



Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE

Comparação das topologias AIS e GIS por meio das perdas de transmissão e os seus impactos ambientais

MATHEUS SOUZA TEIXEIRA DA COSTA(1); ARTHUR OLIVEIRA QUINTÃO TORRES(1); LEANDRO AUGUSTO SILVA DE OLIVEIRA(1); WEBERTON LUIZ GONSALVES ELLER(1); SÉRGIO DOS ANJOS ROSA(2); RODRIGO LEONARDO VALADÃO(2); VISION(1); Cemig D(2);

RESUMO

O objetivo precípuo deste trabalho é discorrer e analisar os impactos da instalação de uma subestação isoladas a gás (GIS), a partir da simulação de uma nova topologia da rede de distribuição na região central da cidade de Belo Horizonte. Com base nos resultados apresentados, encontrados na comparação da topologia atual versus a nova solução com subestação isolada a gás 345kV, busca-se, assim, levantar a discussão e compreender o impacto da aplicação dessa tecnologia, sua capacidade de modificar o sistema elétrico e as inovações e vantagens que ela traz a rede elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Subestação Isolada a Gás, GIS, Energia Elétrica, Inovação, Sustentabilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica leva ao crescimento da demanda de criação de novas subestações elétricas e a necessidade de modernizar e ampliar as SEs já existentes. Contudo, a falta de espaço próximo aos centros urbanos e a preocupação com os impactos ao meio ambiente são fatores que dificultam a criação de novas SE.

Em detrimento dessas variáveis e problemática, as concessionárias de energia são obrigadas a inovarem, buscando novas formas de atender a demanda energética do país de forma mais eficiente. Atualmente, durante a fase de planejamento de expansão do parque elétrico, as seguintes questões são corriqueiras e presentes do dia a dia dos engenheiros: qual a solução mais vantajosa? Como conciliar avanço tecnológico e preservar o meio ambiente ao mesmo tempo?

Logo, em consequência desse novo cenário, o qual requer o desenvolvimento e o uso de tecnologias sustentáveis que agridem menos o meio ambiente e que sejam mais confiáveis e seguras, as subestações isoladas a gás SF6 vem se provando como uma resposta aos desafios atuais. Assumindo, portanto, um papel fundamental na modernização e na melhoria da distribuição de energia elétrica em alta tensão.

Dessa forma, estudar a referida tecnologia em um caso real, no contexto da rede energética do Brasil, comparando diferente cenários, visando analisar a sua viabilidade, é de grande relevância para o futuro da tecnologia energética do país.

2.0 - SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS

2.1 Introdução as subestações isoladas a gás (GIS)

A subestação isolada a gás, GIS, é composta por um conjunto de manobra isolada a gás SF6 com design modular que executam diferentes tipos de funções. O referido conjunto é classificado como um dispositivo de comutação encapsulado em invólucro metálico que combina componentes como disjuntores, chaves seccionadoras, chaves de aterramento rápido, transformadores de corrente, transformadores de potencial, para-raios, barramentos, buchas para barramentos aéreos ou terminais para isoladores. O invólucro é preenchido com gás SF6 como meio isolante o que possibilita a pequena distância de isolamento elétrica entre as partes vivas e entre os equipamentos. [1][2][3]

O design modular e compacto da subestação isolada, GIS, proporciona as seguintes vantagens: alta flexibilidade no layout da subestação, otimização e redução significativa do espaço (quando comparado às subestações convencionais isoladas a ar), facilidade de expansão futura; aumento da confiabilidade dos equipamentos e diminuição da manutenção dos equipamentos. [3]

A GIS possui alta adaptabilidade ao ambiente e, portanto, esta tecnologia pode ser utilizada tanto em regiões de más condições ambientais, tais como áreas com altos índices de poluição, umidade elevada, incidência de neblina e granizo, regiões marítimas, dentre outras, bem como em regiões de alta altitude e incidência de terremotos, além de regiões próximas a centros urbanos. [1][2][3]

2.2 Aplicação de GIS em centros urbanos

A GIS, na atualidade, é uma tecnologia cada vez mais conhecida e utilizada, assumindo um papel fundamental na modernização e na melhoria da distribuição de energia elétrica em alta tensão. Este panorama é decorrente das grandes vantagens econômicas obtidas com o emprego das GIS, tais como: o ganho de confiabilidade e qualidade na energia gerada e transmitida, fatores que impactam no custo do sistema a médio e longo prazo.[1]

Com o intuito de validar, contextualizar e comparar, na prática, as vantagens e desvantagens da tecnologia isolada a gás perante a isolação a ar, o pesquisador Hermann Koch comparou a aplicação de duas topologias distintas: AIS e GIS. O sistema de energia da simulação visa suprir a demanda de uma cidade na Alemanha com 130 mil habitantes com pico de carga de 120 MW e consumo igual 400 GWh no horizonte de 30 anos. A FIGURA 1 apresenta topologia da rede elétrica para as duas soluções.[1] [4]

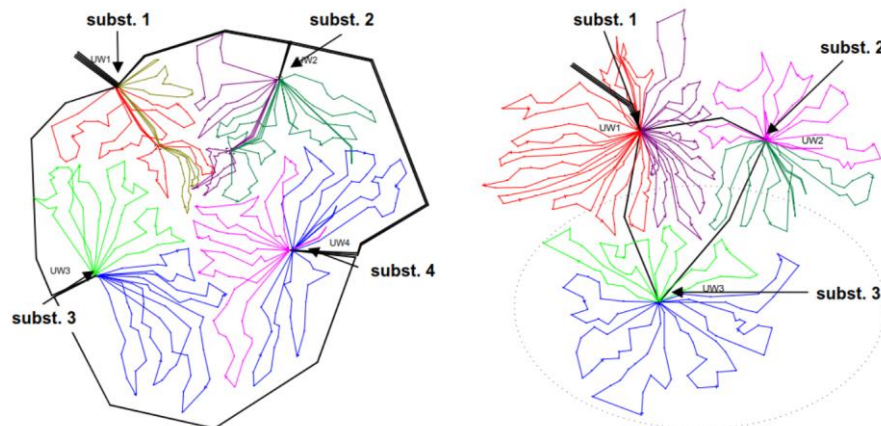


FIGURA 1: Topologia de rede anel de AIS a esquerda e rede anel de GIS a direita (1)

O referido estudo, em relação a quantidade necessária para abastecer a cidade analisada, conclui que a topologia GIS teria uma redução de 27% nas perdas de transmissão em relação a topologia AIS. Além disso, a utilização das GIS gerou uma redução de 60-70% do espaço consumido pelo sistema elétrico, além de necessitar de apenas 3 SEs ao invés de 4. No quesito potencial de aquecimento global (GWP), a topologia GIS teve uma redução de 21% de GWP, para avaliação desse quesito foi levado em consideração tanto a questão de vazamento de SF6 quanto a matriz energética alemã. Além da redução de GWP, levando em consideração o processo de manufatura e operação, a utilização de GIS proporcionou uma redução de no potencial de chuva ácida e nitrificação do solo. [1][14]

Assim, pode-se concluir que a utilização de GIS ao invés de AIS gera não só benefícios ao sistema elétrico, como redução de perdas, aumento da confiabilidade e diminuição do tempo de indisponibilidade de energia, mas também traz benefícios ambientais como redução no GWP, incidência de chuva ácida e nitrificação do solo. [1]

3.0 - SISTEMA ELÉTRICO DE BELO-HORIZONTE

Tendo em vista o estudo realizado pelo pesquisador Hermann Koch em [1] e [14] e apontado no capítulo anterior, é possível aplicar alguns dos conceitos apresentados a outros centros urbanos, tal como na cidade de Belo Horizonte. Dessa forma, esse capítulo visa apresentar a topologia e as consequências resultante da inserção de uma GIS de 345kV na região central da cidade.

3.1 Topologia Atual

Tradicionalmente, o suprimento no nível de alta tensão (AT) aos centros urbanos utiliza a topologia AIS, conforme apresentada na Figura 1. As fontes de suprimento de Rede Básica estão localizadas na periferia da mancha urbana, que é atravessada por linhas de distribuição vindas destas subestações. O atendimento à capital mineira também possui esta topologia, como pode-se observar na FIGURA 02.

A região do hipercentro de Belo Horizonte é aquela que concentra grande parte dos setores de comércio e de serviços, sendo assim a região que mais demanda energia elétrica. Seu suprimento é visto em detalhes na FIGURA 03. Por meio dessa imagem, é possível observar que o hipercentro de Belo Horizonte é densamente urbanizado já sendo suprido através de linhas subterrâneas de 138 kV. Além disso, a tecnologia GIS também é utilizada em três subestações de distribuição em virtude das restrições para a obtenção de terreno.

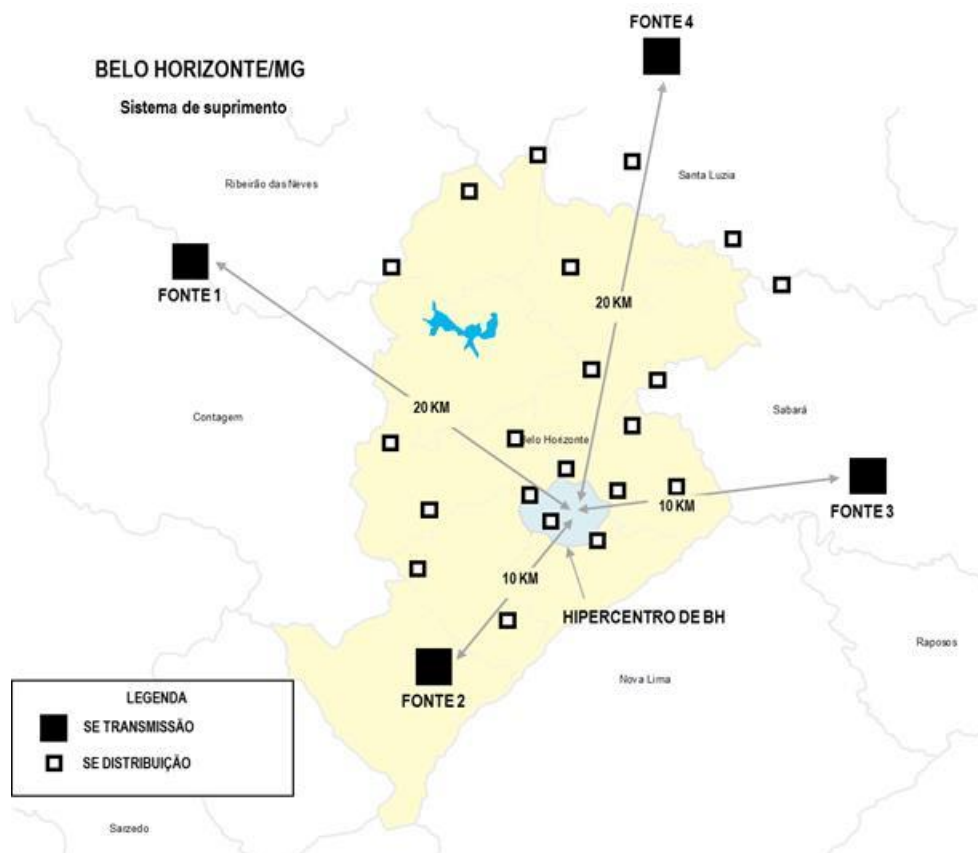


FIGURA 2: Suprimento ao município de Belo Horizonte/MG.

De cada uma das fontes de transmissão derivam duas linhas aéreas de 138 kV de modo a prover contingência para o sistema. Analisando somente a carga delimitada pelo círculo indicado, verificamos uma carga máxima de aproximadamente 445 MW.

Em virtude do custo elevado da tecnologia GIS e das soluções envolvendo o lançamento de cabos subterrâneos, normalmente estas soluções são preteridas em relação às alternativas de expansão convencionais. De fato, estas soluções continuam não sendo amplamente utilizadas, mas a tendência é que, com a evolução tecnológica, elas venham a ser economicamente competitivas, em virtude da redução de perdas que proporcionam e da complexidade de implantação do outro tipo de solução.

Em um dado momento, no sistema de suprimento ao hipercentro de Belo Horizonte, será necessário elevar-se a capacidade das linhas de suprimento que derivam diretamente das fontes de Rede Básica em função do crescimento da carga. O hipercentro de Belo Horizonte é densamente urbanizado já sendo suprido através de

linhas subterrâneas de 138 kV. Além disso, a tecnologia GIS também é utilizada em três subestações de distribuição em virtude das restrições para a obtenção de terreno. Essa elevação é feita, sobre tudo, por meio da re-esticamento e recondução das LTs, sendo que a primeira alternativa é economicamente viável devido ao seu baixo custo.

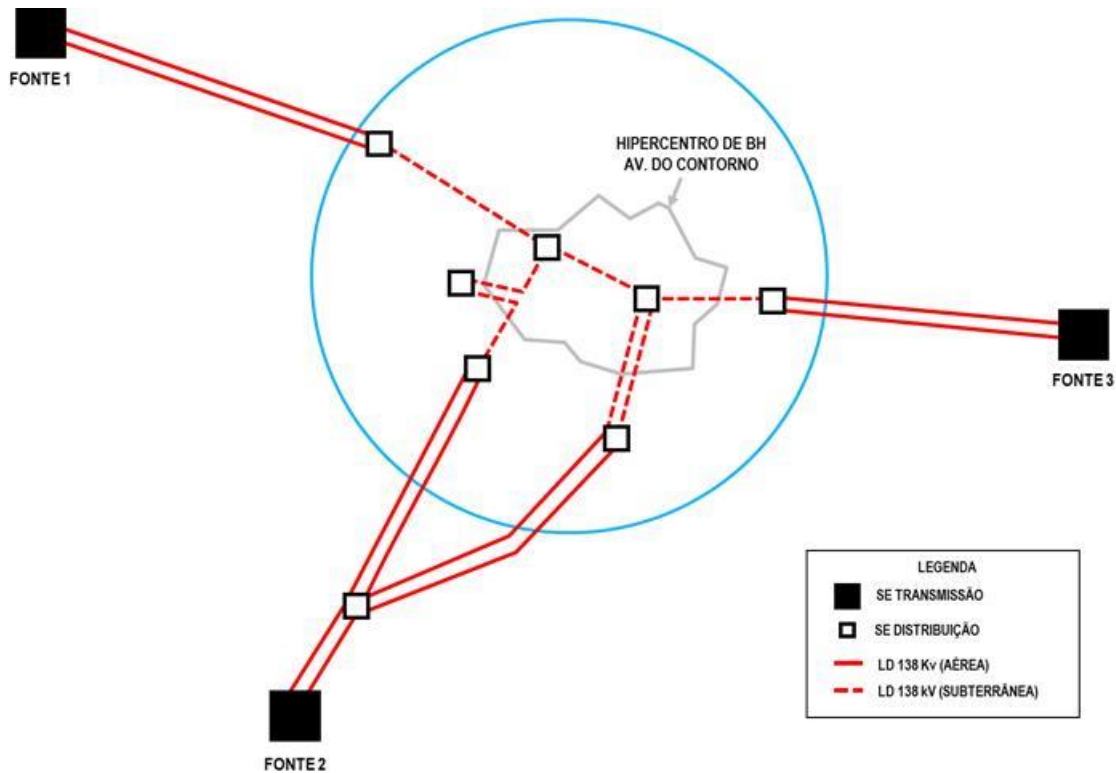


FIGURA 3: Suprimimento ao hipercentro de Belo Horizonte/MG.

De fato, esta alternativa de planejamento já foi implantada e estas linhas tiveram sua capacidade elevada de 125 MVA para 150 MVA através do re-esticamento dos cabos. Num segundo momento prevê-se o re-condutoramento das linhas utilizando cabos especiais que permitem alcançar até 220 MVA sem a necessidade de reforço de torres. Esta solução é mais cara e em alguns momentos de difícil implementação em virtude da dificuldade de desligamentos e transferências de carga, mas que ainda assim tem sido viável.

Fazemos agora uma reflexão para o terceiro momento onde estas soluções estiverem esgotadas. O próximo passo é o lançamento de cabos subterrâneos para reforços nas saídas das fontes de Rede Básica ou para a criação de uma nova linha até o centro de carga, que podem ser muito caras.

Desse modo, tendo em vista o estudo realizado por [1] e a análise do sistema elétrico do hipercentro de Belo-horizonte realizado anteriormente, é proposto a topologia a seguir.

3.2 Topologia Proposta

Do mesmo modo que o estudo realizado pelo pesquisador Hermann Koch [1], a utilização de GIS e linhas de transmissão subterrâneas são as premissas quem possibilitam a inserção de uma SE 345kV na região central de BH com o intuito de suprir a energia demandada por esta parte da cidade. Diminuindo assim, as perdas internas da subestação e na transmissão de energia, aumentado a confiabilidade, disponibilidade e a capacidade de transmissão do sistema. A FIGURA 2 apresenta o sistema proposto por este trabalho.

A nova SE 345/138kV alimentaria 8 subestações de 138-13,8 kV contidas no raio de aproximadamente 4km e se conectaria por meio de uma linha de transmissão subterrânea de aproximadamente 7 km a uma SE de seccionamento de 345kV que por sua vez estaria conectada ao SIN. Além de prover um caminho com menores perdas de energia elétrica, essa nova SE possibilita uma maior confiabilidade e a capacidade de transmissão ao sistema elétrico da região central de BH, já que as SEs dessa área teriam a possibilidade de ser alimentadas pelas linhas existentes ou pela nova SE, criando assim um caminho alternativo para o fluxo de potência.

Além disso, vale ressaltar que a nova topologia tratada propõe uma GIS a ser implementada na região urbana que resulta em uma SE compactada com boa estética, baixo ruído, menor impacto ambiental e alto nível de

confiabilidade, assim como a GIS já implementada na região de nova lima – SE Nova Lima 7. Além do que, a utilização do sistema de cabeamento subterrâneo proporciona a população que vive ao entorno da linha uma solução com menores impactos ambientais, sociais e estéticos, estando ainda menos sujeita a intemperes ambientais e vandalismo. Assim, além de solucionar a questão levantada no item anterior, essa solução traria uma série de vantagens técnicas e ambientais.

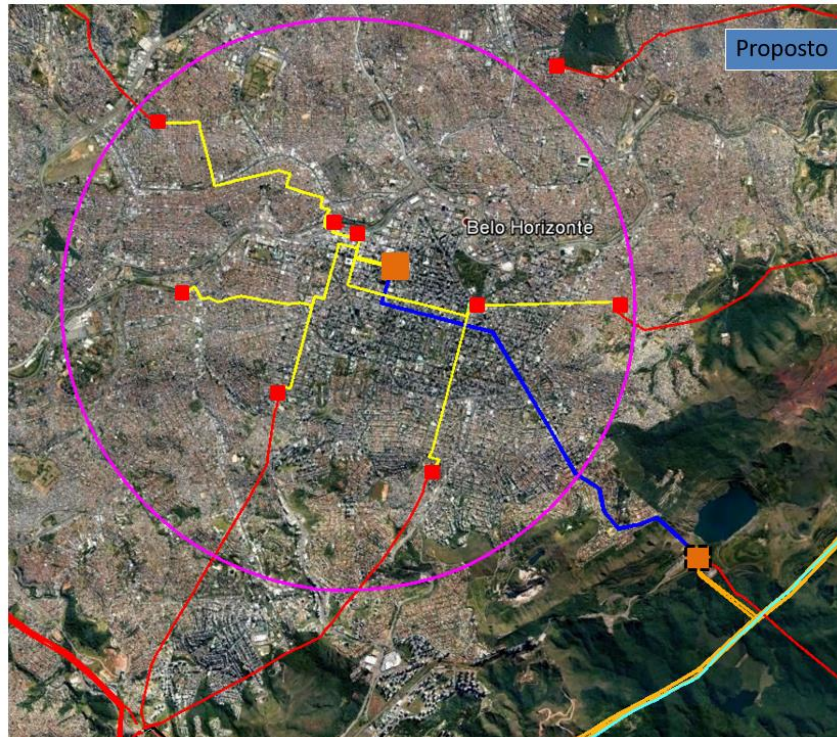


FIGURA 2: Alternativa para o sistema elétrico da região central de Belo-Horizonte

3.3 DIMINUIÇÃO DAS PERDAS DO SISTEMA

A partir da inserção da SE 345/138 na região central de BH, foi possível calcular as perdas que o sistema teria para os horários de carga leve, que ocorre durante as madrugadas 00-07h, carga média, que ocorre durante os finais de semanas 17-22h, e de 7-17h dos dias e de 20-00h dos dias de semana, e carga pesada, de 17-20h dos dias de semana. A TABELA 1 e a TABELA 2 apresentam os dados obtidos a partir da simulação realizada pela CEMIG para a obtenção das reduções de perdas para a topologia proposta. Nota-se que para as cargas médias e pesadas se obteve uma redução nas perdas do sistema e apenas para as cargas leves um aumento das perdas. Apesar desse aumento na carga leve, o sistema apresentou uma economia global de energia, principalmente no período em que o sistema é mais demandado. Quanto a diminuição de perdas, é necessário avaliar também pelo nível de tensão e tipos de carga, conforme indicado na TABELA 2.

TABELA 1: Resultado da Simulação para a Obtenção da Redução de Perdas

Tipo de carga	Diminuição de perdas (MW)	h/dia	Dias/ semana	Total de energia (MWh)/semana
Carga Leve	-0,70	07:00	5	-24,50
Carga Média (dia de semana)	1,90	14:00	5	133,00
Carga Média (final de semana)	1,90	24:00	2	91,20
Carga Pesada	2,00	03:00	5	30,00
TOTAL (MWh/semana)				229,70

	Carga Leve		Carga Média (dia de semana)		Carga Pesada	
	Rede 138kV	Rede 345kV	Rede 138kV	Rede 345kV	Rede 38kV	Rede 345kV
Caso base	6,8	105,5	24,4	210,4	24,1	212,5
EAT Nova	6,7	106,3	21,1	211,7	21,4	213,3
Saldo Parcial (MW)	0,7		-2		-1,9	
SALDO TOTAL (MW)						-1,1

4.0 - ANÁLISE DE RESULTADO

Para realizar a comparação das perdas antes da alteração do sistema e depois da inserção da GIS de 345kV, é preciso analisar todo o sistema elétrico de BH e região metropolitana e não somente a região central da cidade. Dessa forma, obtemos que a alteração em apenas uma pequena parte do sistema gera uma redução de perdas global de aproximadamente 0,85% e para apenas o nível de tensão de 138kV a redução média chega a aproximadamente 12%. Essa redução significativa no 138kV se deve principalmente ao fato de que com a utilização da nova SE as linhas de 138kV reduzirão significativamente seu comprimento, já que a SE de 345kV que as alimenta está muito mais próxima.

Outra análise que pode ser feita é a respeito da simulação é o volume de energia economizada. A economia mensal é de aproximadamente 984,43MWh. Esse valor equivale ao consumo médio mensal de 6270 residências brasileiras. Além disso, ao relacionarmos a redução das perdas do sistema elétrico com a emissão de CO₂ na atmosfera devido as fontes de geração de energia elétrica, obtemos que a econômica de energia causa uma redução de 8.840,4 toneladas de CO₂ ao ano.

5.0 - CONCLUSÃO

Ante o exposto neste trabalho, diante das características apresentadas das subestações isoladas a gás e do comparativo com as subestações convencionais isoladas a ar, verifica-se que a GIS vem se tornando cada vez mais uma solução viável em casos em que o espaço, custos, confiabilidade, estética, preservação do meio ambiente e segurança são considerações importantes durante o projeto da subestação

Apesar dos benefícios que essa solução traz para o sistema elétrico, ela possui uma questão crítica que é custo de implementação. As GIS de 345kV apesar de seu desempenho superior em relação as AIS, possuem um custo de implementação superior. Além disso, as linhas de transmissão subterrâneas de alta tensão são mais caras que as LT aéreas. Dessa forma, a solução AIS se torna economicamente mais viável, principalmente a curto prazo.

No entanto, é de suma importância notar que a demanda energética da cidade Belo-Horizonte tende a crescer, seguindo uma tendência nacional e mundial, e que as linhas de transmissão e as SEs que alimentam as regiões centrais da cidade estão chegando aos seus limites de transmissão. Dessa forma, obras de re-capacitação e re-condutoramento serão necessárias, as quais por sua vez, são mais onerosas na topologia atual do que na topologia proposta com tecnologia a gás SF₆. Assim, a utilização de GIS e linhas de transmissão subterrâneas, apesar de caras, se tornam uma alternativa mais viável para a solução do aumento de demanda energética da cidade de Belo-Horizonte.

Quanto ao fator poluição, não há uma definição entre qual solução é mais vantajosa. Em princípio, nota-se que a GIS utiliza do gás SF₆, o qual possui alto potencial de agredir a camada de ozônio. Entretanto, o fato dos equipamentos isolados a gás não possuírem óleo mineral é levado por muitos autores como uma vantagem para a GIS, porque o vazamento deste óleo é muito prejudicial ao meio ambiente.

Dessa forma, a solução apresentada nesse trabalho, além de possibilitar a redução de perda na transmissão de energia elétrica, ser vantajosa ambientalmente por apresentar menos impactos à cidade e reduzir a emissão de CO₂, é uma alternativa viável para elevar consideravelmente a confiabilidade do sistema elétrico da região de BH, a disponibilidade de energia elétrica, criar redundância para a alimentação da região mais povoada e economicamente ativa da cidade.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

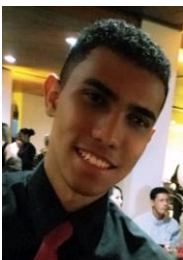
(1) KOCH, Hermann. Gas-Insulated Substation. 1ª Edição. Alemanha, Editora Wiley - IEEE, 2014.

- (2) NAIDU, Late M.S. Gas Insulated Substations. 1A. ed. Bangalore, India, ed I.K. International, 2008.
- (3) McDONALD, John D. EletricPower Substations Engineering. 3º Edição. Estados Unidos ,ed Crc Press, 2012.
- (4) CIGRE Working Group C3-102. **Electrical Power Supply using SF6 Technology – an Ecological Life Cycle Assessment**. Paris, 2004

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Matheus Souza Teixeira da Costa – matheus.costa@visionsistemas.com.br
Discente de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG. Atua no departamento técnico-comercial da VISION, desde de 2017.



Arthur Oliveira Quintão Torres – arthurquintaatorres@hotmail.com.br
Possui especialização em Gestão Estratégica de Negócios (2018) pela Pearson College London e graduação (2018) em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).
Atuou no departamento de equipamentos de alta tensão da VISION, de 2016 até 2019, na área de especificação, análise de projetos e inspeções de equipamentos do sistema elétrico.

Leandro Augusto Silva de Oliveira – leandro.oliveira@visionsistemas.com.br
Está cursando a pós-graduação em Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica (2019) e possui graduação (2015) em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MINAS). Foi premiado com medalha de ouro por ser o aluno destaque do curso de graduação.
Atua no departamento de equipamentos de alta tensão da VISION, desde 2015, na área de especificação, análise de projetos e inspeções de equipamentos do sistema elétrico. Possui experiência também no desenvolvimento de projetos elétricos e painéis de proteção para subestações.

Weberton Luiz Gonçalves Eller - weberton.eller@visionsistemas.com.br
Formado em Engenheiro Eletricista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG (2007). Menção Honrosa no Prêmio SME (2004), Prêmio na XIX META do CEFET-MG (2006), Medalha de ouro no Curso de Engenharia Elétrica do CEFET-MG, (2007).
Atua como gerente do departamento de energia do Grupo VISION, desde 2010.

Rodrigo Leonardo Valadão -rodrigo.valadao@cemig.com.br;
Possui graduação em Engenharia Elétrica (2003) e mestrado em sistemas elétricos de potência pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (2005). Em 2011, concluiu curso de MBA em Gestão de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e atua desde 2006 no planejamento da expansão da distribuição de alta tensão da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig).

Sérgio dos Anjos Rosa – sergio.rosa@cemig.com
Possui graduação (2013) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
Atuou no planejamento da expansão do sistema de distribuição da CEMIG, de 2015 até 2019, na área de planejamento de alta tensão.