

Capítulo V

Smart grid aplicado às redes de distribuição subterrâneas secundárias

*Por Douglas A. A. Garcia, Humberto A. P. Silva, Francisco Elio Duzzi Jr.**

Muito se tem dito sobre smart grid ultimamente. Alguns imediatistas dizem, de modo simplista, que é uma automação, com um novo protocolo (IEC 61.850). Mas é porque estamos ainda no início de sua aplicação, navegando na fronteira da tecnologia, sem entrar a fundo nas possibilidades advindas do seu uso. A automação da medição de energia elétrica não é smart grid, mas faz parte de tal filosofia. Ao se confundir a parte com o todo se tropeça em um neominimalismo que prejudica o entendimento de redes complexas. O paralelo disso talvez seja alguém ter dito no passado que ferramenta de busca é internet, ou algo parecido. Mas o tema aqui é um passo a frente: o uso de redes inteligentes smart grids no sistema de distribuição com melhor qualidade de energia à disposição dos consumidores, os sistemas de distribuição subterrâneos reticulados.

O sistema reticulado

O sistema reticulado, usado nas Redes de Distribuição Subterrânea Secundária (RDS), é definido por um conjunto de condutores e demais componentes elétricos interligados, que têm por finalidade a distribuição de energia elétrica subterrânea em tensão secundária. Caracteriza-se por ter os circuitos de baixa tensão de todos os transformadores de distribuição de uma determinada

área rigidamente interligados entre si, formando, assim, uma única e extensa rede. Destaca-se ainda que, neste sistema, vários alimentadores primários se conectam alternadamente a transformadores e estes à rede secundária. Neste trabalho, tratamos especificamente de dois tipos de sistema reticulado: Reticulado Exclusivo e Reticulado em Malha. Estes sistemas reticulados têm como maior vantagem os altos índices de confiabilidade e disponibilidade, que são fatores importantes para os centros de alta concentração de carga encontrados geralmente nos grandes centros das principais metrópoles.

O reticulado dedicado ou exclusivo, conhecido comumente como Spot Network, é constituído por um sistema reticulado para o atendimento a cargas pontuais. Seus transformadores e protetores são localizados em um mesmo ambiente e interconectados por reduzidas e específicas redes secundárias. Este tipo de reticulado é encontrado, por exemplo, nas redes subterrâneas da AES-Eletropaulo no centro de São Paulo (SP) e da Light, no Rio de Janeiro (RJ), e exclusivamente somente em Brasília (DF).

O reticulado em malha, ou Grid Network, destaca-se por ser constituído por um sistema reticulado para o atendimento de um conjunto de cargas. Seus transformadores e protetores de um dado consumidor ou consumidores são

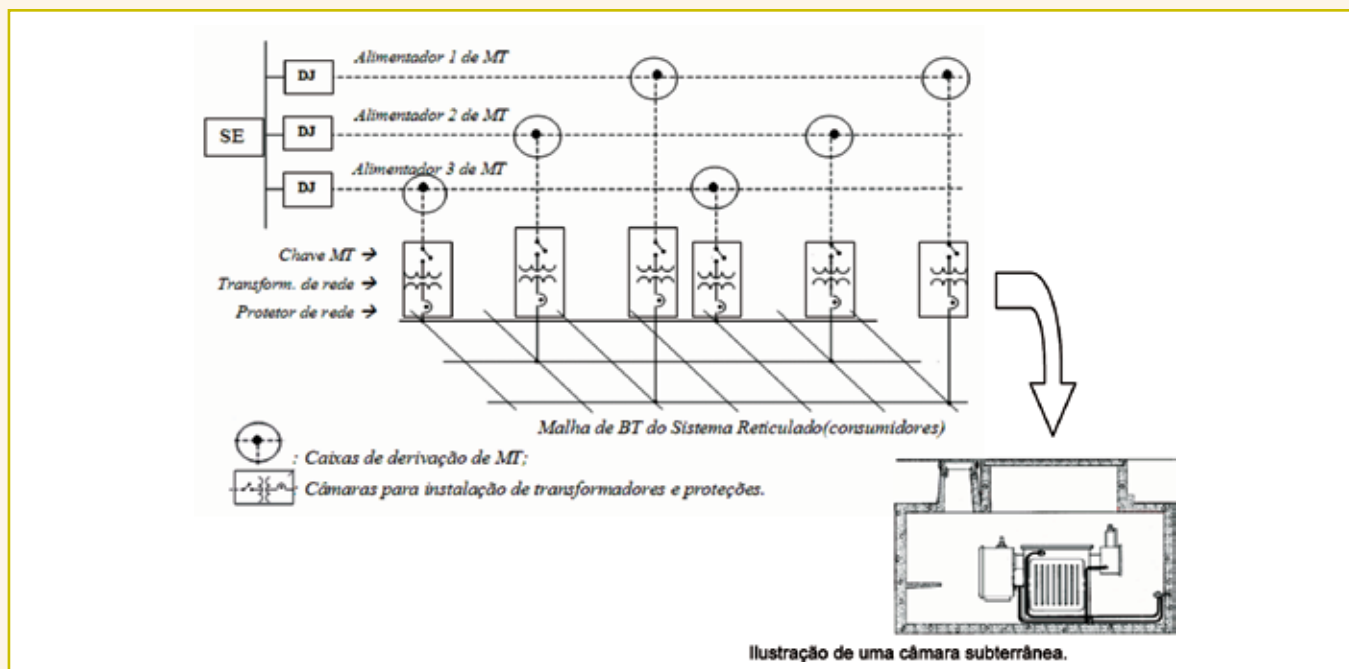


Figura 1 – Diagrama esquemático unifilar, um sistema reticulado Grid Network (reticulado malha) e ilustração de uma câmara subterrânea com o protetor de redes, o transformador e chave primária MT (da esquerda para a direita).

interconectados em forma de malha na rede secundária. O protetor de rede inteligente fica ligado à jusante de cada um dos transformadores do sistema reticulado e oferece proteção

por fluxo de potência reversa, religamento automático, monitoramento, localização de faltas e automação para proteção de alimentadores.

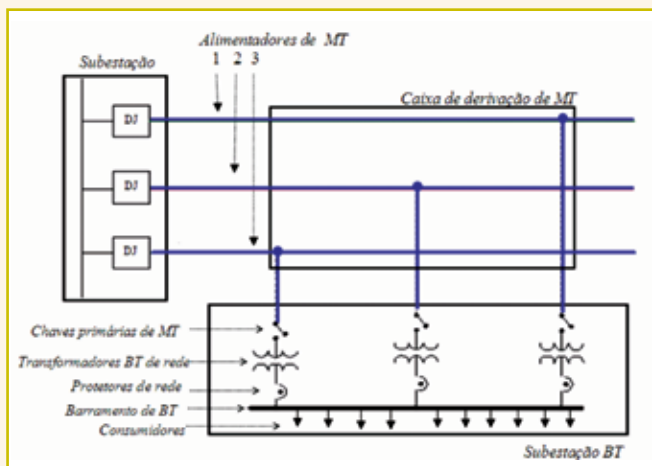


Figura 2 – Diagrama esquemático unifilar de um sistema reticulado Spot Network (reticulado exclusivo) de distribuição.

O papel crítico das tecnologias de automação e informação em sistemas smart grid com geração distribuída

A importância das novas tecnologias de informação, automação, monitoramento e sistemas eletrônicos inteligentes têm aumentado significativamente nos últimos anos. Essas tecnologias desempenham um papel fundamental nas sociedades modernas e contribuem de forma decisiva para a resolução de importantes desafios para uma sociedade que quer ser mais próspera, internacionalmente competitiva, saudável, segura e sustentável.

Como eixo de "inovação", essas tecnologias são fatores importantes para todos os setores produtivos da economia. O motor destas tecnologias, entretanto, é a energia, particularmente a eletricidade. Assim, em uma sociedade cujo estilo de vida é fortemente dependente dela, desenvolver tecnologias que permitam não somente a geração, mas também a distribuição de energia de forma barata e limpa e que garantam seu fornecimento ao longo do tempo com a máxima eficiência é uma questão prioritária.

Os sistemas baseados em redes inteligentes ou smart grid vêm, justamente, atender a esses requisitos, representando o que há de mais moderno no setor elétrico, com aumento e diversificação de fontes de geração distribuída na forma de pequenos geradores, maior interação consumidor-distribuidor de energia, integração de diferentes fontes de geração renováveis (ex.: solar, eólica, etc.).

O cenário energético nacional está avançando de forma muito rápida. Nas distribuidoras, o foco claramente está na redução de perdas comerciais e de custos operacionais, principalmente por meio da modernização dos ativos e da crescente instalação de dispositivos eletrônicos inteligentes (DEI) nos sistemas de alta e média tensão (melhor relação custo-benefício). Nos clientes de baixa tensão, aplicam-se os medidores eletrônicos para monitoramento de grandes consumidores ou controle de demanda nos de baixa renda.

Em resposta a estas demandas tecnológicas, é de extrema importância que soluções de automação ou de integração de sistemas elétricos passem a disponibilizar os benefícios do smart grid embarcados em todos os tipos de equipamentos neles presentes, quer seja na

distribuição, na transmissão ou na geração.

Exemplo recente de sucesso que se alinha ao conceito de smart grid é o desenvolvimento de protetores inteligentes de Redes Subterrâneas para as Redes de Distribuição Subterrânea Secundária (RDS), desenvolvidos dentro do parque tecnológico da Universidade de São Paulo (USP). Estes equipamentos – os protetores de rede – são necessários (atuam na proteção elétrica) e estratégicos (ficam ligados junto aos transformadores abaixadores de tensão) para estas redes, cuja topologia está presente nos centros de alta concentração de carga das principais metrópoles do Brasil (São Paulo, Brasília, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Curitiba). Soluções como esta desenvolvida na USP podem viabilizar técnica e economicamente a modernização da automação das RDS, direcionando-as no sentido de redes inteligentes: proporciona igualmente a incorporação dos avanços do smart grid e da geração distribuída.

Este enfoque de agregar funcionalidades adicionais à proteção e controle, tais como o monitoramento, gerenciamento inteligente, comunicação (TI), embarcando os conceitos de smart grid, tem obtido respostas positivas dos investimentos das distribuidoras, as quais, porém, não têm tido motivação para investir em redes inteligentes na baixa tensão basicamente por questões de volume de equipamentos a serem instalados (há muito mais equipamentos de baixa tensão do que de média ou alta tensão, elevando os patamares dos investimentos necessários).

Tecnologias com estes conceitos multifunção significam para as distribuidoras de energia elétrica, entre outros:

- Melhor controle do processo para melhor otimização da rede, desde a integração das intermitentes fontes renováveis presentes na geração distribuída até a interação mais dinâmica com os consumidores;
- Maior flexibilidade às concessionárias em relação ao uso das energias alternativas para atingir o grande objetivo social de redução do efeito estufa e otimização do consumo de energia reduzindo perdas e desperdícios;
- No curto prazo: benefícios diretos da melhoria do gerenciamento da indisponibilidade, o gerenciamento otimizado dos ativos e do capital, melhoria no planejamento, processos e serviços de fornecimento e usos finais de energia, aumento de eficiência de manutenção, redução de perdas técnicas e comerciais, otimização do investimento na compra de novos equipamentos de proteção das RDSs com menores custos, imediata modernização da RDS com todos os demais benefícios do smart grid na fronteira da baixa tensão.

A grande capacidade de expansão dos meios de comunicação em tecnologia da informação (TI) atendem tranquilamente às demandas dos sistemas elétricos, permitindo até o lançamento de novos desafios. O grande entrave do consórcio entre TI e sistemas elétricos é e tem sido, desde sempre, a capacidade de conviver em ambientes hostis em que os limites são os materiais com que são fornecidos. Geralmente se encontram equipamentos de TI tradicionais para ambientes até 40 oC. Com o advento e popularização da filosofia de smart grid, permitiu-se produção em escala e novos lançamentos têm sido feitos para ambientes mais agressivos como os dos sistemas elétricos e hoje são comuns

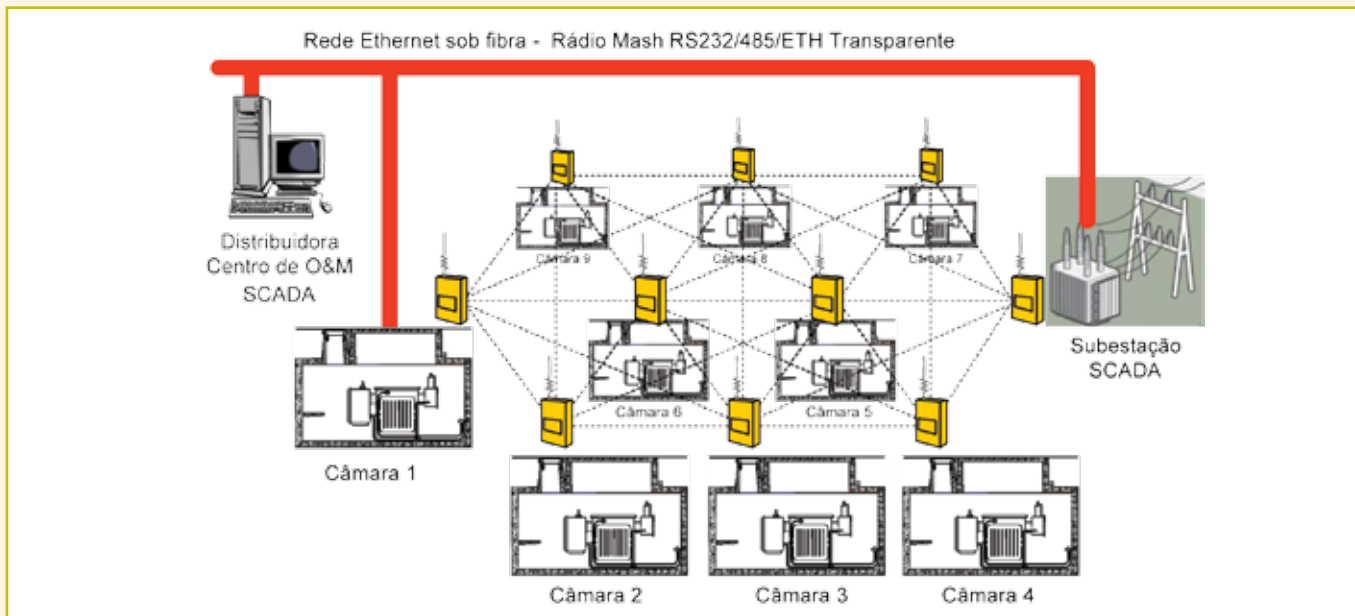


Figura 3 – Infraestrutura de comunicação por rádio mesh como uma das possibilidades para o modelo de automação híbrido nas RDS.

equipamentos com temperatura de trabalho na faixa de 85 oC. Os mais utilizados (ver exemplo de aplicação na Figura 3) atendem a padrões de redundância requeridos em sistemas elétricos como:

- Switches para redes de fibras óticas padrão Ethernet, com anel de redundância e dupla alimentação, que aumentaram a confiabilidade

dos sistemas de comunicação, além de economias com cabeamentos;

- Malhas de rádio (wireless mesh network – WMN) que operam distribuídos ao longo de uma região, geralmente de difícil aplicabilidade de sistemas mais tradicionais como fibra ótica ou em redes temporárias, formando uma rede de comunicação que pode distribuir a informação por vários caminhos.

Esta opção de adaptabilidade às condições específicas e dinâmicas de cada subestação, cujos benefícios agregam grande valor para a engenharia, operação e manutenção das concessionárias, podem inclusive obter as características de consumo e perfil de carga dos usuários, aproveitando a conveniência da extensão e abrangência do reticulado. Isso porque os pontos de coleta da informação de tais perfis de carga coincidem com os pontos de instalação dos protetores de rede que estão distribuídos em toda a capilaridade do subterrâneo.

O protetor de redes pode ser interligado em rede por meio de Ethernet com protocolo TCP/IP, viabilizando o monitoramento remoto com acesso de qualquer local pela internet. Os softwares desenvolvidos para PC, como ilustrado na Figura 4 e que recebem as informações dos sensores instalados em campo, permitem:

- Parametrização remota;
- Telecomando com manobra;
- O monitoramento em tempo real do sistema reticulado, possuindo registros LOG de eventos de operação e descrição das características das falhas com estampa de tempo com possibilidade de determinação da Duração Individual de Continuidade (DIC) e da Frequência Individual de Continuidade (FIC);
- Monitoramento das principais grandezas dos transformadores e alimentadores (ex.: nível de óleo; gases; temperatura; potência ativa; fator de potência por fase, tensões e correntes trifásicas; carregamento; qualidade de energia, medição de energia etc.);

- Monitoramento das principais grandezas dos protetores de rede (ex.: pressurização, trip e rearme, tempo para operação do sistema de abertura e fechamento do protetor, tempo de carregamento da mola do disjuntor, indicador de sequência de fase, estado da porta do cubículo do protetor, estado de outros protetores na câmara, valor cumulativo da quantidade de trips);
- Segurança patrimonial (invasão de câmaras para furto de cabos e equipamentos);
- Segurança estrutural (alarmes de alagamentos, perda de pressurização de transformadores e protetores de rede blindados, temperatura do cubículo e câmara, estado do sistema de exaustão);
- Visualização em tempo real do funcionamento do sistema reticulado e dos níveis de demanda de cada transformador fornecendo subsídios para as equipes de engenharia, projeto e de manutenção (perdas comerciais: furto de energia);
- Identificação antecipada de falhas do por meio de análise das curvas de tensão e corrente que se não alertadas podem levar a situações de curto-circuito;
- Identificação antecipada de perda gradativa de isolamento de cabos: esta preditiva é feita com o registro finger print (identidade padrão: fixar um valor de carga para a localidade sob avaliação) durante o período noturno quando a carga é baixa, com desligamento seguro do protetor, para de tempos em tempos repetir este registro e acompanhar os eventuais desvios do padrão registrado acompanhando as curvas de tendência para sinalizar valores críticos.

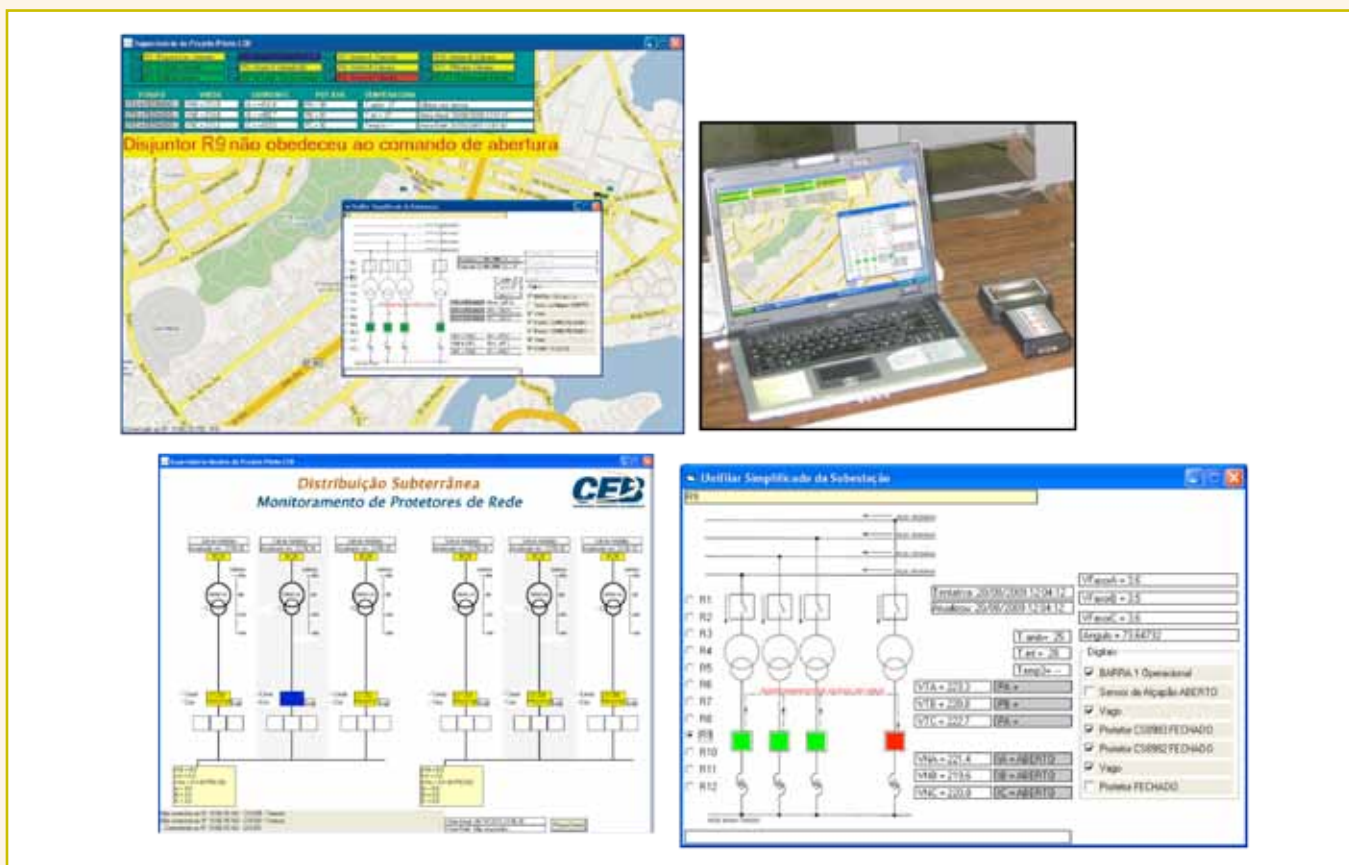


Figura 4 – Telas dos aplicativos de telemonitoramento e telecomando do protetor de rede inteligente.

Com estas características do protetor de redes inteligentes é possível, por exemplo, observar equipamentos de determinada região que eventualmente fiquem subutilizados, com cargas muito abaixo de sua capacidade nominal. Após tal constatação, será possível avaliar um uso mais racional destes recursos, como a possibilidade de realocação do conjunto chave-primária/transformador/protetor de redes para outra subestação mais carregada e de menor capacidade de potência instalada. Dessa forma, aliviam-se as unidades em utilização acima de sua capacidade nominal, prolonga-se a sua vida útil e retardam-se investimentos para a expansão, como consequência desta ação de otimização do parque já instalado.

Isso demanda uma revisão destes conceitos de proteção. Tais aplicativos que possibilitam a análise da rede por meio do monitoramento facilitam esta tarefa.

Desafios da tecnologia da informação na implementação de um sistema smart grid em ambientes de redes subterrâneas com geração distribuída

Apesar da grande evolução que as ferramentas de software gerencial alcançaram na análise dos dados e no melhor fluxo de informações, existe ainda um “gap” entre as situações de campo e os centros de operação, a engenharia, a manutenção e a administração das empresas. Não existe ainda o fluxo online integrado de informações do “campo” para a administração,

o que permitiria saber, no instante desejado, qual o status dos equipamentos, histórico e previsões. Mais ainda, as informações pertinentes à manutenção dos ativos, muitas vezes, não chegam com a integridade necessária ao banco de dados. E, como todo usuário de informática já pode perceber, dados incompletos geram informações e decisões por vezes equivocadas.

O maior desafio é anular (ou minimizar) o “gap” entre o “campo” e os níveis gerenciais das empresas, o que pode ser conseguido por equipamentos que obtenham os dados de campo (sinais digitais, analógicos, de comunicação) e os transmita por meio da rede de informática TI (Tecnologia de Informação) da empresa. Soluções integradas otimizam os esforços técnicos e econômicos, pois podem utilizar várias alternativas de TI aproximando-as ao que de mais avançado existe em TA (Tecnologia da Automação), diminuindo de forma efetiva o enorme “gap” existente nos sistemas das RDS.

Uma oportunidade de se ter um avanço em TA para as concessionárias de distribuição pode advir do uso da automação com topologia smart grid de suas RDS por meio de seus protetores de redes, que integrariam proteção, controle, monitoramento, incorporando a topologia de smart grid em tempo real. O uso das premissas do conceito de smart grid tornaria estes equipamentos um elemento imprescindível para alavancar e disseminar a topologia de redes inteligentes e para a própria evolução da

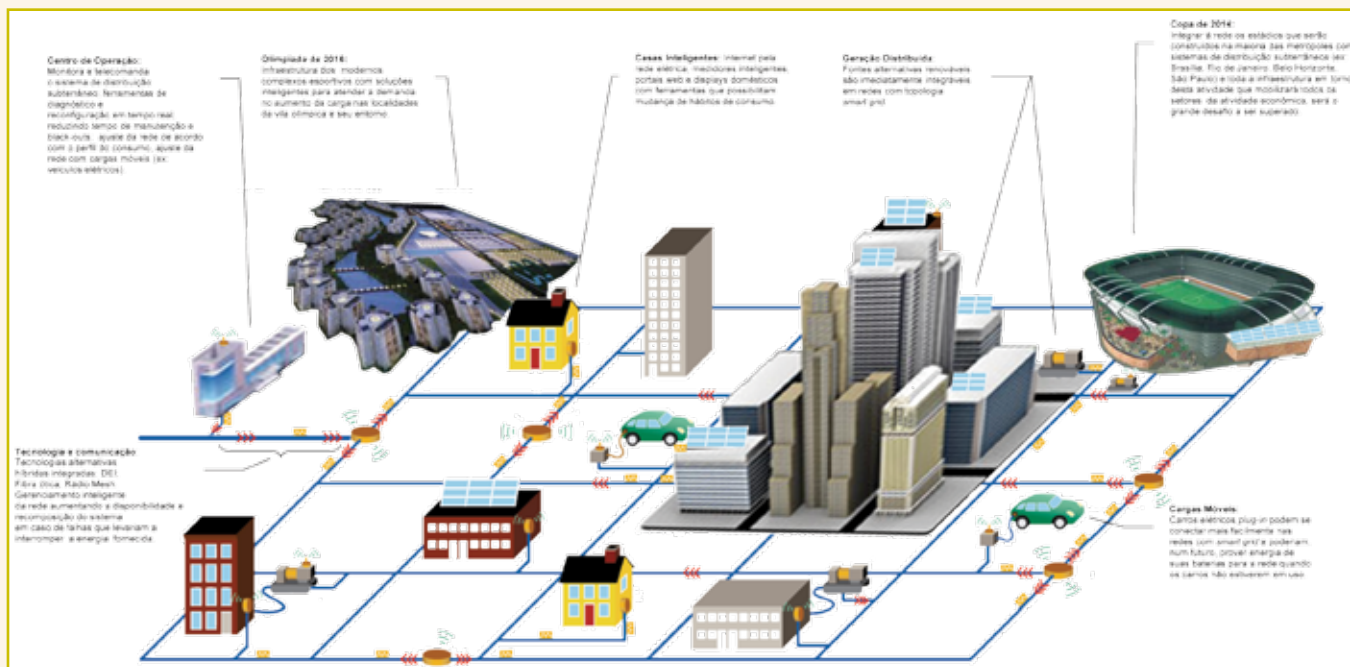


Figura 5 – Diagrama ilustrativo de centros urbanos com sistema elétrico de distribuição subterrâneo, fontes crescentes de demandas de consumo, fontes alternativas de geração distribuída em um cenário com smart grid.

topologia de redes subterrâneas, com índice de falhas bem mais atraentes aos consumidores que as redes aéreas usuais.

O conceito de rede inteligente incorporado nas soluções de automação, controle, telemetria, monitoramento embarcadas nos protetores de redes inteligentes para redes de distribuição subterrâneas pode viabilizar o que de mais avançado há para agregar estas tecnologias (TI e TA) a equipamentos como estes que são estratégicos para as RDS. Tornar equipamentos capazes de realizar suas funções de proteção com maior eficácia e rapidez, além de adicionar funções de TI e TA (monitoramento, comunicação, telecommando, autoajuste), é torná-los inteligentes. Tais características integradas podem ser combinadas para proporcionar adicionalmente um gerenciamento inteligente de ativos da RDS.

São fortes as tendências de mudar o mix energético nos países com a entrada de novas fontes, como eólicas e solar, além de novos usos da energia, como os carros elétricos. As empresas têm de ter a capacidade de manter a segurança de fornecimento e não mudar muito a carga. Arquiteturas com smart grid têm potencial de dar maior flexibilidade ao gerenciamento do mix energético e assegurar o suprimento de energia como ilustrado na Figura 5. Nas RDSs, os protetores de redes inteligentes, ao integrarem o conceito de smart grid, podem ser usados de forma efetiva no auxílio à implementação destas pequenas fontes geradoras distribuídas, formando o mix energético inevitável no futuro breve das grandes metrópoles. Assim, os sistemas de distribuição podem acompanhar esta mudança da lógica para uma operação regional, tão benéfica em tornar realidade a formação de uma matriz energética mais

diversificada a partir dos grandes centros consumidores, em contraste à total dependência de usinas predominantemente hidrelétricas, interligadas em grandes blocos.

Certos entraves técnicos precisam ser contornados. O uso da geração descentralizada e distribuída advinda, por exemplo, de painéis de energia solar, geradores elétricos a gás, pequenas unidades eólicas, etc., dentro destes centros urbanos das metrópoles com sistemas subterrâneos (RDS) que possuem topologia de rede reticulada em malha ou reticulado exclusivo (tipo grid ou spot network) causam fluxo bidirecional da energia. O momento no qual o fluxo de potência da energia gerada por geração distribuída fosse de retorno à malha da concessionária causaria desligamento dos protetores de rede (sua principal função de proteção é evitar o fluxo reverso de potência). Porém, a solução proposta, com a inteligência incorporada no módulo de controle do protetor de redes, identifica este fluxo não como uma falha por fluxo reverso de potência, possibilitando assim a disseminação do uso de geração distribuída de qualquer fonte alternativa renovável por toda a capilaridade característica destes sistemas de distribuição subterrânea. Resolve-se assim o maior entrave do mais confiável sistema de distribuição (sistema de distribuição subterrâneo reticulado, vide Tabela 1): uso concomitante com sistemas de geração distribuída. Essa será a tendência ou daremos um passo atrás na questão de qualidade de energia fornecida aos consumidores? Tais variáveis estão associadas a diferentes níveis de investimentos por parte das concessionárias e podem vir a depender de regulação por parte da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

TABELA I – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES TOPOLOGIAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO APONTANDO OS ÍNDICES FAVORÁVEIS DA TOPOLOGIA DE RETICULADO EXCLUSIVO E/OU MALHA.

Índices Topologias	Interrupções por ano	Tempo de restabelecimento (min)	Tempo de interrupção por ano (min)	Interrupção momentânea por ano (min)
Radial simples	0.3 a 1.3	90	27 a 117	5 a 10
Auto-loop primário	0.4 a 0.7	65	26 a 46	10 a 15
Residencial subterrâneo	0.4 a 0.7	60	24 a 42	4 a 8
Primário seletivo	0.1 a 0.5	180	18 a 90	4 a 8
Secundário seletivo	0.1 a 0.5	180	18 a 90	2 a 4
Spot Network	0.02 a 0.1	180	3.6 a 18	0 a 1
(reticulado exclusivo)	0.005 a 0.02	135	0.7 a 2.7	0

Fonte: SETTEMBRINI, R. C.; FISHER, J. R.; HUDAK, N. E.

Existe uma pressão muito grande impelindo à necessidade de mudança devido à geração de energia limpa, ações de eficiência energética, microgeração, carros elétricos, etc. Impulsionando as fontes alternativas com modernização dos sistemas de distribuição, coloca-se à frente dos responsáveis por atender às necessidades do mercado nos próximos anos a grande demanda que o Brasil se impõe com as obras e eventos relacionados à Copa de 2014 e às Olimpíada de 2016, além das demandas do consumo interno do País que espera crescer 5% ao ano nesta década.

Seria a situação ideal para uma rede de energia com tecnologia capaz de redirecionar ou readaptar-se em momentos de “apagões” com as fontes distribuídas alternativas de energia elétrica, em que

estão conectados milhares de aparelhos de ar-condicionado dos prédios e centros comerciais, chuveiros elétricos, sistemas vitais de hospitais, aeroportos, sinais de trânsito. Imagine o próprio consumidor gerando, armazenando e injetando energia no sistema em momentos de desabastecimento. Tudo isso sem causar impacto na proteção de fluxo reverso de energia destes sistemas de distribuição.

Um sistema elétrico mais eficiente e confiável está além dos esforços de construção de usinas e ampliação da rede de transmissão. Nos Estados Unidos, a confiabilidade do sistema é de 99,97%. No entanto, isso não impediu que 55 milhões de americanos ficassem às escuras em 2003, quando houve um grande apagão na região Nordeste daquele país. A modernização dos sistemas para uma rede inteligente