




PERSPECTIVAS SOBRE AS REDES SUBTERRÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE MÉDIA TENSÃO EM BLUMENAU

THE PERSPECTIVES ON THE UNDERGROUND POWER DISTRIBUTION NETWORK IN BLUMENAU

Sérgio H.L. Cabral¹ Hugo A.D. Almaguer² Luiz H. Meyer³ Thair I. A. H. Mustafa⁴ 

Resumo: O apelo urbanístico pela eliminação de impactos visuais no espaço urbano inclui aqueles causados pelas redes aéreas de distribuição de energia elétrica, exercendo uma certa pressão sobre as concessionárias de energia elétrica e prefeituras, em favor da substituição dessas redes aéreas por redes subterrâneas. Em alguns países, a pressão é mais enfática, por conta ainda de eventos climáticos extremos, enquanto que em outros, nem tanto, tal como no Brasil. Aqui, em favor das redes aéreas, há o incontestavelmente menor custo e diversas inovações, a fim de torná-la cada vez menos suscetível à interrupção de sua operação por conta de sua intrínseca vulnerabilidade ao toque de agentes externos. Entretanto, em diversos casos, mais recentes, a adoção de redes subterrâneas tem se mostrado como sendo tecnicamente necessária, a ponto de tornar secundárias questões relativas ao seu custo. Por exemplo, no caso de redes de baixa-tensão, elas já têm sido amplamente adotadas em condomínios, passeios públicos, pontes e praças. No caso de redes de média-tensão, sua adoção tem se dado principalmente em grandes centros, onde há áreas de elevada densidade de potência instalada, cuja adoção de redes subterrâneas permite o atendimento de clientes estratégicos, que apresentam elevado consumo de energia elétrica, tais como bancos, hospitais, lojas, colégios e shopping-centers, por exemplo. Nesse contexto, cidades de porte médio, tal como Blumenau, onde medidas de adoção de redes subterrâneas de média tensão podem se dar de forma gradual e planejada, ainda não apresentam qualquer característica geral que aponte para uma coordenação na abordagem desse tema. Por isso, este trabalho apresenta o estágio atual da adoção de redes subterrâneas de média tensão, em Blumenau, contextualizando características geográficas que se apresentam em várias cidades de mesmo porte, em todo o país, visando promover um direcionamento para a abordagem do tema, considerando sua importância no âmbito das cidades inteligentes..

Palavras-chave: Blumenau. Redes aéreas. Redes subterrâneas. Cidades inteligentes

Abstract: The appeal in favor of eliminating any minor urbanistic visual impact, which includes that caused by the overhead power distribution network, exerts some pressure on the power utility

¹ Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade regional de Blumenau, scabral@furb.br

² Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade regional de Blumenau, hugo@furb.br

³ Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade regional de Blumenau, meyer@furb.br

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade regional de Blumenau, tim@furb.br

companies all over the world in view of the replacement of that sort of power distribution for the underground one. In some countries, the pressure is more emphatic due to extreme climate events, whereas in others it is not so much, such as in Brazil. Here, in favor of the overhead network is the undeniable lower cost added to several innovations in order to make it less and less susceptible to the interruption of its operation due to its intrinsic vulnerability to the incidence of external agents. However, in many cases, the adoption of underground networks proves to be necessary. For example, in the central áreas of big cities, where there is a high density of installed power, underground networks allow the service of strategic clients that have high power consumption such as banks, hospitals, offices, schools, and shopping malls, for example. In this context, medium-sized cities, such as Blumenau, where measures for the adoption of underground networks can take place gradually, do not present any general characteristic that points to any coordination in the approach to this theme. Therefore, this work presents the current stage of the adoption of underground networks in Blumenau, contextualizing geographic characteristics that are also present in several cities of the same size, throughout the country, aiming to promote an approach to the theme, considering its importance in the scope of smart cities..

Keywords: Blumenau. Overhead power distribution. Underground power distribution Smart cities.

1 INTRODUÇÃO

As redes de distribuição de energia elétrica se classificam em aéreas, mais simples e de menores custos de implantação e manutenção, e em subterrâneas, intrinsecamente menos vulneráveis a agentes externos (CAMPOS *et al.*, 2019). Ambas as redes possuem circuitos de baixa e de média-tensão, sendo que neste trabalho se considera como sendo redes de baixa-tensão aquelas tendo tensão trifásica de operação entre 220 V e 380 V, enquanto para as de média-tensão os valores vão desde cerca de 11 kV até 34,5 kV, embora haja valores ainda superiores, como 69 kV e até 138 kV, mas que já podem ser considerados como valores de sub-transmissão. No Brasil, por conta de uma vasta extensão territorial, somada à praticamente inexistência de eventos climáticos extremos, como furacões e nevascas, tem sido inevitável a preferência pelas redes aéreas para levar energia elétrica a diversas localidades, incluindo as mais remotas, de forma economicamente viável. Não obstante, é fato que a inerente vulnerabilidade desse tipo de rede à incidência de agentes externos, tais como galhos de árvores e animais silvestres, bem como a ocorrência de vendavais, descargas atmosféricas e deslizamentos, causam frequentes interrupções que, cada vez menos têm sido toleradas, devido à fundamental importância da disponibilidade ininterrupta da energia elétrica. Por conta disso, soluções relativamente eficientes têm sido amplamente empregadas, tais como a cobertura de cabos aéreos, formando as redes compactas, ou a isolação de trechos de cabos aéreos, em média-tensão, além de multiplexação, muito comum no caso de cabos da rede de baixa-tensão. Por outro lado, a adoção das redes subterrâneas tem sofrido um considerável aumento, em áreas urbanizadas, nos últimos anos, como afirmam Campos *et al.* (2019). Inicialmente, porque nas áreas centrais de grandes centros urbanos a questão paisagística praticamente obriga a adoção de medidas de baixo impacto visual. Isso faz com que em locais como praças, pontes, viadutos e passeios cada vez mais sejam adotadas redes subterrâneas de baixa-tensão. Além disso, em curtos trechos de entrada de energia de condomínios residenciais, de grandes lojas e de indústrias, cada vez mais esse tipo de rede tem sido adotado. Nesses mesmos grandes centros urbanos, por conta da dificuldade em se sustentar

cabos de bitola apreciável em postes de redes áreas, a adoção de redes subterrâneas de média-tensão tem se verificado cada vez mais frequente. Neste caso, o emprego de longos circuitos dessas redes se justifica pelo atendimento de diversos clientes de elevado consumo, localizados em áreas de alta densidade de potência, para os quais a disponibilidade de energia elétrica tem que ser garantidamente ininterrupta, tais como bancos, hospitais, shopping-centers, templos e demais instalações onde haja considerável trânsito e/ou presença de um significativo número pessoas.

No que diz respeito às cidades de porte médio, neste trabalho consideradas como tendo população de até 1 milhão de habitantes, a adoção de redes subterrâneas tem se limitado às de baixa-tensão, amplamente motivada pelas preocupações visuais urbanísticas. Quanto à adoção de redes subterrâneas de média-tensão, nessas mesmas cidades, não tem havido aumento significativo. Nesse contexto, é representativo o caso de Blumenau, onde somente na principal rua da cidade, localizada na área central, está instalado o único trecho de rede subterrânea de média-tensão, enquanto que redes subterrâneas de baixa-tensão têm sido cada vez mais instaladas. Nesse contexto, um novo impulso tem sido aplicado à demanda pela adoção de redes subterrâneas de média tensão, por cidades brasileiras de porte médio, representado pela proposta de tornarem-se cidades-inteligentes. Com isso, diversas ações têm sido planejadas e até executadas, pelos devidos setores de administração municipal, no sentido de criar as condições para que essas cidades se adequem ao conceito de “inteligentes”, efetivamente. Isso inclui a adoção de redes subterrâneas de média-tensão, para além da adoção das redes de baixa-tensão, não somente em áreas centrais, mas também em bairros próximos ao perímetro central. Nesses locais, os cabos aéreos de comunicação tendem a ser substituídos por redes sem fio, o que deixaria os cabos de energia das redes aéreas de distribuição como sendo os únicos responsáveis pela poluição visual. Apesar disso, há consideráveis barreiras a serem vencidas, nesse processo de adoção de redes aéreas. Principalmente, porque quanto ao movimento das cidades brasileiras de porte médio em relação à adoção de redes subterrâneas de média-tensão, não se denota haver qualquer coordenação,

ainda. Talvez, por não ser significativa a divulgação sobre estudos a respeito de resultados advindos da adoção de determinado padrão de medidas para implantação de rede subterrânea. Por exemplo, a inexistência de uma secretaria nacional que possa coordenar estudos de viabilidade e acesso a fundos de financiamento. Esse problema nada tem a ver com as questões técnicas de projeto elétrico das redes, que devem estar de acordo com aquelas adotadas pela concessionária de energia elétrica local.

Não obstante, por conta da importância central das questões técnicas, é primordial considerá-las, neste trabalho. Inicialmente, se deve ressaltar o papel exercido pelo equipamento elétrico conhecido como transformador de distribuição. Afinal, é a partir dele que se distinguem as redes de média das de baixa-tensão. Por exemplo, em redes subterrâneas de média-tensão, o transformador pode estar localizado numa galeria subterrânea, como em Blumenau, ou sobre o passeio, como em Florianópolis, por exemplo. Respectivamente, trata-se de transformador submersível e de transformador sujeito à inundação, cujos projetos diferem significativamente, bem como os custos, além de uma eventual vulnerabilidade a vandalismo, e representar uma falsa sensação de risco de acidente, no caso do transformador instalado em passeio público. Além do transformador, quanto à cablagem subterrânea, algumas concessionárias de energia adotam, em algumas cidades, barreiras magnéticas, que evitam que o campo magnético alcance os pedestres, enquanto que em outras cidades, atendidas por diferentes concessionárias de energia elétrica, as barreiras são ignoradas.

Adentrando um pouco mais especificamente no âmbito técnico, que princípios de aterramento elétrico são empregados na blindagem dos cabos? Enquanto algumas concessionárias optam pelo aterramento em único ponto, outras optam por fazê-lo em vários pontos do circuito. A diferença está no risco aos trabalhadores de manutenção dessas redes em detrimento das perdas de energia induzida, causadas pela segunda opção.

Considerando esses fatos listados, este trabalho traz uma análise das práticas adotadas na implantação de redes subterrâneas de média-tensão, no sentido de trazê-las à luz da discussão de seu desempenho, visando contribuir para que

uma padronização de sequência de passos para implantação de redes subterrâneas possa vir a ser criada, permitindo de forma mais econômica contemplar a adoção ostensiva desse tipo de rede, por conta dos benefícios que ela traz. Como referência, a realidade da cidade de Blumenau é considerada, podendo ser adequada à realidade de diversas outras cidades médias do Brasil.

2 DESENVOLVIMENTO

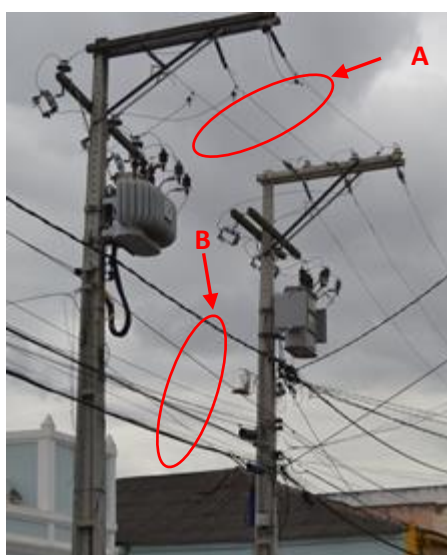
As redes de distribuição de energia elétrica constituem o trecho terminal do caminho da energia elétrica desde a geração até o cliente/consumidor, passando antes pelas linhas de transmissão, que transportam grandes blocos de energia. Por isso, as redes de distribuição contêm maior número de circuitos, mas que carregam blocos de energia elétrica consideravelmente menores do que aqueles gerados e transmitidos. A Figura 1.a ilustra, de forma simplificada, um sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo esses últimos eminentemente aéreos, enquanto que a Figura 2.a apresenta um circuito elétrico equivalente, com principais tipos de clientes ilustrados. Complementarmente, na Figura 2 é apresentada uma foto contendo redes aéreas de distribuição de média e de baixa-tensão, multiplexada, na qual também se apresentam dois transformadores, instalados em postes, cuja função é ligar eletricamente as duas redes, abaixando o valor da média-tensão para níveis seguros aos usuários residenciais e comerciais, em baixa -tensão. Além disso, vários cabos de telefonia também se apresentam na altura aproximada do cabo da rede de baixa-tensão, na Figura 2. Convém salientar a poluição visual promovida por esse tipo de circuito, facilmente identificável em quase todas as cidades do país.

Figura 1 – Aspecto simplificado da geração, transmissão e distribuição e energia elétrica – rede aérea



Fonte: a. dos autores, adaptado de (MEHMET et al., 2017); b. dos autores, adaptado de (SANTOS, 2008)

Figura 2 – Redes de distribuição aéreas. A – Média-tensão; B – Baixa-tensão



Fonte: dos autores

Na Figura 3 se mostra a foto da realização de um serviço de poda de árvores, que é uma incumbência unicamente da empresa concessionária de energia, representando custos fora de sua atividade-fim, mas necessário para se evitar problemas que vão desde incêndios até choque elétrico de pedestres,

passando por desligamentos indesejáveis. Não obstante, se nota ainda a conseqüente deformação das árvores, que também causa um impacto visual significativo.

Figura 3 – Poda de redes áreas de distribuição – Média e baixa-tensão



Fonte: (AGÊNCIA MINAS, 2022)

Para se evitar esse problema, as concessionárias de energia elétrica têm algumas alternativas, em diferentes graus do investimento necessário. Num estágio de menor risco, o investimento pode se dar com a cobertura parcial de um ou dois cabos da rede de média-tensão, a fim de se evitar corrente elétrica de fuga elevada, quando do toque da vegetação, como mostrado na Figura 4. Em casos mais severos, a cobertura pode ainda ganhar uma blindagem aterrada (CONDUSPAR, 2023). Por sua vez, quando os investimentos permitem, as concessionárias costumam adotar trechos mais longos da rede aérea de média tensão com cabos totalmente cobertos, conhecida como rede compacta, tal como mostrado na Figura 5. Nesses casos, a prioridade está em se reduzir os efeitos decorrentes de toques de vegetação, assim diminuindo a ocorrência de indesejáveis desligamentos, bem como se evita a deformação da vegetação, muitas vezes ornamentalmente concebida.

Figura 4 – Rede aérea de média-tensão com dois de seus três cabos protegidos por uma cobertura isolante, junto à vegetação.



Fonte: dos autores

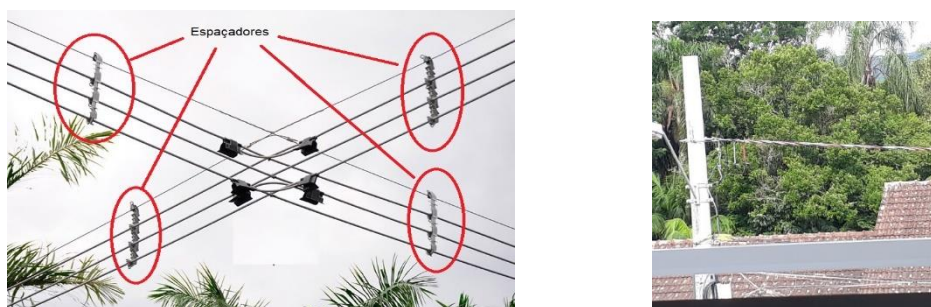
Figura 5 – Rede compacta



Fonte: dos autores

No que diz respeito à rede aérea de baixa-tensão, uma das soluções mais recentes e que tem sido amplamente difundida é a adoção de cabos cobertos, dispostos na forma de condutores de fase, conhecidos como cabos multiplexados, em substituição aos condutores nus, que precisam ser separados por espaçadores entre os quatro condutores nus, de fase, para evitar o contato entre eles e o consequente desligamento súbito, por conta de curto-circuito, enquanto que a Figura 6.a mostra uma rede de baixa-tensão com espaçadores entre os quatro condutores nus, de fase, para evitar o contato entre eles e o consequente desligamento súbito, por conta de curto-circuito, enquanto que a Figura 6.b mostra uma rede de mesmo nível de tensão, mas com os quatro condutores isolados e multiplamente retorcidos, formando o chamado cabo multiplexado.

Figura 6.a – Espaçadores utilizados em rede aérea de baixa-tensão; **6.b** Cabo multiplexado



Fontes: a. dos autores, adaptado de (ÂNCORA INDUSTRIAL, 2023); b. dos autores.

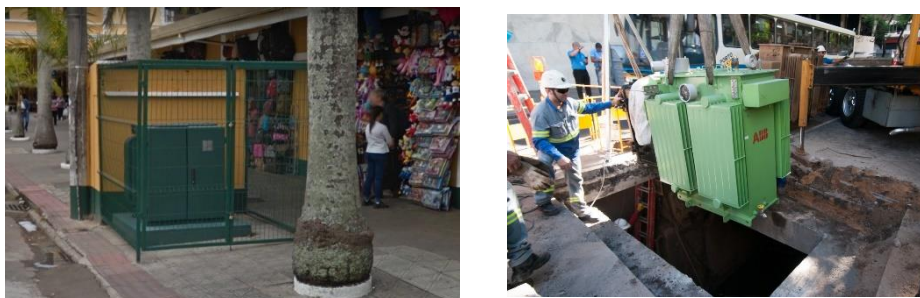
Por outro lado, por conta dos motivos associados às redes aéreas de baixa e de média-tensão, a adoção de redes subterrâneas vem ganhando impulso. Principalmente, nas situações em que suas vantagens técnicas e visuais suplantam a desvantagem do custo elevado. Nesse contexto e conforme já mencionado, as redes subterrâneas de baixa-tensão têm se tornado bastante difundidas em condomínios, praças, viadutos e outros espaços urbanos. Entretanto, essas redes possuem uma capacidade limitada de atendimento de cargas tais como hospitais, centros comerciais, bancos, condomínios, dentre outros. Principalmente, quando essas cargas estiverem numa mesma rua/avenida ou quarteirão. Nesses casos, o atendimento em média-tensão se torna economicamente viável e tem, paulatinamente, deixando de ser através de redes aéreas e passando para redes subterrâneas. Essas, por sua vez e embora sejam plenamente favoráveis ao paisagismo urbanístico, possuem aspectos importantes a serem considerados, no que diz respeito às pessoas que convivem em sua proximidade. Principalmente, pela vulnerabilidade a dois dos principais itens decorrentes de sua instalação e operação. Nominalmente, quanto à instalação do transformador elétrico e à adoção de blindagem magnéticas em canaletas subterrâneas, cujos detalhes são apresentados a seguir, sendo que em (CAMPOS et al, 2019) se apresenta um estudo técnico mais aprofundado.

2.1 Transformadores elétricos em redes subterrâneas

Basicamente, há dois tipos de redes subterrâneas de média-tensão, no que diz respeito ao uso do transformador elétrico, que reduz a média-tensão para

baixa-tensão, a fim de atender os clientes. São eles o transformador subterrâneo e o transformador de pedestal, estando ambos localizados em plena área urbana. O transformador subterrâneo, conforme se classifica, se localiza em galeria subterrânea, geralmente sob passeios públicos, devendo por isso ser submersível e não sendo visível aos pedestres. Já o de pedestal é fixado sobre o solo de área de passeio, devendo por isso estar protegido tanto contra acesso de vândalos, curiosos e incautos, quanto contra a incidência de água e poeira. Nas Figuras 7.a e 7.b se mostram, respectivamente, um transformador de pedestal e um transformador subterrâneo, instalados. Ambos os tipos são consideravelmente mais caros que os transformadores de distribuição da rede aérea, mostrados na Figura 2.

Figura 7.a – Transformador de pedestal instalado; **7.b** - Transformador subterrâneo sendo instalado.



Fontes: a. dos autores; b. (CEEE, 2014).

Quanto à forma de instalação do transformador, fica aparente uma certa nocividade que para um transformador do tipo pedestal representa, por estar no mesmo nível dos pedestres. Dessa forma, o perigo está tanto na possibilidade da ocorrência de ferimentos, no caso de um derramamento de óleo isolante superaquecido, bem como no acesso relativamente simples de incautos indivíduos que tenham a intenção de roubo de cabos elétricos.

A seguir, um outro importante item a considerar

2.2 Circuitos elétricos de redes subterrâneas

Ao longo do comprimento dos cabos de circuitos das redes de distribuição a difusão do campo magnético, gerado a partir da passagem da corrente elétrica,

alcança o passeio público, por onde transitam pessoas e, por isso, pode implicar em efeitos biológicos, devendo haver a preocupação com os valores de campo magnético nesse local, respeitando valores limites devidamente regulamentados (ANEEL, 2021). Isso tanto para redes aéreas quanto subterrâneas. Entretanto, por conta da maior proximidade, as redes subterrâneas representam maior nocividade, sendo que a alvenaria da cobertura das canaletas não blinda o campo magnético. Por esses motivos diversas pesquisas têm sido realizadas, no sentido de encontrar formas economicamente viáveis de se mitigar esse problema e permitir o desenvolvimento tecnológico com vistas ao maior emprego de redes subterrâneas, atuando na redução de seus custos envolvidos. Neste caso, convém mencionar, dentre vários, os importantes trabalhos de (OLIVEIRA, 2016) e (MOREIRA et al., 2021). Em termos práticos, as formas utilizadas para reduzir o valor do campo magnético que alcança os pedestres invariavelmente implicam em aumento das perdas, por conta da circulação de correntes parasitas em condutores que, diretamente, representam custos. Neste ponto, cabe salientar que simplesmente enterrar os cabos diretamente no solo não é uma prática aconselhável. Principalmente, por conta da ação de elementos químicos do solo sobre o material isolante dos cabos, intensificada pela umidade. Portanto, construir valas sob o passeio público é minimamente necessário, dispondo os cabos sobre um leito de alvenaria e livres de contato direto solo.

Desta forma, cabos dispostos como na Figura 8.a raramente ocorrem, mesmo no caso de redes de baixa-tensão. Quando muito, em alguns casos, os cabos estarão dentro de uma mangueira corrugada, protegendo-os do contato direto com o solo. Usualmente, a disposição mais recomendável é que a mangueira corrugada contendo os cabos ainda esteja dentro de uma canaleta em alvenaria, como mostrado na Figura 8.b.

Figura 8.a – Cabos subterrâneos diretamente enterrados. **8.b** – Cabos subterrâneos internos à mangueira corrugada, disposta em canaleta em alvenaria.



Fontes: Dos autores, adaptado de (CAPARROZ ENERGIA, 2023) ; Dos autores, adaptado de (FAM ENGENHARIA E PROJETOS, 2018)

Outro importante item a se considerar, em circuitos de redes subterrâneas se deve ao aterramento elétrico da blindagem eletrostática, que cada cabo contém. Seja por aterrar a blindagem de cada uma das três fases em um único ponto do circuito, em diversos pontos ou somente em seus extremos, incluindo ou não a transposição de aterramento de fases, a adoção de técnicas de aterramento implica em custos consideráveis de material e/ou de perdas parasíticas, causadas por correntes induzidas. Uma pormenorizada análise sobre esse item está muito bem apresentada em (KIT, 2023). Adicionalmente, convém salientar a significativa importância que tem o princípio de aterramento adotado, uma vez que ele definirá o nível de corrente de curto-circuito monofásico, que orientará o ajuste do sistema de proteção elétrica do circuito.

2.3 Gestão de redes subterrâneas

Além dos dois itens principais, anteriormente analisados, que norteiam a implantação de uma rede subterrânea, que são a mitigação, ou blindagem, do campo magnético irradiado e o aterramento elétrico da blindagem dos cabos, há um item com menos teor eletrotécnico, mas de considerável importância, que precisa ser levado em conta no projeto de uma rede subterrânea. Trata-se da gestão dessa rede, que inclui não somente a sua manutenção e o seu monitoramento, após ser posta em operação, mas, principalmente, dois fatores

de pré-projeto de rede que se mostram primordiais a se considerar. Primeiramente, quanto aos problemas causados ao trânsito de automóveis e de pedestres, durante a escavação de valas, no espaço urbano, e implantação e cabos, equipamentos e poços de inspeção. Nesse caso, a adoção de uma logística visando reduzir ao máximo os problemas de acessibilidade e mobilidade do público se torna fundamental. Em segundo lugar, quanto à necessidade desse evitar o congestionamento do solo, seguindo o código obras vigente da municipalidade, se existente, para a ocupação racional do subsolo, contemplando o convívio tecnicamente correto de redes de energia elétrica de média-tensão junto com redes de água potável, esgoto, telefonia e mesmo a rede de energia elétrica de baixa-tensão. Dentre as questões importantes desse convívio está a relativa “nocividade” que as redes de média-tensão representam, por induzir tensão que pode atingir um nível perigoso nessas redes anteriormente mencionadas.

Um trabalho contendo as discussões com maior profundidade sobre esses itens estão em (SIMÃO, 2021).

Levadas em conta as questões anteriores, tanto o monitoramento quanto a manutenção de redes de média-tensão se tornam mais efetivos. A manutenção, tida como de menor frequência nas redes subterrâneas, tem significativa importância por conta da necessidade de antecipação a defeitos, dadas as significativas dificuldades para qualquer intervenção. Por isso, mesmo as manutenções preditivas temporárias são menos recomendáveis do que o estabelecimento de um sistema de monitoramento que, tendo incluídas formas de predição de falhas, antecipe a necessidade de intervenção e essa ocorra somente quando necessária. Em termos de princípios de manutenção, adotados pela concessionária, trata-se de um paradigma, ao se comparar com o procedimento usual para as redes aéreas. Ainda, o monitoramento permite a verificação de eventuais ocorrências de desequilíbrio de correntes, sob e sub tensão e fuga de corrente, que contribui para a melhor operação das redes subterrâneas. Neste caso, é recomendável que seja incluído o aterramento das blindagens dos cabos, no monitoramento, evitando a intervenção da equipe de manutenção, já que, dependendo da forma como essas blindagens são

aterradas a elevação de seu potencial pode atingir até dezenas de quilovolts, decorrente da proximidade e conseqüente acoplamento com os cabos de fase, representa extremo perigo.

3. A REALIDADE DAS REDES SUBTERRÂNEAS DE MÉDIA-TENSÃO EM BLUMENAU

Pelo fato de estar na área de concessão da CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina, a implantação de redes de média tensão tem que seguir e obedecer a normatização da companhia (CELESC, 2023), a partir de 2023. Entretanto, experiências anteriores aconteceram, representadas pela mais significativa delas que foi a implantação da rede subterrânea de média tensão na principal rua de comércio e serviços da cidade, a XV de Novembro, no centro, cujas características são brevemente analisadas a seguir.

3.1 Implantação da rede subterrânea de média tensão na rua XV de Novembro

Por ser uma rua em que se concentram várias lojas, centros comerciais, escolas e bancos, foi, certamente, uma escolha acertada quanto à primeira implantação da rede subterrânea de média-tensão na cidade, por ser a de maior densidade de potência da cidade. Essa implantação se deu quando da profunda reurbanização dessa rua, em 1999, como mostrado na Fig. 9.

Figura 9 – Obras de reurbanização da rua XV de Novembro, no centro de Blumenau, ocorrida em 1999.



Fonte: (Fundação Cultural de Blumenau, 1999)

Nessa implantação, os transformadores trifásicos, do tipo submersível, 25 kV/380 V foram instalados em espaço subterrâneo conhecido como *vault* enquanto que os cabos foram colocados em dutos enterrados sob o calçamento. O projeto foi concebido a partir de premissas já ultrapassadas, provavelmente copiado de projetos de cidades de maior porte, como Curitiba. Uma das preocupações foi, certamente, quanto ao fato de que na ocorrência de enchentes do rio Itajaí-Açu, que corta a cidade, essa rua fica inundada, devendo todos os elementos do circuito da rede subterrânea serem adequados para essa condição. Sob o ponto de vista da CELESC, esse circuito de rede subterrânea apresenta alguns problemas de manutenção, pelo fato de que, por conta de sua concepção ultrapassada, elementos de reposição, como buchas, muflas, isoladores e vários acessórios não são mais tão comercialmente disponíveis, requerendo o armazenamento de vários desses elementos, comprados quando minimamente disponíveis em estoques de fabricantes, a fim de se evitar possíveis ocorrências de falta de energia. Por isso, a área de estocagem de elementos dessa única rede da cidade é praticamente a mesma área em que se estocam elementos equivalentes de redes aéreas para toda a área da Agência regional de Blumenau, que atende 16 (dezesesseis) municipalidades. Ambas áreas de estocagem estão no terreno da Usina do Salto, na rua Bahia, em Blumenau.

Por ser o único circuito de rede de média-tensão com comprimento significativo, a análise para esse tipo de rede nos estágios atual e futuro consideram não somente as redes de média-tensão, que possam vir a ser implantadas, mas também as de baixa tensão, cada vez mais empregadas.

3.2 Situação atual das redes subterrâneas em Blumenau

Nos últimos cinco anos, diversos trechos de rede de baixa-tensão têm sido transformados ou implantados na forma subterrânea, em Blumenau, superando em muito o comprimento de trechos de circuitos subterrâneos de média-tensão que, ultimamente, somente restringem-se a trechos privados, principalmente em entradas de energia de condomínios de casas e de clientes comerciais atendidos em média-tensão. Um exemplo está mostrado na Figura

9, em que uma rede de média-tensão tem parte de seu circuito instalado sob passeio e pista de rolamento, para atender um supermercado, no bairro Vila Nova.

Figura 10. Entrada subterrânea de energia em média-tensão para atendimento de um supermercado – o circuito subterrâneo está indicado.



Fonte : Dos Autores

Em termos de novos circuitos de rede subterrânea, no âmbito municipal, até esta data não há nenhuma perspectiva de novos trechos de rede de média-tensão. Quanto a isso, é muito importante citar que a implantação de qualquer trecho de rede de média-tensão deverá ter o aval técnico da CELESC. Além disso, no caso de qualquer implantação promovida pela CELESC, o financiamento da obra deverá ser feito pelo governo do estado de Santa Catarina, por ser ela uma empresa estadual. Desse modo, é fato que ações relativas à implantação de redes subterrâneas, incluindo as de média-tensão, têm estado, quando muito, restritas à capital do estado, Florianópolis, onde inclusive há um trecho de alta-tensão, na região central. Há, ainda, trechos de circuitos de média-tensão em Lages, Joinville, Itajaí e Criciúma. Por sua vez, por conta de dificuldades de financiamento, nenhuma desses circuitos é recente, tendo sido instalado o mais novo, há quatro anos, pelo menos (MUNICÍPIO DE ITAJAÍ, 2019).

3.2 Perspectivas futuras para as redes subterrâneas em Blumenau

No campo das possibilidades, sem que se possa ainda garantir qualquer mínima confirmação por parte da CELESC, algumas ruas e espaços da cidade

de Blumenau são elencáveis a ter a rede de alta-tensão local tornada subterrânea, por questões de apelo urbanístico, incluído no âmbito das cidades inteligentes. Essencialmente, toda a área central, tendo o prédio da Prefeitura Municipal como referência, se torna naturalmente elencável para essa transformação. Considerando que tanto a Rua XV de Novembro, quanto a Avenida Pres. Castelo Branco, também conhecida como Avenida Beira-rio, possuem já redes subterrâneas, de média e de baixa-tensão, respectivamente, há uma natural expectativa que futuros circuitos de média tensão deverão atender pequenas ruas centrais, como Curt Hering, Floriano Peixoto, Ângelo Dias, Nereu Ramos, Padre Jacobs, Paulo Zimmermann, Amadeu da Luz e Alameda Rio Branco, enquanto a Rua Sete de setembro, uma das principais da cidade, deverá aguardar por mais tempo para ser contemplada com redes subterrâneas, por conta de sua considerável extensão.

Adicionalmente, as ruas da região turística da Vila Germânica, são inerentemente elencáveis para a implantação de redes subterrâneas de média-tensão, podendo se estender à rua Antônio da Veiga, por conta do elevado tráfego, significativa circulação de pessoas e por se caracterizar como um corredor de serviços.

Em termos gerais, é possível depreender que para a implantação de uma rede subterrânea em ruas da cidade é necessária uma demanda advinda de uma entidade da sociedade organizada. Muito geralmente, associação de lojistas e/ou comerciais e industriais, que ainda garantam a fonte do financiamento. Entretanto, cabe à CELESC toda a aprovação, acompanhamento e comissionamento do projeto técnico de implantação, para o qual será ainda necessário o apoio de secretarias municipais, como as de trânsito, de obras, de planejamento urbano e de administração.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A demanda pela eliminação da poluição visual no ambiente paisagístico urbano impulsiona a implantação de redes subterrâneas, que encontra nos elevados custos o seu maior obstáculo. Considerando os itens contextualizados

neste trabalho, centrado nas redes de média- e baixa-tensão, é possível concluir que, atualmente, vivemos um período em que poucos trechos desse tipo de rede têm sido implantados o que, por sua vez, favorece a abertura de discussões sobre o estabelecimento de ações que permitam a uniformização, em nível nacional, de submissão de projetos de redes subterrâneas, desde os estudos de viabilidade até a operação, passando pelo pedido de financiamento, sempre de acordo com as normas técnicas nacionais e as normas da concessionária de energia local. Tal implementação poderia estar atrelada a um dos ministérios do governo federal. Dessa forma, cidades de médio porte, como Blumenau e que existem em elevado número, no país, podem mais facilmente conseguir êxito na implantação de redes subterrâneas, de média e de baixa-tensão.

Visando colaborar para a criação de um processo de âmbito nacional que permita facilitar a implantação de redes subterrâneas de média-tensão, este trabalho traz informações que vão desde a simples citação da preocupação com a logística das obras de escavação do passeio, que precisam ser analisadas com mais profundidade, até a necessidade à obediência das normas da concessionária local de energia elétrica.

Em termos de experiência própria, apesar de contar com um considerável trecho de rede subterrânea, em sua principal rua de comércio, a cidade de Blumenau não vive uma expectativa de implantação de novos trechos, mas sim uma certa e compreensível reticência, por parte da concessionária local, a CELESC, por conta de sua logística de sua manutenção, por ser uma rede de concepção antiga.

Finalmente, é fato que se trata de uma questão e tempo para que a implantação de novos trechos de rede subterrânea de média-tensão, envolvendo o poder municipal, ocorra. Por isso, o levantamento feito neste trabalho visa representar uma contribuição para o tema, nas ações futuras.

Neste contexto, os autores propõem uma sequência de ações, apresentada no Quadro 1, abaixo, que pode ser aplicada à maioria das cidades brasileiras, visando auxiliar na implantação de redes subterrâneas de distribuição e energia elétrica, tendo como ambiente o espaço público urbano, implicitamente.

Quadro 1

Etapa	Caracterização	Atribuição	Razão	OBS
01	Demanda por rede subterrânea	Organizações sociais – P. ex. Associação de lojistas; - População - P. ex. Associação de moradores;	P. ex . Paisagismo ou defesa de árvores ou de animais ou, ainda, segurança de pessoas.	Paisagismo costuma ser o principal motivo, servindo ainda por atender à defesa de árvores de embelezamento urbano e de animais, tais como pássaros, símios, esquilos, gambás e morcegos.
02	Estudo de viabilidade	Concessionária local de energia elétrica + poder público municipal	Definir a extensão e o traçado da rede pretendida e a tensão de operação (média ou baixa tensão), com base em normas técnicas, incluindo legislação de ocupação de subsolo	Redes de baixa tensão costumam ser mais simples e, geralmente, atendem bem em praças , viadutos e parques; Redes de média tensão se aplicam em locais de intenso comércio lojista, sendo bem mais caras.
03	Estudo de impacto das obras e orçamento geral	Poder público municipal	Reduzir ao mínimo possível o impacto, no espaço urbano, das obras de implantação	Obras civis de escavação causam profunda interferência na mobilidade urbana local
04	Estudo de viabilidade	Poder público municipal, concessionária de energia e entidade demandante	O maior retorno é intangível. Por isso, fontes de financiamento a fundo perdido devem ser priorizadas	A viabilidade não pode ser feita por retorno financeiro, pois esse praticamente não há.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA MINAS – NOTÍCIAS, Podas de árvores devem ser feitas por profissional para evitar acidentes com rede elétrica, 03 de janeiro de 2022. Disponível em <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/podas-de-arvores-devem-ser-feitas-por-profissional-para-evitar-acidentes-com-rede-eletrica> . Acessado em 10/05/2023.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução Normativa ANEEL Nº 915, que regulamenta a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. 23 de fevereiro de 2021. Disponível em <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021915.pdf> . Acessado em 10/05/2023.

ÂNCORA INDUSTRIAL – Acessórios para rede elétrica. Disponível em <https://www.ancoraindustrial.com.br/acessorios-rede-eletrica> . Acessado em 10/05/2023.

CAMPOS, L. C. R., de MACEDO, A. de S., LOPES, D. M., Sistemas de Redes Subterrâneas de Energia Elétrica no Brasil, Brazilian Journal of Production Engineering, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 151–169, 2019.

Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N02_14 . Acesso em 17 de maio de 2023.

CAPARROZ ENERGIA - Redes subterrâneas no Brasil e no mundo. Disponível em <https://www.caparrozenergia.com.br/2021/04/15/redes-subterraneas-no-brasil-e-no-mundo/>. Acessado em 17/05/2023 .

CEEE , CEEE-D instala novo transformador na rede subterrânea da Capital, 15 de novembro de 2014. disponível em <https://www.flickr.com/photos/grupoceee/15177593974> . Acessado em 10/05/2023.

CONDUSPAR – Catálogo de Produtos, cabos de média-tensão xlpe-ra 15 kV / rede aérea. Disponível em <https://conduspar.com.br/produtos/rede-aerea/cabo-media-tensao-xlpe-ra-15kv/> . Acessado em 10/05/2023.

FAM ENGENHARIA E PROJETOS – Instalação Elétrica Subterrânea, 2018. Disponível em <https://engfam.com.br/instalacao-eletrica-subterranea/> . Acessado em 16/05/2023.

Fundação Cultural de Blumenau / Arquivo Histórico José Ferreira da Silva / Fundo Memória da Cidade : Comunicação e Transporte - Rua XV – Reurbanização, 1999.

KIT, Acessórios para Cabos Elétricos - Aterramento da Blindagem em Terminais TPK para Cabos de Média-Tensão, 2023.

Disponível em <https://www.kitacessorios.com.br/aterramento-da-blindagem-em-terminais-tpk-para-cabos-de-media-tensao/> . Acesso em 17 de maio de 2023.

MOREIRA, Rodrigo, SOUZA, Diogo, de PAULA, Hélder, da COSTA, Vítor, LOPES, Ivan, BOAVENTURA, Wallace, PAULINO, José, MIRANDA, Glássio, Aula prática: Campo magnético - Avaliação experimental do impacto térmico de técnicas de mitigação do campo magnético produzido por linhas de distribuição subterrâneas. Revista O Setor Elétrico , agosto de 2016. Disponível em <https://www.osetoreletrico.com.br/campo-magnetico-das-linhas-subterraneas/> . Acessado em 10/05/2023.

MUNICÍPIO DE ITAJÁI, Notícias, Itajaí terá a maior rede subterrânea de energia elétrica de Santa Catarina, agosto de 2019. Disponível em <https://itajai.sc.gov.br/noticia/23468/itajai-tera-a-maior-rede-subterranea-de-energia-eletrica-de-santa-catarina> . Acessado em 10/06/2023.

OLIVEIRA, Fábio Gabriel de. Estudo de instalações de linhas subterrâneas de alta tensão com relação a campos magnéticos. 2010. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Acessível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-20102010-165349/en.php> . Acessado em 10/05/2023.

ORHAN, Mehmet F., **KAHRAMAN**, Huseyin, **BABU**, Binish S., Approaches for integrated hydrogen production based on nuclear and renewable energy sources: Energy and exergy assessments of nuclear and solar energy sources in the United Arab Emirates, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42, Issue 4, 2017. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.044> . Acessado em 10/05/2023.

SANTOS, Túlio L., Power Line Communications, Trabalho de projeto final da disciplina de Redes de Computadores II do Curso de Engenharia de Computação e Informação, UFRJ 2008/2. Disponível em https://www.qta.ufrj.br/ensino/eel879/Anos-antecedentes/2008-2/trabalhos_vf/tulio/index.htm . Acessado em 10/05/2023.

SIMÃO, M., Redes subterrâneas de energia elétrica: conversão eficiente e sustentável, CERTI Insights, 2021. Disponível em <https://certi.org.br/blog/redes-subterraneas-de-energia-eletrica/> . Acesso em 22 maio de maio de 2023.