento em baterias (BESS) e 47 Unidades Consumidoras (UC), sendo 45 residências e 2 áreas comuns.



Figura 9 - Imagem Aérea do Condomínio dos Ipês

A microrrede CONGRID, cuja implantação está sendo conduzida pela empresa Micropower, é composta por:

- Microgeradores fotovoltaicos instalados nas residências (total de 116,6 kWp);
- Sistema de armazenamento de energia em baterias (100 kW / 255 kWh);
- Cargas das 45 residências e 2 áreas comuns;
- Quadro de Transferência Automática (QTA);
- Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS).

A Figura 10 apresenta a topologia básica do sistema:

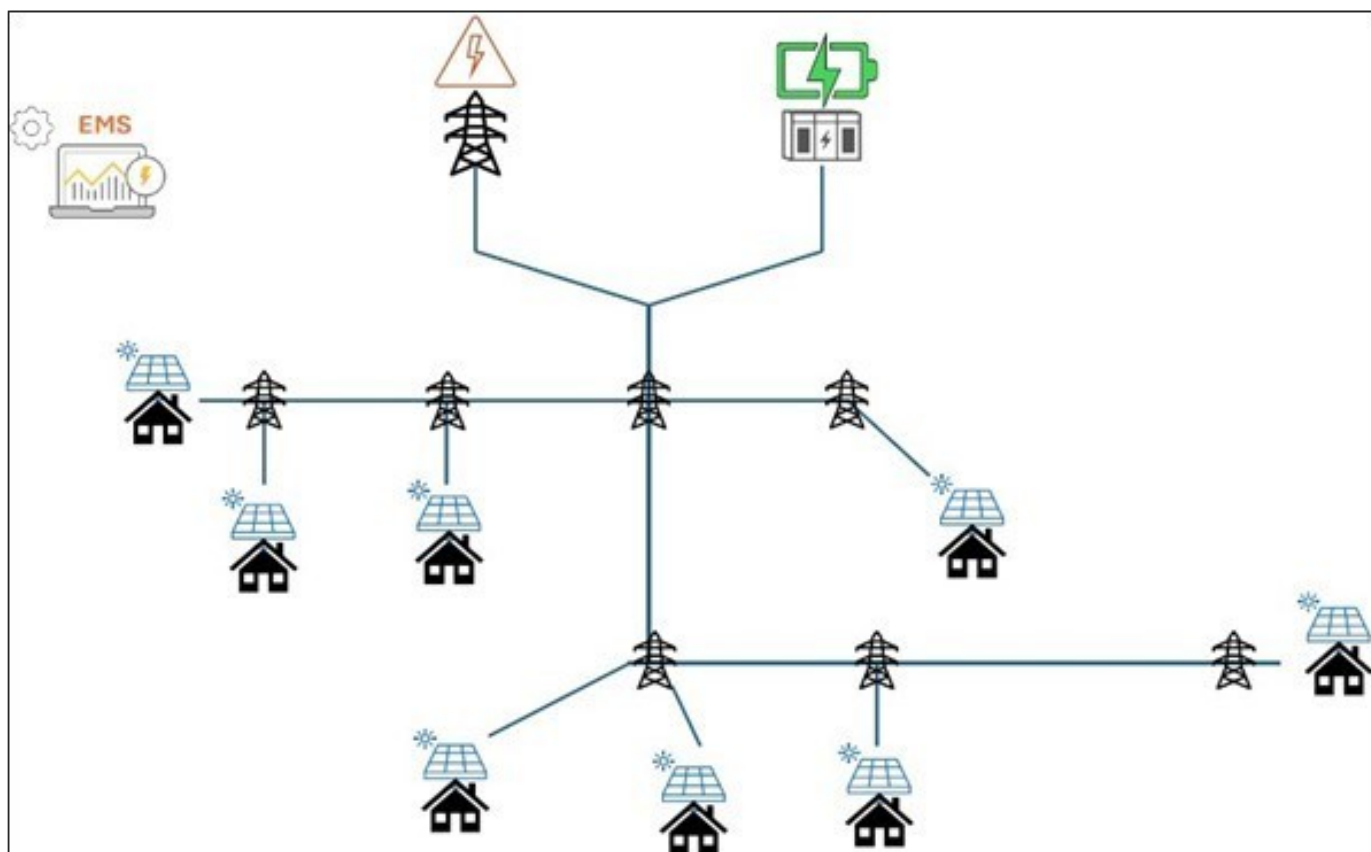


Figura 10 - Topologia da microrrede condominial

As Unidades Consumidoras do condomínio, além de constituírem o conjunto das cargas também compõem os recursos energéticos distribuídos da microrrede, através das microgerações fotovoltaicas instaladas em telhados.

Além dos sistemas fotovoltaicos, a microrrede conta com um Sistema de Armazenamento de Energia (BESS) de 100 kW/255 kWh, constituído por 2 invólucros separados e instalados dentro de uma área cercada e de acesso restrito, sendo 1 invólucro para as baterias e 1 invólucro para o PCS (Power Conversion System). Nessa mesma área foram instalados outros equipamentos, responsáveis pelo seccionamento, proteção e controle do sistema, contidos em um QTA (Quadro de Transferência Automática), além de um autotransformador para acoplamento do BESS à rede da CPFL e um rack de telecomunicação. Vide Figura 11.

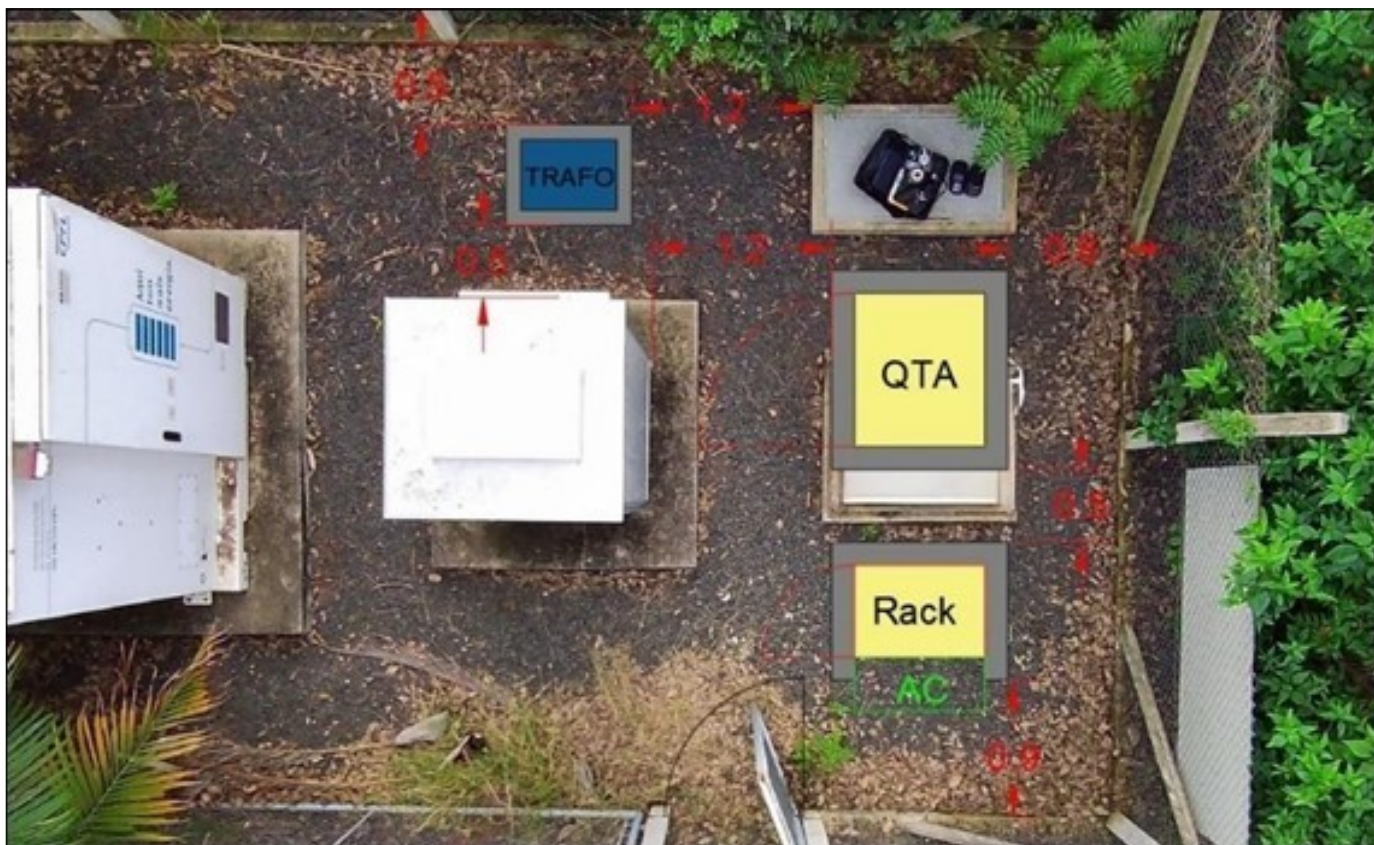


Figura 11 - Layout da área do SAE e demais equipamentos

Todo o sistema (BESS, Fotovoltaicos, Cargas) é interligado através de uma rede de distribuição aérea trifásica da CPFL, através do QTA, conforme observado no diagrama unifilar da Figura 12.

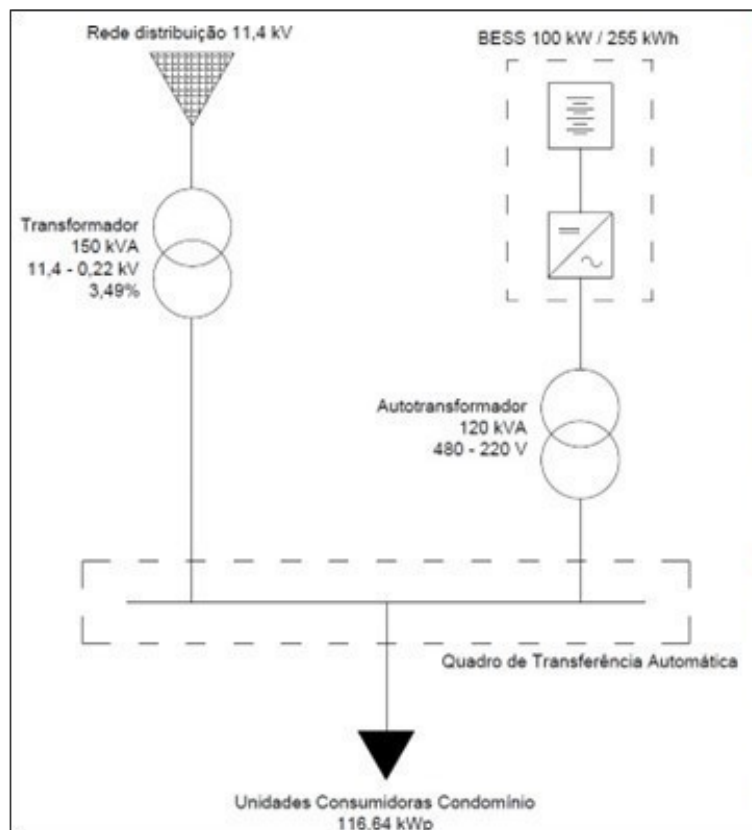


Figura 12 - Diagrama de conexão da microrrede em Baixa Tensão (detalhe o transformador de distribuição do condomínio)

O conjunto BESS e Geradores Fotovoltaicos poderá operar tanto conectado à rede (on-grid) quando isolado em relação a ela (off-grid).

3. Conclusão

A formação de microrredes conectadas ao sistema de distribuição é uma tendência no âmbito da descentralização dos sistemas elétricos e formação de redes inteligentes. Nesse sentido, este trabalho apresentou os principais aspectos a serem observados para a conexão adequada e segura de microrredes condominiais, bem como uma proposta de padrão de entrada. Baseando-se nos levantamentos realizados, bem como no que existe em termos de normas técnicas no Brasil, foram definidas algumas regras e diretrizes gerais a serem observadas para projetos de microrredes a serem implantadas em condomínios verticais ou horizontais conectadas à rede de distribuição da concessionária local.

A microrrede, embora dotada de cargas complexas e diversos recursos energéticos distribuídos, opera como uma entidade unificada no Ponto de Conexão. Desta forma, deve ser dotada de sistema de gerenciamento e controle dos ativos, bem como de um sistema de proteção adequadamente configurado. Por fim, ressalta-se que é essencial que sejam atendidos os padrões de conexão para permitir o desenvolvimento e integração de novas tecnologias de forma segura e equilibrada.

4. Referências bibliográficas

- [1] Missouri S&T Microgrid Industrial Consortium, "Missouri Microgrid Interconnection Requirements - Prepared for the Missouri Department of Economic Development Division of Energy," 2016.
- [2] conEdison, "Brooklyn Queens Demand Management Demand Response Program," [Online]. Available: <https://www.coned.com/en/business-partners/business-opportunities/brooklyn-queens-demand-management-demand-response-program>. [Acesso em 01 22].
- [3] FastCompany, "These apartments' microgrid is a lesson in urban resilience (Marcus Garvey Village apartments in Brooklyn)," 25 07 2018. [Online]. Available: <https://www.fastcompany.com/90202972/this-apartment-complexs-microgrid-is-a-lesson-in-urban-resilience>. [Acesso em 01 2022].
- [4] N. P. L. Ces, "Modelagem e Análise em ATP do Comportamento da Microrrede de Condomínio Residencial Alphaville-Fortaleza / Natália Pimentel Lado Ces. – 2019," Fortaleza, 2018.
- [5] Sacramento Municipal Utility District, "2500 R Street Integrated Energy Management Use Case Report," ADM Associates, Inc., Sacramento, CA, December 2014.
- [6] Unicamp, "Relatório Técnico E19 - Diagnóstico da área alvo - Relatório preliminar indicando área envolvida, uso da mesma, público atingido, expectativas," 2021.
- [7] IEC- International Electrotechnical Commission -, IEC TS 62898-1: Guidelines for Microgrid Projects Planning and Specification, 2017.
- [8] CPFL- Companhia Paulista de Força e Luz, GED 33: Ligação de Autoprodutores em Paralelo com Sistema de Distribuição da CPFL, 2017.
- [9] CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz, "GED 15303: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica," 2020.

- [10] A. Halu, A. Scala, A. Khiyami e M. C. González, "Data-driven modeling of solar-powered urban micro-grids," *Science Advances*, 2016.
- [11] CPFL, "Technical Specification - Battery Energy Storage System for Residential Consumers," Application Area: Research & Development, Campinas/SP.
- [12] Universidade Federal do Maranhão - UFMA, ETAPA E196: Especificação da Chave de Sincronismo da Microrrede Telecomandada (Operação On-Grid e Off-Grid), 2020.
- [13] IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Std. 1547-2018: Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces, 2018.
- [14] IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Std 2030.9-2019: Recommended Practice for the Planning and Design of the Microgrid*, 2019.
- [15] Fronius, "Monitoramento de sistema fotovoltaico," 2021. [Online]. Available: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/instaladores-e-parceiros/dados-tecnicos/todos-os-produtos/monitoramento-de-sistema/interfaces-abertas/modbus-tcp>. [Acesso em 01 12 2021].
- [16] IEC - International Electrotechnical Commission -, IEC TS 62898-2: Guidelines for Operation, 2018.
- [17] J. W. Schwartzenberg e R. W. De Doncker, "15 kV medium voltage static transfer switch," em *Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications Conference Thirtieth IAS Annual Meeting*, 1995.
- [18] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira e F. O. Resende, "Microgrids Black Start and Islanded Operation," em *15th PSCC, Liege, 22-26 August*, 2005.
- [19] Consolidated Edison Co. of New York, Distribution - Engineering Department, "SPECIFICATION EO-2161 - Technical Requirements for Microgrid Systems Interconnected With the Con Edison Distribution - Revision 0," Effective Date, June 15, 2017.
- [20] Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação - IATI, "Estado da Arte Relacionados a Normas e Padrões de Conexão," Recife/PE, 2020.
- [21] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, "Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Revisão 7," 2017.
- [22] Universidade Federal do Maranhão - UFMA, "ETAPA E200: Estudos de requisitos e filosofia para o sistema de proteção elétrica na microrrede," São Luiz/MA, 2020.
- [23] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE, *NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*, 2016.
- [24] Neto, José; Poloni, Patrícia e Brito, Lucas - Memorial Descritivo Técnico da CONGRID - MICROPOWER ENERGY STORAGE AS A SERVICE