



**Publicação
Preliminar**

ANÁLISE SOBRE O ENTERRAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE REDES DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E TELECOMUNICAÇÕES

Autores(as): Bruna de Abreu Martins, Lucas Arango, Luis Claudio Kubota
Produto editorial: Texto para discussão (TD)
Cidade: Brasília
Editora: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)
Ano: 2021
Edição 1

O Ipea informa que este texto não foi objeto de padronização, revisão textual ou diagramação pelo Editorial e será substituído pela sua versão final uma vez que o processo de editoração seja concluído.

ANÁLISE SOBRE O ENTERRAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE REDES DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E TELECOMUNICAÇÕES¹

Bruna de Abreu Martins²

Lucas Arango³

Luis Claudio Kubota⁴

RESUMO

O presente trabalho busca analisar a implantação das redes subterrâneas e seus impactos nos setores de energia e telecomunicações, através de lições aprendidas referentes ao benchmarking internacional, principais benefícios e uma análise econômico-financeira. A implementação das redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica é uma realidade no mundo inteiro. No Brasil, entretanto, a penetração deste tipo de rede ainda é bastante baixa, devido principalmente ao alto investimento requerido. Os benefícios deste tipo de infraestrutura são muitos e serão discutidos ao longo deste trabalho. Em relação ao compartilhamento de infraestrutura, as redes subterrâneas trazem benefícios mútuos para os setores envolvidos conforme será discutido ao longo deste trabalho. Com relação à qualidade da energia elétrica, as redes subterrâneas melhoram a confiabilidade do sistema apresentando valores menores de indicadores de continuidade em relação aos das redes aéreas. Esta diminuição nos indicadores de continuidade provocam um ganho econômico para as distribuidoras de energia em relação ao custo da energia não distribuída e às compensações pagas aos consumidores de energia por causa das violações dos limites destes indicadores. Portanto, este trabalho busca quantificar o aumento de faturamento para as distribuidoras em função da redução da energia não distribuída e comparar economicamente a viabilidade deste tipo de rede em relação às redes aéreas. Para isto, um estudo de caso hipotético em dez regiões distintas no Brasil é conduzido com o objetivo de mostrar como a viabilidade econômica varia em relação à região a ser implantada a infraestrutura de distribuição subterrânea. Os resultados mostraram que para regiões com uma altíssima densidade de carga e valores elevados de interrupções de energia, as redes subterrâneas são mais viáveis economicamente em comparação com as aéreas.

Palavras-chave: redes subterrâneas, compartilhamento de infraestrutura, qualidade da energia elétrica, Confiabilidade, energia não distribuída.

JEL: K23; K32; L94; L96.

1 Este estudo faz parte de uma série, que inclui o texto para discussão “Análise dos conflitos do compartilhamento de postes entre os setores de distribuição de energia e telecomunicações” (Ipea, no prelo). Os autores agradecem os comentários de membros da Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura do Ministério da Economia (SDI) e de Katia Rocha (Ipea). Quaisquer erros remanescentes são de responsabilidade dos autores.

2 Doutoranda EESP/FGV, ex-bolsista do PNPd Ipea.

3 Bolsista do PNPd Ipea.

4 Pesquisador da Diset Ipea.

1. INTRODUÇÃO

O compartilhamento da infraestrutura de postes entre os setores de distribuição de energia elétrica e telecomunicações enfrenta inúmeros conflitos, principalmente em relação à gestão do ativo, ao preço e ao uso irregular do poste. Dessa forma, os benefícios que o uso compartilhado da infraestrutura dos postes poderia gerar à sociedade (tais como: redução dos custos de ambos os setores, expansão do acesso aos serviços, entre outros) ficam prejudicados devido aos problemas anteriormente citados.

Com o intuito de mitigar esses problemas entre os setores e, com isso, melhorar o bem-estar da sociedade, o enterramento das redes dos serviços de distribuição de energia elétrica e telecomunicações é uma das possíveis alternativas a ser implementada. Dessa forma, o objeto de estudo deste trabalho é entender o funcionamento do enterramento das redes de distribuição de energia, explorando os prós e contras dessa alternativa, mapear o uso do enterramento mundo afora e analisar a viabilidade econômica.

A partir disto, será apresentado um benchmark internacional sobre o uso do enterramento das redes na seção 2, seguido por um panorama sobre o enterramento na seção 3, elencando os benefícios e malefícios à sociedade, os tipos de redes e alternativas para ratear os custos do enterramento. Na seção 4 realizar-se-á uma análise econômico-financeira sobre a viabilidade do enterramento em comparação com a rede aérea de distribuição de energia. Por fim, algumas considerações finais serão apresentadas na seção 5.

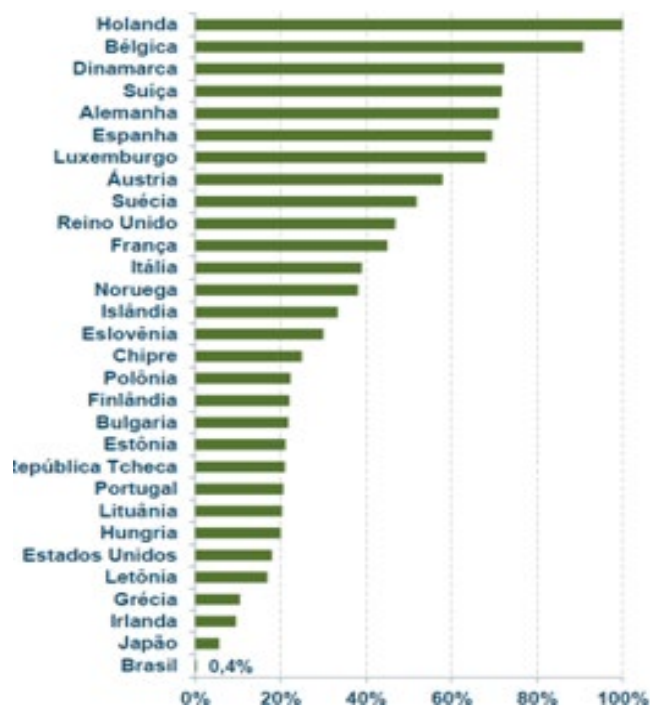
2. BENCHMARKING INTERNACIONAL

No Brasil, o enterramento de redes aéreas dos serviços de utilidade pública iniciou-se na década de 1940 em áreas com alta densidade populacional (impulsionado por uma empresa privada de energia elétrica), mas não avançou muito se comparado com os países desenvolvidos. A título de comparação, as capitais Rio de Janeiro e São Paulo possuem apenas 11% e 7%, respectivamente, das redes em formato subterrâneo em relação ao total de rede, enquanto Nova Iorque e Chicago registram 72% e 46%, nessa ordem (CPqD, s.d). Mesmo que o processo de enterramento seja lento no Brasil, alguns agentes têm interesse na implementação das redes subterrâneas, uma vez que há potenciais ganhos com essa medida.

Em relação ao restante do mundo, grande parte das principais cidades utilizam a infraestrutura subterrânea como parte de sua infraestrutura para provimento dos serviços de energia elétrica. A forma mais avançada desta infraestrutura - denominada de galeria subterrânea - permite o compartilhamento desta infraestrutura entre os setores de energia, telecomunicações, saneamento, gás natural, transporte, entre outros. Este compartilhamento permite que os setores exerçam seus serviços e atividades utilizando a mesma infraestrutura.

Com relação à penetração de redes subterrâneas em alguns países desenvolvidos da Europa, o percentual de enterramento em relação ao total de rede é muito alto, enquanto no Brasil este valor é baixíssimo (aproximadamente 0,4%). A Figura 1 ilustra esta diferença entre países.

Figura 1 – Percentual de redes subterrâneas em relação ao total de redes em alguns países



Fonte: Adaptado de (CPqD, s.d).

Mesmo que alguns países tenham que enfrentar adversidades oriundas de eventos climáticos desfavoráveis e outros ofensores naturais (gelo, tornados, terremotos), os quais são motivadores do enterramento, o percentual do enterramento no Brasil ainda é muito baixo.

A fim de entender melhor o uso do enterramento em outros países, os próximos subitens apresentarão alguns casos particulares. Essa análise por país é integralmente baseada em CPqD, s.d.

2.1.Argentina

Na Argentina, o enterramento das redes de energia elétrica e telefonia começou há várias décadas, gerando, com isso, uma proporção entre redes subterrâneas e aéreas relativamente alta em Buenos Aires.

Entretanto, as novas redes aéreas implementadas a partir da década de 1990 para atender os serviços de televisão por assinatura e internet geraram um estranhamento à população, levando à criação de iniciativas a favor do enterramento com o intuito de requalificação urbana.

Com isso em mente, a legislação vem promovendo o compartilhamento de infraestrutura passiva de forma a incentivar a substituição das redes aéreas por subterrâneas.

Essa nova onda de substituição de infraestrutura começou a ser financiada por iniciativas de empresas monopolistas em seu setor, as quais investiam em infraestrutura de uso próprio, as iniciativas multissetoriais ganharam espaço devido a combinação de fontes de recursos para o financiamento de galerias e dutos compartilhados.

A experiência da Argentina nos mostra que legislações muito impositivas ou restritivas isoladas não são capazes de reduzir e resolver os problemas das redes aéreas. A melhor solução encontrada

pelo país foi a criação de iniciativas multissetoriais que envolvam diversos agentes e a sociedade, além de incentivar o uso compartilhado de infraestruturas subterrâneas existentes.

2.2. Austrália

Na Austrália, o enterramento de redes de telefonia começou há várias décadas, enquanto essa prática para redes de energia elétrica e outros serviços têm cerca de apenas 20 anos.

Com a alta proporção de redes subterrâneas de telefonia em relação às aéreas, o surgimento de redes aéreas na década de 1990 para atender os serviços de televisão por assinatura gerou uma reação semelhante à observada na Argentina. Essa não aceitação das redes aéreas pela população motivou legislações restritivas que impediram a proliferação dessas redes, mas não eliminaram as existentes.

Outro importante motivador para substituir as redes aéreas pelas subterrâneas é a resiliência dos serviços frente a ciclones, incêndios e outras intempéries climáticas.

A fim de financiar essa infraestrutura subterrânea, as prestadoras de telefonia investiram em dutos subterrâneos próprios durante várias décadas. Todavia, recentemente as iniciativas multissetoriais vêm ganhando destaque para viabilizar a infraestrutura subterrânea devido à combinação de fontes de financiamento. Há também iniciativas custeadas por royalties da extração mineral, mas essas iniciativas capitaneadas pelo setor elétrico não incluem necessariamente o enterramento das redes de telecomunicações.

A experiência da Austrália nos mostra que as iniciativas capitaneadas pelas distribuidoras de energia elétrica e pautadas por critérios técnicos, financeiros e sociais tendem a ser mais sustentáveis no longo prazo, mas todo o processo pode ser facilitado pelo compartilhamento das infraestruturas subterrâneas existentes.

2.3. Canadá

No Canadá, o enterramento da infraestrutura de *utilities* é uma prática adotada nas áreas com maior densidade populacional há décadas, embora no restante do país as redes aéreas predominam. Vale destacar que os novos bairros e condomínios vêm optando pela implementação de redes subterrâneas.

Enquanto em outros países os motivos pelos quais a rede subterrânea é escolhida em detrimento da aérea são diversos, no Canadá essa decisão é majoritariamente atrelada a questões estéticas e urbanísticas. Dessa forma, os custos são arcados pelos demandantes dessa infraestrutura, isto é, municípios e/ou usuários dos serviços, e em casos muito específicos as distribuidoras oferecem programas de apoio quando há benefício social ou cultural à sociedade.

Apesar do alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o país é enorme para adotar apenas (ou em grandes proporções) as redes subterrâneas. Corroborando essa visão, o enterramento não é pré-requisito para os investimentos no programa nacional de banda larga, sendo que a maior proporção das novas redes é aérea, enquanto a subterrânea será adotada somente nos locais onde há dutos e galerias.

2.4. China

Na China, as primeiras iniciativas de enterramento começaram descentralizadamente há cerca de 25 anos. A fim de incentivar o desenvolvimento dos serviços que demandam por rede, melhorar a segurança e requalificar o espaço urbano, novas políticas baseadas em investimentos consistentes

em termos de projeto, gestão e governança foram promulgadas a partir de 2015.

Embora o enterramento faça parte de um projeto nacional em algumas áreas, com o investimento financiado majoritariamente pelo poder público, em alguns casos há parcerias público-privadas.

A experiência na China revela que uma política cuidadosa, centralizada e criteriosa de enterramento, com o uso de técnicas construtivas e métodos de governança adequados, é mais vantajosa em relação a iniciativas descentralizadas. Apesar dessas iniciativas individuais resolverem parte do problema local, muitas vezes desdobram em problemas para outros setores e áreas, além de demandar por recursos que poderiam ser mais bem aproveitados.

2.5. Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a implementação de redes subterrâneas iniciou em áreas densamente habitadas no início do século XX. Com isso, os programas federais e estaduais de financiamento de redes subterrâneas existem há décadas, enquanto as iniciativas em prol de resiliência e estética são recentes.

Vale destacar que as políticas nacionais ou estaduais não são generalizadas, pois definem diretrizes apenas para áreas especiais (como áreas históricas, cênicas ou vulneráveis). Nestes casos, os custos podem ser financiados por programas federais ou estaduais.

A infraestrutura subterrânea já faz parte da concepção urbanística do país, inclusive com o intuito de preservar o fornecimento de serviços em áreas vulneráveis a eventos meteorológicos. O caso dos Estados Unidos difere um pouco dos demais por não apontar as redes aéreas de telecomunicações como motivação para investir em redes subterrâneas.

A experiência dos Estados Unidos mostra que, em razão dos custos proibitivos, o enterramento generalizado das redes não prosperou no país, sendo atualmente restrito a novos bairros e condomínios, com financiamento do município e/ou contrapartida das distribuidoras de energia; ou a localidades com alto poder aquisitivo, onde os moradores aceitam arcar com os custos do investimento.

2.6. Japão

No Japão, as redes aéreas são majoritárias, enquanto as subterrâneas vêm ganhando atenção há poucos anos com o objetivo de requalificação urbana em áreas específicas de Tóquio.

Dessa forma, o responsável pelo investimento em infraestrutura subterrânea é o poder público local, sendo que alguns desses investimentos estão atrelados aos Jogos Olímpicos de 2020.

A experiência do Japão revela que é possível manter de forma organizada as redes aéreas, mesmo quando há alta densidade populacional e inúmeros provedores de serviços compartilhando a infraestrutura. Além disso, a decisão de investir em infraestrutura subterrânea do país nos ensina a importância de estabelecer critérios objetivos e oportunos para definir a necessidade da implementação de redes subterrâneas.

2.7. União Europeia

A heterogeneidade dos países que compõem a União Europeia reflete na implementação de redes subterrâneas. Em algumas capitais, o enterramento foi adotado há mais de um século, enquanto em outras, o enterramento avança a passos bem lentos. A fim de comparação, na Grécia apenas 10% da rede é subterrânea, enquanto na Holanda é 100%. Essa discrepância se deve a vários

fatores, tais como: densidade populacional, IDH e renda per capita.

As iniciativas pioneiras foram adotadas em áreas com alta densidade populacional devido aos aspectos urbanísticos. Em contrapartidas, as iniciativas mais recentes estão relacionadas à maior resiliência dos serviços aos desastres meteorológicos. Assim como nos Estados Unidos, não há indícios de que o enterramento surgiu para resolver questões relacionadas à ocupação excessiva dos postes.

O investimento com as redes subterrâneas também varia de país para país, podendo ser financiada por municípios ou distribuidoras de energia elétrica com contrapartida em tarifas.

As diversas experiências na União Europeia nos mostra que o enterramento das redes não é a situação predominante no continente e deve ser escolhida com parcimônia a depender das características intrínsecas de cada região.

3. ENTERRAMENTO

O enterramento das vias aéreas como solução dos conflitos entre os setores de distribuição de energia elétrica e telecomunicações no que tange o uso compartilhado dos postes é uma alternativa atraente, pois ataca o problema estrutural do elevado número de prestadores de telecomunicações demandando acesso a um número limitado de pontos ou apoios nos postes; e traz benefícios que se estendem no longo prazo.

Podemos ver estes benefícios de longo prazo pela Figura 2. As fotos da rua Voluntários da Pátria, no Rio de Janeiro (à esquerda e centro) ilustram resultados positivos do projeto Rio-Cidade, da década de 1990, o qual extinguiu os fios suspensos naquela via. Em contrapartida, a foto da rua Humaitá (foto da direita) - a poucos metros de distância - apresenta postes com ocupação desordenada.

Figura 2 – Comparação entre vias com e sem redes subterrâneas em duas vias da cidade do Rio de Janeiro



Nota: Fotos à esquerda e centro: rua Voluntários da Pátria. Foto à direita: rua Humaitá. Ambas no Rio de Janeiro.

Fonte: Elaboração própria.

Como é possível verificar na Tabela 1, o setor de telecomunicações ganharia acesso suficiente para os operadores se conectarem, melhoraria os serviços ofertados e resolveria inúmeros conflitos

com o setor de energia elétrica. O setor de energia elétrica, por sua vez, também melhoraria a qualidade e continuidade dos serviços de energia conforme Bollen (2000), Dugan et al. (2003) e Baggini (2008), reduziria as despesas operacionais e a sociedade teria menos problemas de acesso aos serviços de ambos os setores, com mais segurança e menos poluição visual no espaço urbano.

Tabela 1 – Interesse dos agentes na implantação das redes subterrâneas

	Distribuidoras de energia elétrica	Operadoras de telecomunicações	Municípios	Usuários
Solução técnica	Elevadas densidades de carga	Propiciar espaço para todos os operadores	-	-
Melhoria da qualidade	Interrupções devidas a vento, chuvas, abalroamento de postes	Indisponibilidade, substituição de cabos de cobre e aumento de largura de banda	Interrupções de serviço de semáforos, iluminação pública	Interrupções de atividades econômicas, produtividade, eliminação de geradores, qualidade de vida
Despesas operacionais	Eliminação de podas	Uso dos Postes	Podas da arborização urbana	-
Eliminação de postes e estética	Melhoria da reputação	Melhoria da reputação	Circulação de pedestres, paisagem urbana agradável, turismo	Circulação de pedestres, paisagem urbana agradável, valorização de imóveis
Redução de fraudes e furtos	Dificultar acesso a terceiros e furtos	Dificultar acesso a terceiros	Dificultar furtos	Redução das tarifas
Redução de acidentes	Queda de condutores, eletrocussões, ruptura de postes	Ruptura de postes	Problemas com tráfego	Redução das batidas em postes

Fonte: Adaptado de LMDM (2014).

Ainda conforme a LMDM (2014), as redes subterrâneas são demandadas basicamente nas seguintes situações: (i) alta concentração de carga, onde a rede aérea não comporta um grande número de alimentadores e transformadores; (ii) necessidade de redes de alta confiabilidade quando existem cargas sensíveis que necessitam de baixo índice de interrupção de energia; (iii) redução de indicadores de continuidade de fornecimento e melhoria da segurança, tais como: DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) e FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora), acidentes etc.; e (iv) solicitação da sociedade, em função dos aspectos

estéticos, paisagismo, qualidade de vida, preservação histórica, segurança, entre outros.

Entretanto, existem alguns aspectos que dificultam a implementação do enterramento de redes. Um dos entraves para o avanço do enterramento é a ausência de um modelo pré-definido para o investimento em rede subterrânea no país. Dessa forma, os programas para incentivar essa infraestrutura são diversos, sendo que os mais recentes são atrelados aos programas municipais ou para atender a própria demanda dos clientes desses serviços.

Ademais, as redes subterrâneas podem ser implementadas sob configurações diferentes a depender das características das regiões-alvo do enterramento, inclusive dependendo do formato do enterramento, se parcial ou total.

Considerando essas possíveis configurações, um estudo da Copel (2010) compilou algumas dessas características de modo a orientar e incentivar a implementação das redes subterrâneas pelos agentes. Com o intuito de resumir essas orientações elencadas pelo estudo da Copel (2010), as Tabelas 2 e 3 apresentam um compilado dos resultados.

Tabela 2 – Enterramento parcial

Tipo de rede	Densidade de carga típica	Custo aproximado /Km	Custo/KVA	DEC FEC qualitativo	Observações
Áreas urbanas com equipamentos semienterrados ou tipo pedestal	Entre 400 e 1500 kVA/km	R\$ 3,2 milhões	R\$1.600,00	0,7 a 1,5	Necessidade de liberação de espaços públicos e/ou privados para a instalação de equipamentos
Áreas urbanas com equipamentos em poste	Entre 200 e 1500 kVA/km	R\$ 2,5 milhões	R\$1.800,00	1,2 a 2,0	Necessidade de liberação de espaços públicos para a instalação de postes com equipamentos
Rede Radial com recursos para condomínios	Entre 300 e 800 kVA/km	R\$ 1,5 milhões	R\$2.000,00	2,0 a 2,5	Necessidade de espaços no condomínio. Tipicamente com equipamentos semienterrados ou pedestal
Rede Radial com recursos em áreas especiais (parques de preservação ambiental, ilhas, etc)	Entre 50 e 200 kVA/km	R\$ 450 mil - R\$ 600 mil	R\$2.500,00 - R\$3.000,00	2,2 a 3,0	É necessária a rede subterrânea por questões ambientais. Tipicamente com equipamentos semienterrados e cabos diretamente enterrados

Fonte: Copel (2010)

Apesar do elevado custo de implementação por quilômetro, se considerarmos a densidade de carga típica de cada tipo de rede implementada, observamos que o custo por quilovolt-ampere não é tão discrepante entre os tipos de redes.

Tabela 3 – Enterramento total

Tipo de Rede	Densidade de Carga Típica	Custo aproximado /Km	Custo/KVA	DEC FEC qualitativo	Observações
Rede Reticulada ou Network	Maior que 3000 kVA/km ou 48 MVA/km ²	R\$ 12 milhões	R\$ 800,00	0 a 0,2	Rede com câmaras subterrâneas para abrigo dos transformadores e rede de baixa tensão interligada.
Áreas urbanas - totalmente enterrada	Maior que 1500 kVA/km ou 24 MVA/km ²	R\$ 5 milhões	R\$ 1.500,00	0,5 a 1,0	Tipicamente construída com cabos acomodados em dutos e equipamentos acomodados em câmaras e caixas subterrâneas

Fonte: Copel (2010)

No caso do enterramento total, o custo aproximado por quilômetro é mais que o dobro na rede reticulada em comparação às redes enterradas nas áreas urbanas. Em contrapartida, há uma compensação considerável pelo custo por quilovolt-ampere, isto é, o custo por quilovolt-ampere é de apenas R\$ 800 para as redes reticuladas e de R\$ 1500 nas áreas urbanas.

Além da decisão de enterramento parcial ou total, o enterramento das redes de energia como alternativa para mitigar os conflitos oriundos do compartilhamento de postes poderia ser feito sob dois arranjos distintos. No primeiro arranjo, o enterramento seria apenas dos serviços de telecomunicações e, dessa forma, o compartilhamento dos postes com as distribuidoras de energia elétrica tornar-se-ia, de certa forma, dispensável ao setor de telecomunicações.

No entanto, essa opção acabaria com os benefícios de se compartilhar infraestrutura, isto é, o valor total investido e os custos de manutenção recairiam totalmente sobre o setor de telecomunicações e seus consumidores. Além disso, como os postes ainda estariam disponíveis para as distribuidoras de energia elétrica, as operadoras de telecomunicações ainda poderiam utilizar os postes de maneira inadequada, caso não haja uma regulação, fiscalização e gestão assertiva.

A segunda opção de enterramento seria mais ampla, pois as redes aéreas tanto de energia elétrica como de telecomunicações seriam substituídas por redes subterrâneas. Neste caso, a nova infraestrutura seria compartilhada, gerando benefícios aos setores e à sociedade, por um lado, mas levaria a alguns problemas que atualmente nos deparamos com o compartilhamento de postes, por outro lado, porém muito menores.

A infraestrutura de galerias subterrâneas pode ser compartilhada entre os setores de energia, telecomunicações, saneamento, gás natural, transporte, entre outros, assim como as obras civis e os respectivos custos. Um exemplo de enterramento de redes que deve ser analisado é o caso do Rio de Janeiro, uma vez que nos mostra que essa decisão de quem deve investir pode gerar

conflitos. A Lei Complementar nº 111/2011 definiu que as redes aéreas do município do Rio de Janeiro serão substituídas pelas redes subterrâneas, sendo de responsabilidade da concessionária de energia realizar essa transição. Além disso, o Decreto nº 37035/2013 definiu que, caso haja alguma obra nas vias e logradouros públicos, estas obras deverão prever a implementação de dutos, sendo responsabilidade das empresas de energia elétrica e de telecomunicações implementar suas redes durante essas obras. Vale destacar ainda que, sob o Decreto nº 37035/2013, estes dutos serão propriedade do município, assim como a gestão de compartilhamento desta infraestrutura.

Entretanto, as distribuidoras de energia têm interesse em realizar esse investimento? Ou ainda, quaisquer outros setores querem dispendir tamanho investimento nessa infraestrutura? Pode ser que não e, portanto, seja necessário criar um incentivo adequado para que este investimento, de fato, seja realizado.

Caso haja um detentor único desses dutos, sob quais condições e preços o acesso a esses dutos seria disponível aos demais setores? Com os possíveis conflitos gerados pela precificação em mente, não seria melhor o investimento também ser compartilhado?

Ademais, por se tratar de um volumoso investimento, seria importante definir se, e como, esses valores poderiam ser repassados aos consumidores sem gerar grandes distorções.

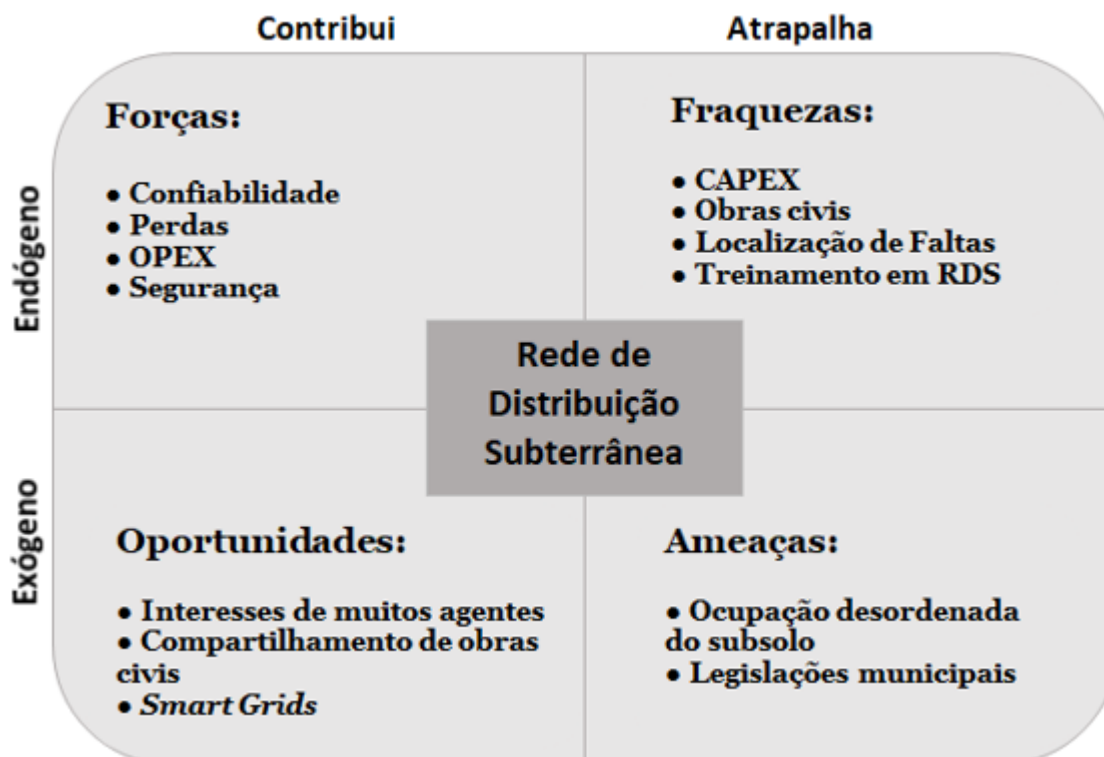
Outro ponto importante a ser analisado é referente a modicidade tarifária do setor elétrico. Sem o compartilhamento de postes com o setor de telecomunicações, haveria uma redução das receitas das distribuidoras de energia elétrica e, conseqüentemente, dos subsídios repassados aos consumidores via modicidade tarifária. De acordo com os entrevistados durante a elaboração do diagnóstico do problema⁵, as distribuidoras de energia elétrica não têm grandes benefícios econômicos com o compartilhamento de postes, portanto, a grande questão é se a modicidade tarifária poderia ser flexibilizada e os impactos que poderiam gerar ao bem-estar do consumidor⁶.

Apesar dos questionamentos sobre a viabilidade econômica do enterramento, sabe-se que é uma alternativa importante a ser estudada. A Figura 3 adaptada de Sinapsis (2013), executa uma análise *Strengthness, Weakness, Opportunitites e Threats* (SWOT), baseada nas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da implantação de projetos de redes subterrâneas:

⁵ Vide texto para discussão “Análise dos conflitos do compartilhamento de postes entre os setores de distribuição de energia elétrica e telecomunicações” (Ipea, no prelo).

⁶ Tema de outro estudo em fase de elaboração.

Figura 3 – Análise SWOT da implantação de Rede Subterrânea



Fonte: Adaptado de Sinapsis (2013).

À luz dessa análise SWOT, serão apresentados a seguir alguns prós e contras dessa alternativa.

3.1.Aspectos positivos do enterramento

Segundo Copel (2010), os benefícios de implementação das redes subterrâneas podem ser sintetizados a seguir:

- Estética;
- Segurança;
- Redução dos custos de manutenção;
- Redução dos índices de continuidade de energia e maior confiabilidade;
- Maior acessibilidade;
- Processo mais limpo;
- Maior vida útil.

Conforme apresentação realizada pelo CPqD (s.d), alguns benefícios quantificáveis do enterramento para um estudo australiano incluíam:

- Redução das colisões de veículos com postes;
- Redução das perdas causadas por interrupções de energia elétrica;
- Redução dos custos de manutenção de rede;

- Redução dos custos de poda de árvores;
- Impacto benéfico sobre os valores dos imóveis;
- Redução dos riscos de choques elétricos;
- Menor suscetibilidade das redes a queimadas.

De acordo com LMDM (2014), o sistema subterrâneo de distribuição é mais complexo e requer um investimento mais elevado, porém em contrapartida apresenta uma série de benefícios, tais como:

- Redução significativa das interrupções pela diminuição da exposição dos circuitos aos agentes externos, incrementando, assim, a confiabilidade do serviço;
- Eliminação dos circuitos aéreos, o que melhora bastante a aparência do sistema e, principalmente, ajuda a preservar as árvores, contribuindo, conseqüentemente, para o embelezamento das cidades e conservação do meio ambiente;
- Aumento da segurança para a população, com a redução do risco de acidentes por ruptura de condutores e contatos acidentais;
- Redução dos custos de manutenção, como podas de árvores e deslocamento de turmas de emergência.

Além disso, as redes subterrâneas resolvem questões relacionadas à poluição visual geradas pela desorganização das redes aéreas. A infraestrutura aérea causa poluição visual e riscos à segurança e ordem pública devido aos cabos expostos e sem marcação, algumas vezes soltos, outras em quantidades superiores do que o poste suporta.

Adicionalmente, a rede subterrânea aumenta a confiabilidade do sistema por apresentar menores índices de interrupção. Os curtos-circuitos decorrentes de descargas atmosféricas e galhos de árvores tocando os condutores, comuns numa infraestrutura de postes não existiriam para o caso da infraestrutura subterrânea. Além disso, economizar-se-ia com a redução de custos referentes a podas de árvores, que no caso das redes aéreas, é necessário em razão dos curtos-circuitos que os galhos de árvores podem causar ao tocar os condutores de energia. Também, reduzir-se-iam as perdas de energia com a implantação de redes subterrâneas. Esta redução nas perdas comerciais de energia ocorre principalmente em função da diminuição do furto de energia, ato muito comum nas redes aéreas de distribuição.

Ademais, o furto ou roubo de cabos de cobre e fibra ótica se torna quase impossível neste tipo de infraestrutura. Todas estas vantagens, não considerada numa análise de investimentos, representam o custo evitado na implantação deste tipo de rede, que se corretamente considerados elevam bastante a viabilidade econômica referente a este tipo de infraestrutura. As redes subterrâneas destacam-se pela vantagem de dificultar o uso desordenado, irregular e à revelia da infraestrutura de postes entre os entes do setor de telecomunicações, uma vez que não seria tão fácil e barato infringir as normas quando a infraestrutura está enterrada.

Embora o investimento em capital físico da rede subterrânea seja elevado, como será visto a seguir, o capital necessário para manter as instalações é consideravelmente menor se comparado ao das redes aéreas. Considerando que a infraestrutura é subterrânea, não haveria tanta exposição às intempéries climáticas e reduziria o uso irregular e inadequado da infraestrutura, o que

aumentaria a sobrevida da infraestrutura, bem como reduziria as despesas em manutenção do setor

Ademais, essa alternativa resolveria à priori o problema de sobreutilização dos postes e suas consequências, tais como, falha no fornecimento de serviços de telecomunicações e de energia elétrica, risco à segurança de transeuntes, perda de produto potencial etc. – pois a nova estrutura seria desenvolvida para atender a demanda atual e potencial por essa infraestrutura.

Ou seja, todos os problemas referentes à fiscalização e gestão dos ativos, que no caso dos postes é bastante deficiente, praticamente não existiriam em função de o acesso a este tipo de infraestrutura ser bastante restrito. Ou seja, os problemas referentes a ocupação desordenada, clandestina e à revelia praticamente não existiriam.

O problema de saturação de pontos também poderia ser mitigado, visto que nas bandejas dos dutos a quantidade de cabos que podem ser passados normalmente é superior do que nos postes. Numa situação de saturação e modernização dos setores através dos avanços tecnológicos na qual a demanda tende a crescer este tipo de infraestrutura suporta melhor este crescimento LMDM (2014).

Dessa forma, o enterramento poderia gerar benefícios à sociedade em diversos aspectos, tais como: reduzir a perda dos consumidores que ficam constantemente sem acesso aos serviços que demandam por conexões em postes e, conseqüentemente, ampliar a receita de ambos os setores que atualmente interrompem o fornecimento dos serviços; diminuir os riscos à segurança; incentivar a entrada de novos ofertantes de serviços de telecomunicações, uma vez que não haveria falta de infraestrutura; entre outros LMDM (2014).

3.2. Aspectos negativos do enterramento

Todavia, há um motivo chave para a relação entre redes subterrâneas e aéreas ser tão baixa. O investimento em capital físico necessário para efetuar essa transição de rede aérea para rede subterrânea é elevado e, portanto, é um fator fundamental ao analisar os prós e contras do enterramento vis-à-vis dos postes.

Além disso, é importante destacar que este investimento pode ser repassado às tarifas, isto é, em última análise, este alto investimento poderia ser cobrado dos consumidores de serviços de telecomunicações e/ou de energia elétrica, impactando diretamente o bem-estar dos consumidores.

A partir do estudo realizado pela SindiTeleBrasil (2019) a respeito da Lei Complementar nº 111/2011, que definiu a extinção da rede aérea no município do Rio de Janeiro em até 5 anos, é possível termos uma dimensão do investimento necessário para o enterramento.

Segundo SindiTeleBrasil (2019), para eliminar 390 mil postes do Rio de Janeiro seriam investidos cerca de R\$26 bilhões, considerando a utilização da infraestrutura por 12 operadoras de telecomunicações. Ademais, caso essa infraestrutura subterrânea fosse viável em 10 anos, isto é, o dobro do tempo estipulado pela Lei Complementar, o valor presente líquido deste investimento seria da ordem de R\$18 bilhões.

Logo, caso esse investimento seja feito apenas pelas operadoras de telecomunicações, pode ser inviável para as pequenas e médias empresas, bem como em lugares com baixa densidade populacional e poucos ofertantes de serviços de telecomunicações. Ademais, neste caso não haveria o compartilhamento de postos e, com isso, a modicidade tarifária seria extinta.

Por fim, caso o enterramento seja realizado de forma compartilhada entre os setores de telecomunicações e de energia elétrica, o uso compartilhado dessa nova infraestrutura deve ser bem regulamentado para que os atuais conflitos entre os setores não se perpetuem.

3.3. Tipos de Redes de Distribuição de Energia

As redes aéreas e as subterrâneas possuem diversas configurações. Dependendo de alguns fatores e da finalidade uma configuração pode ser escolhida em relação a outra. As redes aéreas são classificadas em três tipos: convencional, compacta e isolada. As redes subterrâneas podem ser de diversos tipos. Este tópico foca apenas nas redes subterrâneas radiais e reticuladas na forma mais simples. As subdivisões das redes subterrâneas como radial com recurso, *mesh* e primário seletivo não serão tratadas neste tópico. A Tabela 4 resume os diferentes tipos de redes consideradas:

Tabela 4 – Resumo dos principais tipos de redes

Tipo de Infraestrutura	Resumo Básico
Rede Aérea Convencional	É o tipo de rede mais encontrada no Brasil, devido ao seu baixo custo de implementação. Os condutores de energia de cobre ou alumínio são caracterizados por serem nus, o que proporciona uma confiabilidade muito baixa, devido principalmente à presença de interrupções ocasionadas quando os galhos de árvores tocam os condutores de energia. Uma poda de vegetação frequente é recomendado para este tipo de rede.
Rede Aérea Compacta	As redes aéreas compactas ao contrário das redes convencionais apresentam uma proteção composta por uma cobertura polimérica em seus condutores de cobre ou alumínio. Devido a este efeito isolante, os condutores de energia podem ficar mais próximos reduzindo assim o espaço utilizado, onde é muito comum a utilização de <i>spacers</i> . A cobertura polimérica nos condutores, aumenta em muito a confiabilidade da rede, diminuindo em muito as interrupções ocasionadas por vegetação tocando os condutores.
Rede Aérea Isolada	A rede aérea isolada é o tipo de rede aérea com o maior custo de instalação. É composta por três cabos fases isoladas e um cabo mensageiro. Os cabos fases são enrolados em volta do cabo mensageiro de liga de alumínio. Possui uma grande aplicação para alimentadores expressos. A vantagem da rede multiplexada é que o nível de confiabilidade é elevado em comparação com os outros tipos de redes aéreas, além de ocupar menos espaço.
Rede Subterrânea Radial Simples	A rede subterrânea radial é caracterizada por ter apenas um caminho de alimentação das cargas. Ou seja, se este caminho for interrompido em razão de alguma contingência a carga fica sem energia até o problema ser resolvido.
Rede Subterrânea Reticulada	A rede subterrânea reticulada, malhada ou <i>network</i> é caracterizada por se ter mais de um caminho para alimentação das cargas. Ou seja, se algum caminho for interrompido, o outro continua alimentando a carga normalmente e vice-versa.

Fonte: Adaptado de Rigoni (2016).

Sabe-se também que existem as redes totalmente e parcialmente enterradas. Sendo o custo das totalmente enterradas maior. Para as diferentes configurações de redes existentes, existem diferentes valores de investimento para implantação, diferentes custos de operação e manutenção assim como diferentes níveis de confiabilidade.

A Figura 4 ilustra a comparação entre os tipos de rede considerados em relação ao CAPEX, OPEX, CEV e confiabilidade.

Figura 4 – Comparação entre os tipos de redes

Tipos de Infras	CAPEX	OPEX	CEV	Confiabilidade
Rede Aérea Convencional	↓ (-)	↑ (+)	↓ (-)	↓ (-)
Rede Aérea Compacta				
Rede Aérea Isolada				
Rede Subterrânea Radial				
Rede Subterrânea Reticulada	↓ (+)	↓ (-)	↓ (+)	↓ (+)

Fonte: Elaboração própria.

A sigla CEV representa o custo evitado com a implementação de redes mais sofisticadas percebidos através da melhoria da confiabilidade e redução dos índices de interrupção, que gera um ganho financeiro para a distribuidora que passa a faturar mais devido a redução destes índices de interrupção.

3.4. Compartilhamento dos custos de enterramento

Um dos principais inibidores do enterramento como alternativa às redes aéreas é o alto investimento necessário para essa infraestrutura. Logo, encontrar uma forma de tornar essa alternativa viável financeiramente é fundamental.

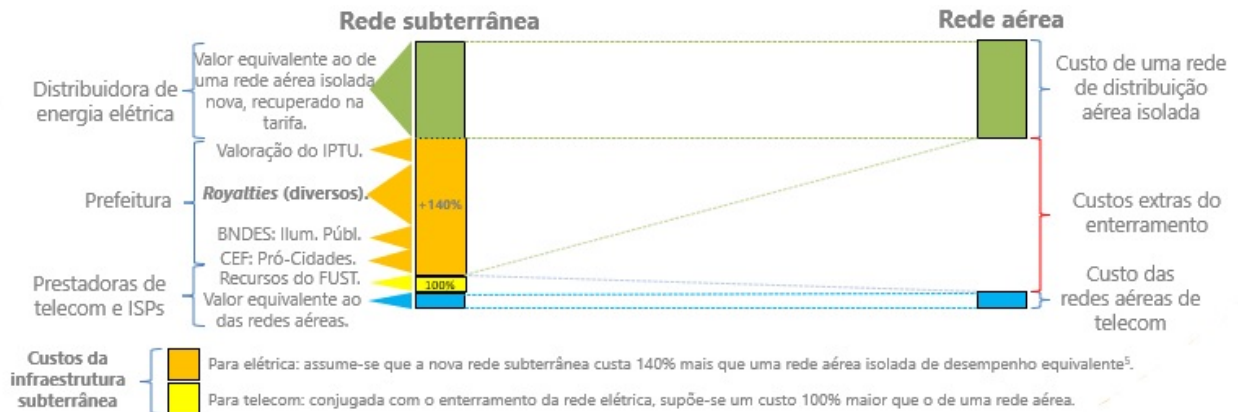
Considerando que as redes subterrâneas seriam utilizadas de forma compartilhada entre diversos setores, analisar possibilidades para compartilhar os custos poderia acelerar e viabilizar o processo de enterramento das redes.

Dessa forma, o trabalho desenvolvido pelo CPqD (s.d) elencou algumas formas para dividir os custos entre os agentes beneficiados com essa infraestrutura, identificando as fontes dos recursos de forma qualitativa.

3.4.1. Enterramento em novos bairros

Uma das maneiras de implementar o enterramento de redes com custos reduzidos é a partir do aproveitamento de obras de novas vias e calçadas em novos bairros. Dessa forma, as verbas para financiar essas obras seriam municipais (orçamento, royalties, IPTU etc.), aportes de distribuidoras de energia elétrica (possivelmente repassado aos consumidores via tarifa), aportes de operadoras de telecomunicações (com valores equivalentes aos despendidos às redes aéreas) e recursos extras (Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações – FUST). Na Figura 5 é possível observar o compartilhamento de custos proposto pelo estudo.

Figura 5 - Enterramento em novos bairros



Fonte: CPqD (s.d)

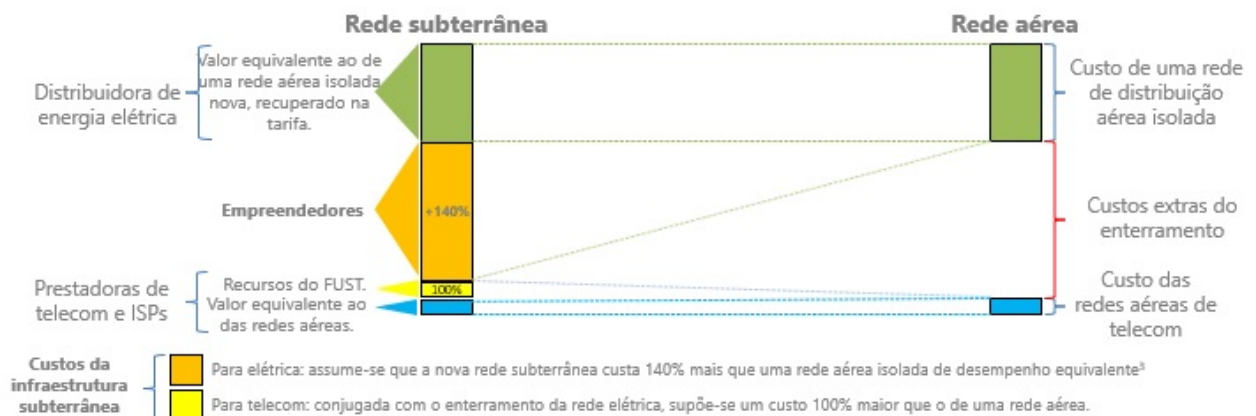
Sob essa configuração, assume-se que o custo do enterramento para as distribuidoras de energia elétrica seja 140% superior ao custo da rede aérea com desempenho equivalente, e 100% maior para as operadoras de telecomunicações. Vale ressaltar que neste cenário os custos são reduzidos, pois aproveitam as obras dos novos bairros.

Dessa forma, tanto as distribuidoras de energia elétrica como as operadoras de telecomunicações seriam responsáveis apenas pelo montante equivalente aos custos das redes aéreas, enquanto a diferença do custo seria financiada pela prefeitura e por demais fundos.

3.4.2. Enterramento em novos condomínios

Outra maneira de reduzir os custos de enterramento seria aproveitar as obras de novos condomínios, esta opção seria semelhante à observada na construção de novos bairros. Nesta alternativa, o enterramento seria financiado pelos empreendedores responsáveis pelos novos condomínios, aportes de distribuidoras de energia elétrica (possivelmente repassado aos consumidores via tarifa) e aportes de operadoras de telecomunicações. Podemos observar a divisão proposta pelo estudo do CPqD (s.d) na Figura 6:

Figura 6 - Enterramento em novos condomínios



Fonte: CPqD (s.d)

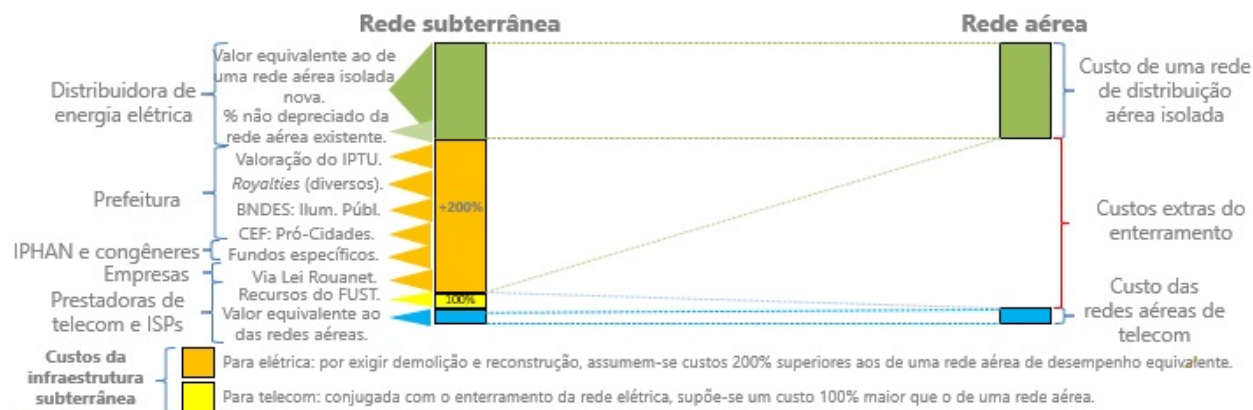
Assim como a configuração anterior, assume-se que o custo do enterramento para as distribuidoras de energia elétrica é 140% superior ao custo da rede aérea com desempenho equivalente, e 100% maior para as operadoras de telecomunicações.

Neste cenário, as distribuidoras de energia elétrica e operadoras de telecomunicações despenderiam os recursos equivalentes às redes aéreas e o custo adicional seria coberto pelos empreendedores dos condomínios e demais fundos.

3.4.3. Substituição da rede aérea pela subterrânea em áreas com valor histórico, cultural ou cênico

Neste novo cenário, os custos do enterramento poderiam ser financiados por mais fontes de recursos, uma vez que tem cunho histórico, cultural ou cênico, isto é, além das distribuidoras de energia elétrica, operadoras de telecomunicações e prefeituras, fundos específicos como do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e da Lei Rouanet também poderiam financiar essa infraestrutura, conforme esquema apresentado pela Figura 7.

Figura 7 - Enterramento em áreas históricas, culturais ou cênicas



Fonte: CPqD (s.d)

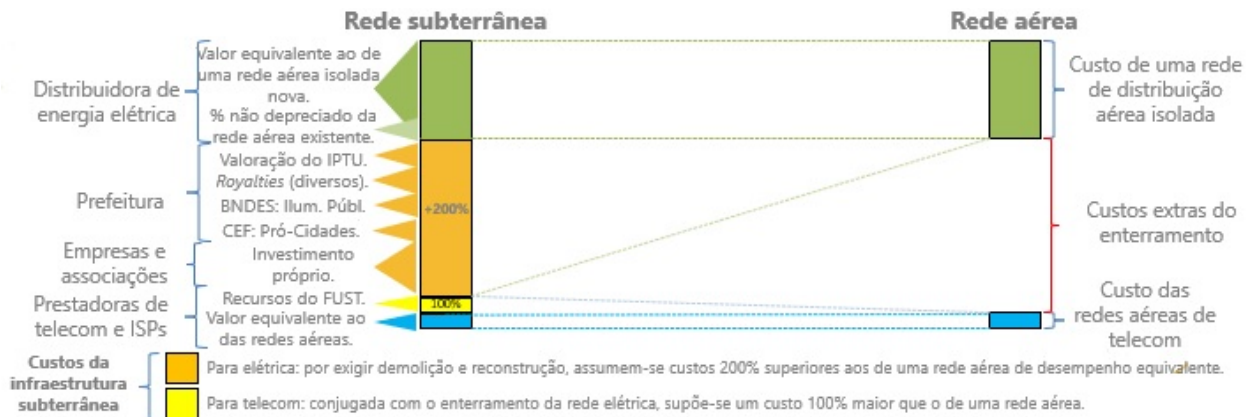
Neste caso, por não aproveitar uma obra iniciada, as distribuidoras de energia elétrica teriam que arcar com custos de enterramento 200% superior aos equivalentes às redes aéreas. As operadoras de telecomunicações, por sua vez, ainda teriam custos de enterramento 100% maiores do que as redes aéreas.

Seguindo o mesmo modelo aplicado anteriormente, distribuidoras de energia elétrica e operadoras de telecomunicações arcariam com os custos equivalentes aos dispêndios necessários com as redes aéreas e o custo adicional seria provido por demais fontes de recursos (prefeituras e fundos específicos).

3.4.4. Substituição da rede aérea pela subterrânea em áreas comerciais ou turísticas (requalificação urbana)

Nesta alternativa de compartilhamento de custos, o objetivo principal do enterramento seria a requalificação urbana em prol da valorização de áreas comerciais ou turísticas. Dessa forma, o financiamento de empresas e associações com recursos próprios (tais como, recursos de associações comerciais, turísticas e afins) ganha destaque, como é possível verificar na Figura 8:

Figura 8 - Enterramento em áreas comerciais e turísticas



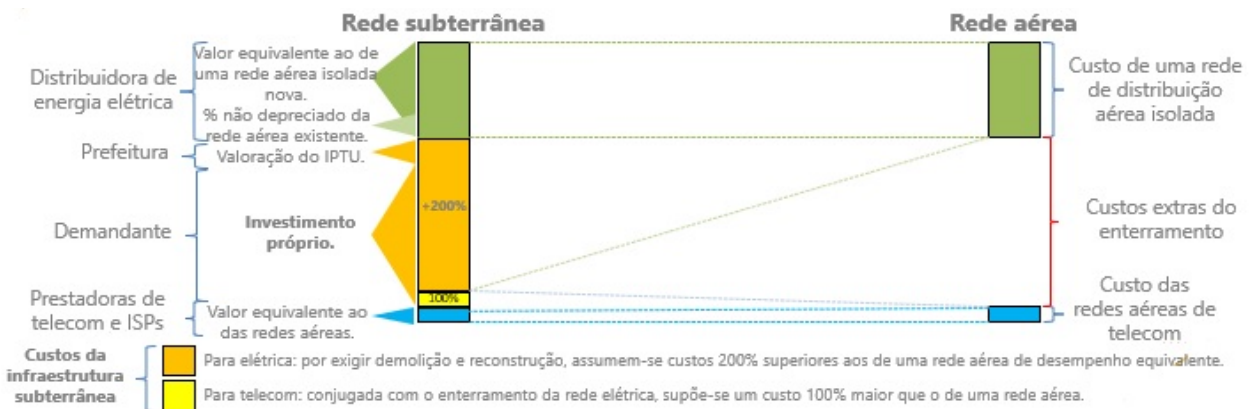
Fonte: CPqD (s.d)

Neste caso, o enterramento também não seria implementado através de outras obras em andamento, portanto, seria 200% mais custoso do que as redes aéreas para as distribuidoras de energia e 100% para as operadoras de telecomunicações. Estes custos adicionais da infraestrutura subterrânea seriam financiados tanto pela prefeitura como pelos recursos de empresas e associações.

3.4.5. Substituição da rede aérea pela subterrânea sob demanda de entes privados (pessoas físicas ou jurídicas)

O enterramento pode ser solicitado por entes privados e, nestes casos, os demandantes dessa infraestrutura deveriam financiar boa parte do custo adicional que as distribuidoras de energia elétrica e operadoras de telecomunicações teriam para substituir a rede aérea, como ilustrado pela Figura 9:

Figura 9 - Enterramento demandado por entes privados



Fonte: CPqD (s.d)

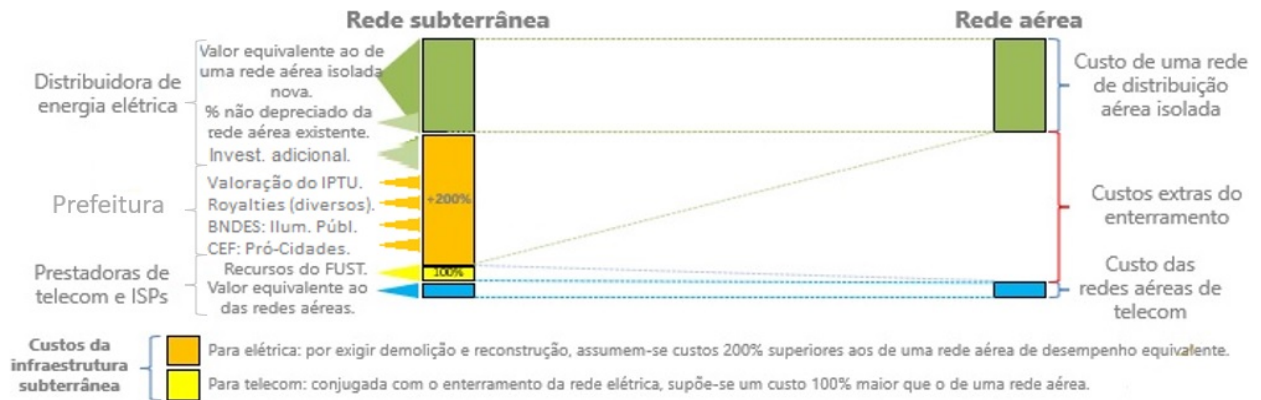
O enterramento também seria 200% mais custoso do que as redes aéreas para as distribuidoras de energia e 100% para as operadoras de telecomunicações.

Ademais, por ser uma demanda privada, o custo adicional deveria ser financiado por investimento direto dos demandantes, bem como pelo IPTU proveniente de tais áreas.

3.4.6. Substituição da rede aérea pela subterrânea por iniciativa da distribuidora de energia elétrica

Em alguns casos, é possível que as distribuidoras de energia elétrica decidam substituir as redes aéreas pelas subterrâneas a depender dos benefícios operacionais esperados pelo setor. Neste caso, as distribuidoras deveriam ser responsáveis por uma parcela do custo adicional da nova infraestrutura de modo a incentivar os demais interessados a participar desse compartilhamento de custos, como apresentado pela Figura 10:

Figura 10 - Enterramento via distribuidoras de energia elétrica



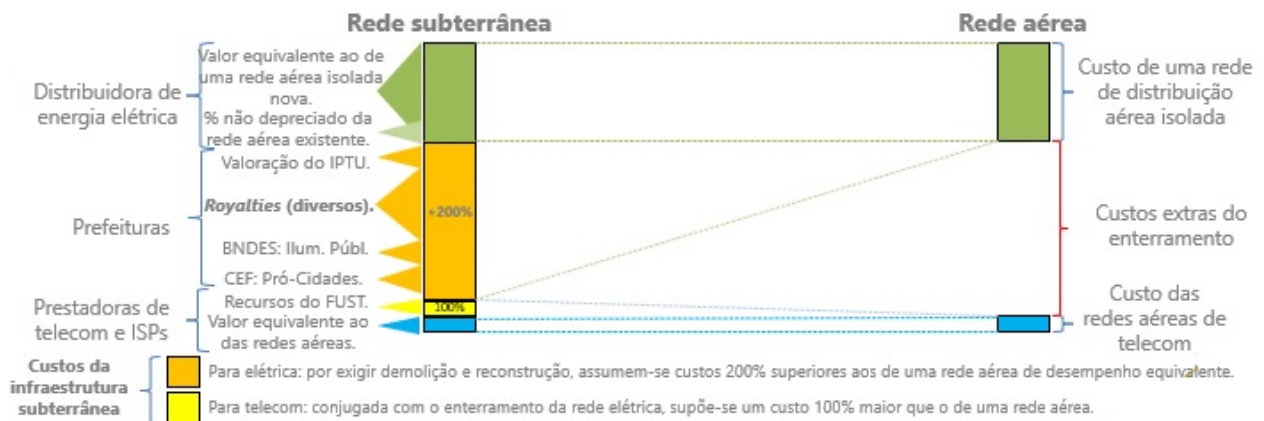
Fonte: CPqD (s.d)

3.4.7. Substituição da rede aérea pela subterrânea nos casos gerais

Embora a maioria dos casos de substituição de redes aéreas pelas subterrâneas se enquadre em uma das situações detalhadas acima, há outros casos que esse investimento em enterramento não é tão específico.

Nestes casos gerais, não haveria o financiamento de fontes específicas e, portanto, os custos recairiam sobre as distribuidoras de energia elétrica, operadoras de telecomunicações e prefeitura, conforme Figura 11:

Figura 11 - Enterramento em casos gerais



Fonte: CPqD (s.d)

Com o objetivo de tornar a implementação do enterramento financeiramente viável, seria responsabilidade das prefeituras investir mais nessa infraestrutura, seja por royalties, IPTU ou quaisquer outras fontes de recursos disponíveis no orçamento.

De acordo com o CPqD (s.d), esse papel do município como propulsor seria essencial para fazer a transição entre redes aéreas para subterrâneas. Segundo o CPqD (s.d), o município seria um gestor natural dessa infraestrutura compartilhada ao fornecer dados da ocupação do subsolo e ao regulamentar essa ocupação.

Além disso, os municípios possuem diversas fontes de recursos que poderiam financiar este investimento, como os royalties provenientes da exploração de recursos minerais; as parcerias com associações e empresas, inclusive nos termos das leis de incentivo cultural; os fundos federais para requalificação de áreas com valor histórico, cultural ou cênico; e os financiamentos específicos do BNDES e da Caixa Econômica Federal para infraestrutura urbana.

Por fim, uma vez que o investimento nessas novas infraestruturas urbanas fosse feito, os municípios poderiam arrecadar recursos adicionais de IPTU e o aluguel das infraestruturas para as *utilities*.

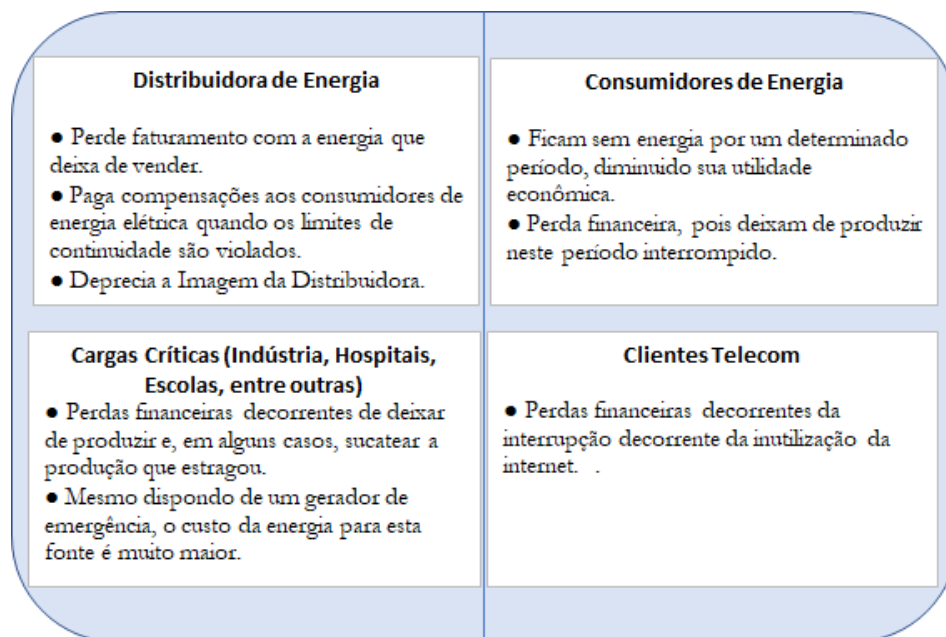
4. ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA⁷

Apesar de todos os benefícios citados referentes às infraestruturas ou redes subterrâneas, a questão do custo de implementação é uma barreira que muitas vezes impede a construção deste tipo de rede. No Brasil, o custo de implementação de uma rede subterrânea é muito superior ao custo de uma rede de distribuição aérea e este pode variar, dependendo dos aspectos construtivos, materiais e equipamentos utilizados, além da configuração deste tipo de rede. Sabe-se que ao longo do tempo o custo evitado com a implantação das redes subterrâneas pode de alguma forma vir a viabilizar economicamente a implantação deste tipo de infraestrutura. Porém, existe uma dificuldade de se generalizar estes custos evitados em razão das características intrínsecas naturais das regiões a serem instaladas. Cada região apresenta características diferentes das outras com relação a alguns fatores que impactam no custo evitado deste tipo de rede e podem ser citadas a seguir:

- Densidade de carga;
- Cargas críticas;
- DEC e FEC;
- Densidade de clientes telecom.

Dependendo dos valores destes atributos, a viabilidade econômica do empreendimento de redes subterrâneas comparando-se com a rede aérea pode variar. A Figura 12 representa o impacto das interrupções sobre os agentes: distribuidora de energia elétrica, consumidores de energia elétrica, cargas críticas e clientes de telecomunicações.

⁷ Para uma explicação oral do modelo, vide: <https://www.youtube.com/watch?v=yqz3mc91anc>. Acesso em 13 ago. 2021.



Fonte: elaboração própria.

A proposta desta seção consiste, além de quantificar o custo evitado com a implantação das redes subterrâneas de energia, comparar a viabilidade econômica de implantação de uma rede subterrânea em relação a aérea em regiões distintas. Para isto, nos próximos tópicos será desenvolvida uma metodologia de quantificação de custo evitado baseado em Arango et al. (2017) e no tópico de análise econômico-financeira de projetos será utilizado a metodologia baseado em Brasil (2002) e Park et al. (1990).

4.1. Quantificação do Custo Evitado com a implementação de Redes Subterrâneas

A Figura 12 sintetiza os benefícios da implementação das redes subterrâneas para os agentes considerados. Em virtude da dificuldade de se quantificar alguns destes benefícios, o presente tópico busca o desenvolvimento de um modelo de quantificação dos benefícios econômicos para a distribuidora de energia elétrica em função da implementação das redes subterrâneas de energia.

Assim, os benefícios da implantação da rede subterrânea sobre a diminuição das interrupções de energia e melhora na confiabilidade do sistema serão quantificados financeiramente ao longo deste tópico, somente para o agente distribuidora de energia elétrica através da: (i) perda de faturamento com a energia que deixa de vender; e (ii) pagamento de compensações aos consumidores de energia elétrica;

4.1.1. Perda de faturamento com a energia que deixa de vender

A quantificação financeira deste benefício se dará de forma que com a implementação da rede subterrânea ocorra uma diminuição do DEC do subsistema em que a rede foi implementada. Esta diminuição do DEC e, conseqüentemente, da carga interrompida gera um ganho financeiro à empresa que passa a faturar um valor maior com a venda de energia em função da diminuição do

tempo de interrupção.

A equação seguinte representa a redução da energia não distribuída ou interrompida, ou seja, a diminuição desta energia interrompida que vem a ocorrer com a implementação de uma rede subterrânea através da diminuição do DEC provoca uma economia ou ganho para a distribuidora de energia que pode ser mensurada de forma geral através de (1):

$$\Delta END = DC \cdot A \cdot \Delta DEC = DC \cdot A \cdot (DEC_{Aéreo} - DEC_{Subterrâneo}) \quad (1)$$

Ainda, pode-se estimar qual a fração do DEC pode ser reduzida com a implementação de uma rede subterrânea através de (2):

$$DEC_{Subterrâneo} = \rho \cdot DEC_{Aéreo} \quad (2)$$

O resultado de $(1 - \rho)$ representa que a empresa reduziu neste valor o DEC com a implementação da rede subterrânea.

Substituindo (2) em (1), resulta em (3):

$$\Delta END = DC \cdot A \cdot DEC_{Aéreo} \cdot (1 - \rho) \quad (3)$$

Sendo:

ΔEND : Redução da energia não distribuída.

DC: Densidade de carga.

A: Área interrompida.

DEC: Duração de interrupção equivalente por consumidor.

ρ : Percentual de DEC aéreo que corresponde ao DEC subterrâneo.

A expressão (3) sugere que a energia interrompida é proporcional à densidade de carga, área interrompida e redução do DEC. Assim, obviamente, a distribuidora passa a contar com maiores benefícios na implantação de redes subterrâneas, em regiões com maiores densidade de carga, maiores áreas interrompidas e maior redução no DEC.

Sabe-se que a redução na energia interrompida provoca grandes economias para a distribuidora de energia elétrica, que passa a poder faturar mais energia decorrente desta diminuição. Assim, podendo faturar mais energia, a distribuidora passa a reduzir seus custos referente a interrupções no fornecimento conforme:

$$\Delta C_{END} = \Delta END \cdot T \quad (4)$$

A expressão (4) sugere que quanto maior for a redução da energia interrompida através da implementação da infraestrutura subterrânea, maior a redução do custo com a energia interrompida. A tarifa de energia é outra variável que impacta diretamente na redução do custo com a energia interrompida.

Esta redução de custo com a energia interrompida, entra como um benefício econômico para distribuidora de energia que passa a faturar mais devido esta redução, ou seja, a empresa irá vender mais energia elétrica. Portanto, deve-se considerar a redução de custo com energia interrompida como sendo um benefício ou aumento de receita, num fluxo de caixa para avaliação de empreendimentos de redes subterrâneas.

4.1.2. Pagamento de compensações aos consumidores de energia elétrica:

Por outro lado, existem as compensações a serem pagas pela concessionária aos consumidores quando os indicadores de continuidade da concessionária violam os limites estabelecidos em norma PRODIST 8, referente a ANEEL (2021). Com a implementação das redes subterrâneas, os valores de FIC (frequência de interrupção por unidade consumidora), DIC (duração de interrupção por unidade consumidora), DMIC (duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora) e DICRI (duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora), tendem a reduzir e desta forma o valor a ser pago pela concessionária aos consumidores de energia elétrica em compensações tendem a diminuir. Esta diminuição nos valores a serem pagos em compensações representam uma economia para a distribuidora de energia elétrica, e esta economia deve ser considerada como um benefício ou aumento de receita para distribuidora na análise do fluxo de caixa do projeto de redes subterrâneas.

a) Metodologia da ANEEL para Cálculo das Compensações

Conforme PRODIST 8, referente a ANEEL (2021), as compensações individuais mensais a serem pagas aos consumidores de energia elétrica pela violação dos indicadores de continuidade mensais, podem ser representadas pelas expressões (5)-(8):

$$Comp_{DIC} = \left(\frac{DIC_v}{DIC_p} - 1 \right) \cdot DIC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \quad (5)$$

$$Comp_{FIC} = \left(\frac{FIC_v}{FIC_p} - 1 \right) \cdot FIC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \quad (6)$$

$$Comp_{DMIC} = \left(\frac{DMIC_v}{DMIC_p} - 1 \right) \cdot DMIC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \quad (7)$$

$$Comp_{DICRI} = \left(\frac{DICRI_v}{DICRI_p} - 1 \right) \cdot DICRI_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \quad (8)$$

O valor da compensação total mensal dispendido pela concessionária de energia elétrica pode então ser calculado através de (9):

$$Comp_{Total} = \sum_{i=1}^{n_1} Comp_{FIC_i} + \sum_{i=1}^{n_2} Comp_{DIC_i} + \sum_{i=1}^{n_3} Comp_{DMIC_i} + \sum_{i=1}^{n_4} Comp_{DICRI_i} \quad (9)$$

Sendo:

DICv = duração de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora;

DICp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de duração de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

DMICv = duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora;

DMICp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

FICv = frequência de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em número de interrupções;

FICp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de frequência de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em número de interrupções e centésimo do número de interrupções;

DICRIv = duração da interrupção individual ocorrida em Dia Crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

DICRIp = limite de continuidade estabelecido para o indicador de duração da interrupção individual ocorrida em Dia Crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

EUSDmédio = média aritmética dos encargos de uso do sistema de distribuição correspondentes aos meses do período de apuração do indicador; 730 = número médio de horas no mês;

Kei = coeficiente de majoração cujo valor deve ser fixado em:

- i. 15 (quinze), para unidade consumidora ou ponto de conexão atendidos em Baixa Tensão;
- ii. 20 (vinte), para unidade consumidora ou ponto de conexão atendidos em Média Tensão;
- iii. 27 (vinte e sete), para unidade consumidora ou ponto de conexão atendidos em Alta Tensão.

Observação: Sabe-se que os valores das compensações são pagos pela distribuidora de energia considerando as transgressões nos limites mensais, trimestrais e anuais dos indicadores de continuidade. Para este trabalho, está considerando-se apenas as transgressões mensais que representam a grande parcela dispendida do valor total das compensações.

- b) Estimativa proposta para os valores das compensações

Ora, para o desenvolvimento da proposta de estimativa dos valores pagos de compensações pela distribuidora de energia elétrica algumas simplificações e adequações serão executados para o cálculo das compensações com o intuito de obter os dados disponíveis, sem perder a essência básica da quantificação. Assim, algumas premissas serão utilizadas:

- i. Os valores de DIC e FIC serão substituídos pelos valores de DEC e FEC, que representam a média ponderada dos valores de DIC e FIC para uma determinada região, com um determinado número de unidades consumidoras.
- ii. As compensações referentes às violações dos indicadores DICRI e DMIC serão desconsideradas da análise por representar um percentual pequeno no valor da compensação total em relação a compensação total.
- iii. Os valores das compensações serão calculados somente para as transgressões mensais, pois representam a maior parcela de compensação em relação à total.

Assim, para este trabalho, o valor estimado das compensações mensais será calculado através de (10)-(13):

- Se $DEC_v(S) \leq DEC_p$ e $DEC_v(A) > DEC_p$:

$$\Delta Comp_{DEC} = n_D \cdot \left(\frac{DEC_v(A)}{DEC_p} - 1 \right) \cdot DEC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \quad (10)$$

- Se $DEC_v(S) > DEC_p$:

$$\begin{aligned} \Delta Comp_{DEC} &= n_D \cdot \left(\frac{DEC_v(A) - DEC_v(S)}{DEC_p} - 1 \right) \cdot DEC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \\ &= n_D \cdot \left(\frac{(1 - \rho) \cdot DEC_v(A)}{DEC_p} - 1 \right) \cdot DEC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \end{aligned} \quad (11)$$

- Se $FEC_v(S) \leq FEC_p$ e $FEC_v(A) > FEC_p$:

$$\Delta Comp_{FEC} = n_F \cdot \left(\frac{FEC_v(A)}{FEC_p} - 1 \right) \cdot FEC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \quad (12)$$

- Se $FEC_v(S) > FEC_p$:

$$\begin{aligned} \Delta Comp_{FEC} &= n_F \cdot \left(\frac{FEC_v(A) - FEC_v(S)}{FEC_p} - 1 \right) \cdot FEC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \\ &= n_F \cdot \left(\frac{(1 - \omega) \cdot FEC_v(A)}{FEC_p} - 1 \right) \cdot FEC_p \cdot \frac{EUSD_{m\u00e9dio}}{730} \cdot kei \end{aligned} \quad (13)$$

E a economia na compensação mensal, pode ser calculada através de (14):

$$\Delta Comp_{Total} = \Delta Comp_{DEC} + \Delta Comp_{FEC} \quad (14)$$

Sendo:

DECv(A) = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora, para a rede aérea;

DECv(S) = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em horas e centésimos de hora, para a rede subterrânea;

DECp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de duração de interrupção equivalente por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em horas e centésimos de hora;

FECv(A) = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em número de interrupções, para a rede aérea;

FECv(S) = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, conforme cada caso, verificada no período considerado, expressa em número de interrupções, para a rede subterrânea;

FECp = limite de continuidade estabelecido no período considerado para o indicador de frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expresso em número de interrupções e centésimo do número de interrupções;

ρ : representa o percentual do DEC aéreo que corresponde ao DEC subterrâneo;

ω : representa o percentual do FEC aéreo que corresponde ao FEC subterrâneo;

n_D = número de unidades consumidoras com violações de DEC;

n_F = número de unidades consumidoras com violações de FEC.

Portanto, o custo evitado ou a economia que a distribuidora de energia vai ter com a implementação de uma rede subterrânea ao invés de uma rede aérea, pode ser quantificado através de (15):

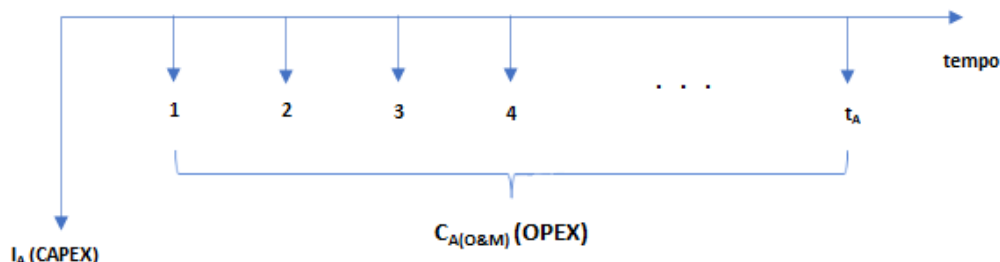
$$CEV = \Delta C_{END} + \Delta Comp_{Total} = \Delta END.T + \Delta Comp_{DEC} + \Delta Comp_{FEC} \quad (15)$$

4.2. Análise de viabilidade econômica de implementação de redes aéreas X redes subterrâneas

A implementação das redes aéreas exige um investimento inicial da empresa basicamente em material, mão de obra e administrativo (CAPEX). Conforme LMDM (2014), a estrutura do CAPEX para a rede aérea contempla basicamente: cabos, transformadores, postes, estruturas e acessórios. Os custos recorrentes da infraestrutura aérea contemplam os custos de operação e manutenção (OPEX) de tal infraestrutura, incluído os custos com podas de vegetação. Sabe-se que o

investimento em uma rede subterrânea é bem maior do que numa rede aérea, porém os custos de operação e manutenção são menores em uma rede subterrânea do que numa rede aérea. A Figura 13 representa o fluxo de caixa simplificado de um projeto de redes aéreas:

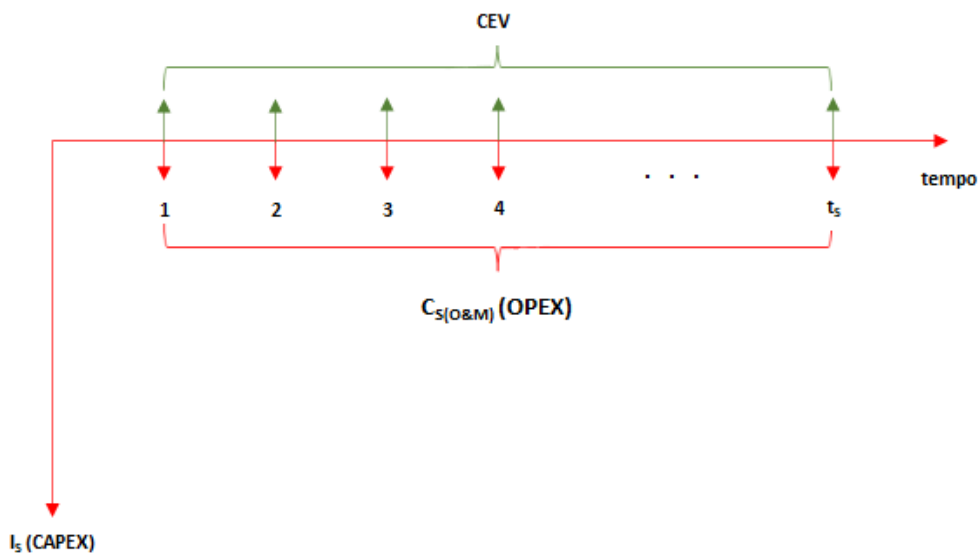
Figura 13 – Linha do tempo para análise de investimento referente a infraestrutura aérea



Fonte: Elaboração própria.

Os custos referentes a implementação de uma infraestrutura subterrânea são basicamente divididos em custo com material, mão de obra e administrativo. Estes custos representam o CAPEX da empresa quando esta executa o investimento em tal infraestrutura. Conforme (6), a estrutura do CAPEX para a rede subterrânea contempla basicamente: cabos, transformadores, chaves a gás, acessórios e a construção civil. A obra civil é o principal fator que onera a construção deste tipo de rede, podendo chegar ao valor de 70% do investimento. Já os custos recorrentes das redes subterrâneas compreendem os custos de operação e manutenção que estão contidos no OPEX da empresa. O custo de manutenção cai bastante pela ausência de podas na vegetação. A Figura 14 representa o fluxo de caixa simplificado do projeto de redes subterrâneas:

Figura 14 – Linha do tempo para análise de investimento referente a infraestrutura subterrânea



Fonte: elaboração própria.

Sendo:

I_A : Investimento na infraestrutura de distribuição aérea.

I_S : Investimento na infraestrutura de distribuição subterrânea.

$C_{A(O\&M)}$: Custos de operação e manutenção referente a infraestrutura aérea.

$C_{S(O\&M)}$: Custos de operação e manutenção referente a infraestrutura subterrânea.

t_A : Vida útil da infraestrutura aérea.

t_S : Vida útil da infraestrutura subterrânea.

CEV: Custo evitado ou benefícios econômicos mensuráveis referentes a uma rede subterrânea.

Considerando-se a vida útil diferente entre os projetos de infraestrutura aérea e subterrânea e utilizando-se da metodologia de avaliação de investimentos, a melhor maneira de tomar uma decisão econômica sobre qual projeto implantar seria através do indicador de valor anualizado equivalente (VAE). Assim, o valor anualizado equivalente para os dois projetos obedece às expressões (16)-(17):

$$VAE_A = \frac{VPL_A \cdot WACC}{1 - (1 + WACC)^{-t_A}} \quad (16)$$

$$VAE_S = \frac{VPL_S \cdot WACC}{1 - (1 + WACC)^{-t_S}} \quad (17)$$

Sendo o VPL referente a implantação de cada tipo de rede expresso através de (18)-(19):

$$VPL_A = -I_A - \sum_{i=1}^{t_A} \frac{C_{A(O\&M)_i}}{(1 + WACC)^{t_A}} \quad (18)$$

$$VPL_S = -I_S + \sum_{i=1}^{t_S} \frac{(CEV_i - C_{S(O\&M)_i})}{(1 + WACC)^{t_S}} \quad (19)$$

Onde:

VAE_A : Valor Anual Equivalente do projeto de infraestrutura aérea.

VAE_S : Valor Anual Equivalente do projeto de infraestrutura subterrânea.

VPL_A : Valor Presente Líquido do projeto de infraestrutura aérea.

VPL_S : Valor Presente Líquido do projeto de infraestrutura subterrânea.

WACC: *Weighted Average Cost of Capital* (custo médio ponderado de capital).

Assim, deve-se optar pelo valor anualizado equivalente maior, que provavelmente, seria o projeto de infraestrutura aéreo. Porém, deve-se considerar também os benefícios não quantificados das redes subterrâneas. Obviamente, a comparação que está sendo feita é referente a regiões que não possuem infraestrutura e que se deseja do zero construir uma infraestrutura nova. Para regiões que já possuem um determinado tipo de infraestrutura e deseja-se trocar por outra, ainda deve-se

considerar os custos referentes à remoção da infraestrutura antiga.

4.3. Estudo de caso e simulações

Com o objetivo de demonstrar como a viabilidade econômica do projeto de redes subterrâneas em relação às redes aéreas varia muito de acordo com a região que se deseja implementar a infraestrutura, o seguinte estudo de caso é proposto.

Para tanto, o estudo de caso proposto busca analisar dez regiões com diferentes indicadores como: números de consumidores, comprimento do enterramento, densidade de carga e indicadores de continuidade de energia como o DEC e FEC de cada região.

Ainda, para a determinação dos valores das compensações serão utilizados os valores dos indicadores de DEC e FEC apurados para cada região, assim como os valores de DEC e FEC limites.

Assim, a Tabela 5 representa as dez regiões estudadas e os indicadores de número de unidades consumidoras, área, comprimento do enterramento e densidade de carga:

Tabela 5 – Unidades consumidoras, área e densidade de carga de algumas regiões

Região	Número de Unidades Consumidoras	Área [Km²]	Comprimento de enterramento [km]	Densidade de Carga [MVA/km²]	Densidade Carga [MVA/km]
R1	5000	10	160	30	1,875
R2	30000	15	240	100	6,25
R3	2000	2	32	120	7,5
R4	3444	15	240	2	0,125
R5	2242	22	352	19	1,1875
R6	2959	19	304	100	6,25
R7	4323	14	224	39	2,4375
R8	3908	30	480	82	5,125
R9	1861	27	432	21	1,3125
R10	511	9	144	82	5,125

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 6, representa os valores de DEC e FEC apurados e os limites para as dez regiões analisadas e para as duas infraestruturas comparadas:

Tabela 6 – DEC e FEC de algumas regiões

Região	DEC Aéreo [h/mês]	DEC Subterrâneo [h/mês]	DEC Limite [h/mês]	FEC Aéreo [l./mês]	FEC Subterrâneo [l./mês]	FEC Limite [l./mês]
R1	7	2,1	5	3	0,9	5
R2	8	2,4	4	5	1,5	3
R3	9	2,7	5	6	1,8	4
R4	8	2,4	3	2	0,6	3
R5	1	0,3	6	8	2,4	4
R6	2	0,6	6	1	0,3	1
R7	10	3	3	8	2,4	4
R8	9	2,7	6	8	2,4	3
R9	8	2,4	6	5	1,5	2
R10	4	1,2	3	8	2,4	1

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 7 representa os dados financeiros para a análise econômica de implantação das redes aéreas e subterrâneas nas dez regiões consideradas:

Tabela 7 – Dados Financeiros da Distribuidora para a análise

Variável	Valor
T [R\$/MWh]	900
EUSD _{Médio} [R\$]	70
kei	15
WACC	0,8% [a.m]

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 8 representa os valores médios de CAPEX, OPEX e vida útil para as infraestruturas aéreas e subterrâneas:

Tabela 8 – Valores de CAPEX, OPEX e Vida Útil

	Aéreo	Subterrâneo
CAPEX [MR\$/km]	1	5
OPEX [R\$/km]	1650	550
t [meses] – Vida Útil	360	480

Fonte: Elaboração própria.

Os valores utilizados nas Tabelas 5-8 são aproximados e o presente estudo preocupa-se muito

mais em apresentar a metodologia econômica. Porém sabe-se conforme Puertas e Nogueira (2017), que nos centros urbanos de grandes metrópoles a densidade de carga pode atingir valores superiores a 200 [MVA/Km²]. Da mesma forma conforme Sinapsis (2013), a redução do DEC pode chegar a 95% e o WACC em torno de 0,6% [a.m].

4.4. Análise de Resultados

Conforme metodologia de análise econômico-financeira proposta ao longo deste anexo e utilizando-se os dados das Tabelas 5-8, os valores de economia de capital pela distribuidora de energia mensurados através da implementação de uma rede subterrânea em comparação com a aérea, são representados pela Tabela 9, através da redução da energia não distribuída, e consequentemente da redução do custo com energia não distribuída, além da redução com as compensações pagas aos consumidores de energia elétrica. A redução nas compensações ocorre devido a uma redução nos indicadores de DEC e FEC decorrentes da implementação de uma rede com maior confiabilidade, como é o caso da rede subterrânea. Através desta economia representado pela redução no custo da energia distribuída e redução nas compensações chega-se aos valores dos custos evitados (CEV) com a implementação do enterramento para as dez regiões consideradas.

Tabela 9 – Indicadores mensais de economia da distribuidora com a implementação de redes subterrâneas

Região	Δ END [MVA]	Δ CEND [MRS]	Δ CompDEC [MRS]	Δ CompFEC [MRS]	Δ CompTotal [MRS]	CEV [MRS]
R1	1470	1,323	0,014383562	0	0,014384	1,337384
R2	8400	7,56	0,17260274	0,086301	0,258904	7,818904
R3	1512	1,3608	0,011506849	0,005753	0,01726	1,37806
R4	168	0,1512	0,024768493	0	0,024768	0,175968
R5	292,6	0,26334	0	0,012899	0,012899	0,276239
R6	2660	2,394	0	0	0	2,394
R7	3822	3,4398	0,043526096	0,024872	0,068398	3,508198
R8	15498	13,9482	0,016863288	0,028105	0,044969	13,99317
R9	3175,2	2,85768	0,005353562	0,00803	0,013384	2,871064
R10	2066,4	1,85976	0,000735	0,003381	0,004116	1,863876

Fonte: Elaboração própria.

Assim, considerando-se os valores de custo evitado (CEV) contidos na Tabela 9, os valores de OPEX e CAPEX calculados na Tabela 10, chega-se aos fluxos de caixa (FC) dos projetos de infraestrutura aérea e subterrânea. Através destes fluxos de caixa e utilizando-se da vida útil e WACC contidos nas Tabelas 7 e 8, chega-se aos valores de VPL e VAE para as duas infraestruturas consideradas nas dez regiões analisadas conforme a Tabela 10:

Tabela 10 – comparação da viabilidade econômica entre redes aéreas e subterrâneas

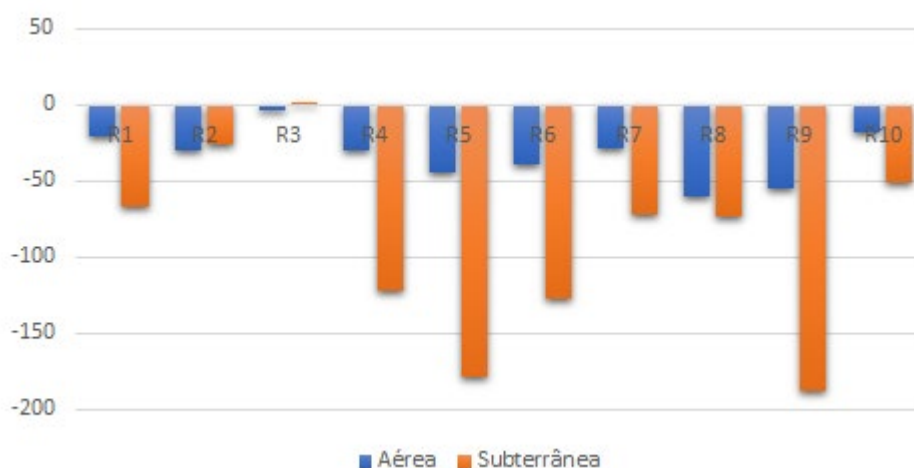
Região	CAPEX [MRS]		OPEX [MRS]		FC [MRS]		VPL [MRS]		VAE [MRS]	
	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo	Aéreo	Subterrâneo
R1	-160	-800	-0,264	-0,088	-0,264	1,2494	-191,13	-647,24	-20,27	-66,19
R2	-240	-1200	-0,396	-0,132	-0,396	7,6869	-286,69	-260,11	-30,41	-26,60
R3	-32	-160	-0,0528	-0,0176	-0,0528	1,3605	-38,23	6,35	-4,05	0,65
R4	-240	-1200	-0,396	-0,132	-0,396	0,0440	-286,69	-1194,62	-30,41	-122,16
R5	-352	-1760	-0,5808	-0,1936	-0,5808	0,0826	-420,48	-1749,90	-44,60	-178,94
R6	-304	-1520	-0,5016	-0,1672	-0,5016	2,2268	-363,14	-1247,72	-38,52	-127,59
R7	-224	-1120	-0,3969	-0,1232	-0,3696	3,3850	-267,58	-706,11	-28,38	-72,21
R8	-480	-2400	-0,792	-0,264	-0,792	13,7292	-573,38	-721,31	-60,82	-73,76
R9	-432	-2160	-0,7128	-0,2376	-0,7128	2,6335	-516,04	-1838,00	-54,74	-187,95
R10	-144	-720	-0,2376	-0,0792	-0,2376	1,7847	-172,01	-501,78	-18,24	-51,31

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a Tabela 10, sob a ótica do valor anual equivalente (VAE), que é o método mais apropriado para comparação de projetos com vida úteis diferentes, percebe-se a variabilidade da viabilidade econômica das redes subterrâneas em relação às aéreas para as diferentes regiões analisadas. Ainda, verifica-se que as redes subterrâneas apresentaram viabilidade econômica superior somente em duas regiões (R2 e R3) caracterizadas por altas densidades de carga e alto valor de DEC.

A Figura 15 ilustra a comparação da implementação das redes aéreas e das redes subterrâneas, nas dez regiões analisadas, através do valor anualizado equivalente (VAE). Verifica-se que para as regiões R4, R5, R6 e R9 a implementação das redes subterrâneas estão economicamente longe de ocorrer. Este fato pode ser explicado pelas baixas densidades de carga nas regiões R4, R5 e R9, e pelo baixo DEC na região R6.

Figura 15 – Comparação entre projetos de redes aéreas e subterrâneas através do VAE nas regiões analisadas (em milhões de reais)



Fonte: Elaboração própria.

Assim, os resultados das Tabelas 9 e 10, e da Figura 15 podem ser sintetizados conforme:

- A viabilidade econômica de um projeto de rede aérea em relação a subterrânea varia em relação a região de implantação do projeto. Ou seja, os diferentes valores de carga e indicadores de continuidade de energia contidos nas regiões analisadas mostra a diferença da viabilidade econômica da implantação do enterramento nestas regiões.
- As regiões 2 e 3 que mostraram ser regiões economicamente viáveis para a implementação do enterramento, são regiões com uma altíssima densidade de carga e valores alto de DEC.
- A região 6, que apresenta uma densidade de carga igual à região 2, apresentou uma grande inviabilidade econômica para implementação da rede subterrânea em função do baixo DEC da região.
- A região 8, embora apresente uma inviabilidade econômica por parte da infraestrutura subterrânea, a diferença desta inviabilidade é pequena em relação a aérea e talvez valeria a pena a implantação da rede subterrânea nesta região em razão das diversas externalidades não quantificáveis neste trabalho dos benefícios da rede subterrânea em relação a aérea.

- Da mesma forma, sabe-se que a tendência futura é de aumento de carga no geral e que o aumento da carga favorece ainda mais a implementação do enterramento. Um exemplo é o da penetração de veículos elétricos na rede, que representam uma grande carga ao sistema. Assim, as regiões com estações carregadoras de veículos elétricos experimentarão um grande incremento na sua densidade de carga, que pode favorecer a infraestrutura subterrânea.

Através deste estudo de casos apresentado neste trabalho, verificou-se que a viabilidade econômica de um projeto de rede subterrânea em relação à rede aérea varia muito dependendo da região que se pretende implantar a infraestrutura. Constatou-se que regiões com alta densidade de carga e alto DEC, são regiões mais atrativas economicamente para se implantar redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia de utilização do enterramento como alternativa para a solução ou mitigação dos problemas do compartilhamento do poste elétrico pode esbarrar em questões regulatórias e principalmente em questões econômicas. O alto valor do CAPEX em relação às redes aéreas inibe o investimento em larga escala para este tipo de infraestrutura. Embora este alto valor de CAPEX desincentive muitas vezes a implementação do enterramento, muitos países no mundo estão muito mais avançados que o Brasil na implantação desta infraestrutura, ou seja, possuem uma penetração muito maior neste tipo de rede.

Os benefícios das redes subterrâneas em relação às aéreas são inúmeros, assim como explanado ao longo deste trabalho, e ainda, estes benefícios atingem diversos agentes que teriam ganhos com este tipo de infraestrutura como o setor de energia, Telecom, municipalidades, consumidores de energia, entre outros.

A partir do benchmarking internacional, identificamos algumas práticas adotadas pelos países analisados ao longo do processo de enterramento das redes de *utilities* que geraram resultados satisfatórios e, por isso, devem ser observadas em detalhe.

Em primeiro lugar, a legislação e os regulamentos podem estimular o compartilhamento de infraestrutura, portanto, são de suma importância para o enterramento das redes, principalmente para acelerar este processo. Entretanto, caso estabeleçam metas, essas devem ser estipuladas de forma realista a fim de evitar desincentivo, uma vez que metas irrealistas podem gerar custos proibitivos, ruptura de metas já estabelecidas dos setores, falta de recursos para outros aspectos dos setores, entre outros.

Outro aspecto que ajuda a acelerar o processo de enterramento é a diversificação das fontes de recursos utilizados para este investimento. Por exemplo, a depender da área onde a obra será realizada, é possível utilizar recursos de proteção de patrimônio histórico ou de royalties de outras atividades econômicas. Além disso, dividir os custos do enterramento considerando os benefícios que este investimento trará para cada setor tende a estimular o investimento, especialmente daqueles que não terão tanto retorno, isto é, encontrar uma maneira de ponderar a relação risco e retorno do investimento de modo a atrair mais fontes de recursos.

Ainda que haja legislação e regulamentos bem definidos e uma diversificação de recursos, a magnitude do investimento necessário para o enterramento é elevada e muitas vezes proibitiva. Tendo em vista este dificultador financeiro, deve-se considerar critérios para priorizar as áreas de enterramento. A partir de quesitos técnicos, financeiros e comunitários, este investimento torna-se mais sustentável. Em busca de reduzir custos, inovações técnicas devem ser estudadas.

Considerando que as fontes de recursos são diversificadas e que a busca por redução de custos estará sempre presente neste processo de enterramento, é importante que haja uma gestão unificada e uma governança do uso do subsolo urbano. A gestão unificada seria responsável pela infraestrutura compartilhada de modo a gerir pela qualidade do uso e manutenção da infraestrutura, bem como para otimizar os custos de manutenção e de novos investimentos. Ademais, a governança do subsolo seria um braço dessa gestão unificada no sentido de mapear galerias e dutos existentes, construir e acompanhar um sistema de cadastro dos usuários da infraestrutura, entre outros aspectos gerenciais.

Além disso, as iniciativas de requalificação urbana vêm ganhando destaque ao incorporar outros agentes da sociedade nessa decisão, envolvendo diversos agentes interessados da sociedade, tais como, comércios e condomínios.

Considerando os prós e contras dessa alternativa, percebemos que o enterramento não deveria ser uma solução única para os conflitos oriundos do compartilhamento de postes. Dessa forma, essa alternativa deveria ser considerada em áreas com grande densidade populacional, onde, de fato, o compartilhamento de postes é usado inadequadamente pelos usuários e há alta demanda por conexões.

Além disso, essa decisão deveria ser ponderada pela capacidade de pagamento dos moradores e empresários da região, tendo em vista que este investimento pode ser repassado aos usuários dos serviços finais, gerando certa perda de bem-estar.

Vale ainda destacar que uma análise urbanística, econômica e técnica deve ser feita em conjunto com as partes para que não haja má alocação dos recursos, seja público ou privado.

Por fim, uma regulação completa e bem definida deve ser estimulada para orientar os agentes envolvidos nesta transição, se adotada, a fim de evitar novos conflitos e conseqüente perda de eficiência.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**. Revisão 12, 2021.

ARANGO, L. G.; DECCACHE, E.; BONATTO, B. D.; ARANGO, H.; VASCONCELOS, G. F. **Estudo Econômico da Melhoria da Qualidade de Redes Elétricas**. In: CBQEE - XII Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica, Curitiba, 2017.

BAGGINI, A. B. I., **Handbook of Power Quality**, John Wiley & Sons Ltd., 2008.

BOLLEN, M. H. J. **Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions**, New York, IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.

BRASIL, H. G. **Avaliação Moderna de Investimentos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Utilização e aplicação de redes de distribuição subterrâneas – Guia para os Municípios e empreendedores**. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes_de_distribuicao_subterraneas/\\$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes_de_distribuicao_subterraneas/$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf)>. 2010. Acesso em: 30/03/2021.

CPqD. **Benchmarking internacional: redes aéreas e subterrâneas**. s.d.

Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, Beaty, S., H. W. **Electrical Power Systems Quality**, 2nd. Ed., McGraw-Hill, 2003.

LMDM. **Estudo: a transformação das redes de distribuição de energia aéreas em subterrâneas**. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.lmdm.com.br/wp-content/uploads/2014/10/Estudo-Redes-A%C3%A9reas-x-Subterr%C3%A2neas.pdf>>. Acesso em 30 mar. 2021.

PARK, C. S.; SHARP-BETTE, G.P.; **Advanced Engineering Economics**. John Wiley & Sons, Inc. 1990.

PUERTAS, H.; NOGUEIRA, C. A. M. **As dimensões da oferta - Sistemas de distribuição de energia elétrica**. Revista Do Serviço Público, 43, 49-53, 2017. <https://doi.org/10.21874/rsp.v43i0.1951>.

RIGONI, M. B. **Estudo comparativo de configurações de redes de distribuição de energia elétrica**. Projeto de Diplomação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

SINAPSIS. **Aspectos técnicos: padrões construtivos, qualidade, planejamento e critérios para tomada de decisão**. In: Seminário Sistemas de Distribuição: aspectos regulatórios. 2013. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/arquivos/zip/Palestra_2_SINAPSIS.zip>. Acesso em 24 jul. 2014.

SINDITELEBRASIL. **Estudo do enterramento no Rio de Janeiro: Relatório 01**. Realizada em 7 nov. 2019.