

AutoROWReport

Relatório de interferências eletromagnéticas

Caso: ROW-1052L3W0

Objetivo e abrangência dos estudos

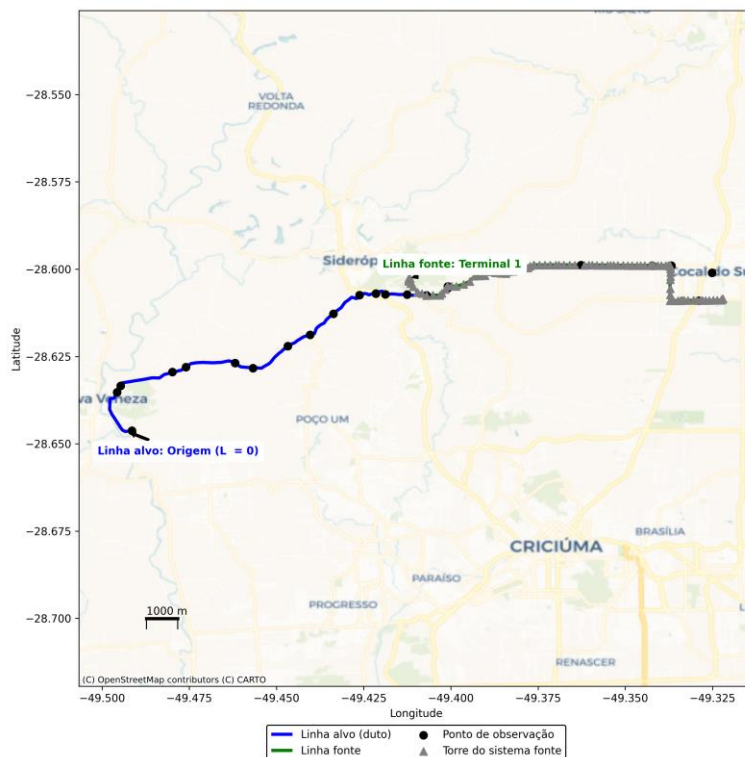
O objetivo deste relatório é apresentar os resultados e correspondentes análises de interferências eletromagnéticas envolvendo as instalações/estruturas descritas a seguir.

- **Instalação interferida (alvo):** GASODUTO NOVA VENEZA - SIDEROPOLIS - COCAL.
- **Empresa interferida:** SCGÁS - COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA.
- **Instalação interferente (fonte):** LD-69 kV Siderópolis RB.
- **Empresa interferente:** Coopercocal.
- **Descrição do caso:** CASO 5 Paralelismo 1 - cenário de mitigação.

Visão geral dos sistemas interferente e interferido

A Figura 1 representa o domínio de estudo global abrangido nos resultados contidos neste relatório, tal como modelado no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

Fig. 1. Visão geral dos sistemas interferente e interferido



Considerações gerais

1. As interferências são avaliadas em dois cenários distintos: 1) ocorrência de falta à terra monofásica na estrutura interferente, para análise de tensões induzidas de curta duração (transitórias) por acoplamentos indutivo e condutivo; e 2) instalação interferente em condições normais de operação (regime permanente), para avaliação das tensões de longa duração induzidas por acoplamento indutivo.
2. Os efeitos decorrentes dos mecanismos de acoplamento capacitivo estão implícitos nos cálculos, embora seus impactos nas tubulações interferidas sejam pouco significativos, por se tratarem de instalações subterrâneas.
3. Todos os modelos de simulação construídos no software são baseados nas efetivas coordenadas das linhas de transmissão e instalações interferidas, e incluem todo o percurso descrito na documentação do projeto. Portanto, os resultados apresentados representam todos os efeitos de acoplamento em cruzamentos, paralelismos e obliquidades, independente do tipo de aproximação ou afastamento entre as estruturas estudadas.
4. Para efeito de modelagem dos parâmetros elétricos das linhas de transmissão, considera-se a presença simultânea de todos os circuitos, pertencentes a todas as concessionárias envolvidas, que possuem encaminhamento em paralelo numa mesma faixa de servidão.
5. Para estudos transitórios, a falta monofásica é simulada na fase mais próxima ao encaminhamento do duto. Nas análises envolvendo subestações, a falta é aplicada ao seu barramento, no ponto imediatamente após a saída do transformador.
6. Os cálculos realizados para regime de falta consideram, simultaneamente, os efeitos de acoplamento indutivo e condutivo entre a(s) linha(s) de transmissão e a tubulação. Os perfis de tensão apresentados nos gráficos correspondem à sobreposição dos efeitos indutivo e condutivo, sendo este último a parcela mais significativa nas análises em regime transitório. Em regime permanente, não há que se falar em acoplamento condutivo, uma vez que, em condições normais de operação, não há corrente de retorno fluindo pelo solo.
7. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos dos condutores de aterramento conforme expressamente indicado nos desenhos de projeto, e são válidos apenas para as situações retratadas.
8. É responsabilidade da CONTRATADA designada para as obras de construção validar em campo a configuração dos cabos de aterramento das estruturas envolvidas e, se constatada alguma divergência, comunicar a CONTRATANTE, para que sejam promovidas as ações necessárias.
9. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões CA induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento etc., onde existentes, foi considerada nos modelos de simulação.
10. As estimativas de corrosão por corrente alternada consideram a influência das tensões induzidas em regime permanente sobre um defeito de revestimento circular com área de superfície igual a 1 cm^2 em solo uniforme.

Análise da resistividade do solo

A Tabela 1 contém os valores das medições das grandezas aparentes do solo, executadas no local do estudo.

Tab. 1. Valores medidos em campo pelo método de Wenner

Espaçamento [m]	Resistência aparente [Ω]
1	30,40
2	17,58
4	8,67
8	2,99
16	1,10
32	0,41

Os valores dos parâmetros do solo estratificado em camadas são discriminados na Tabela 2.

Tab. 2. Resultados do modelo de solo estratificado em camadas horizontais

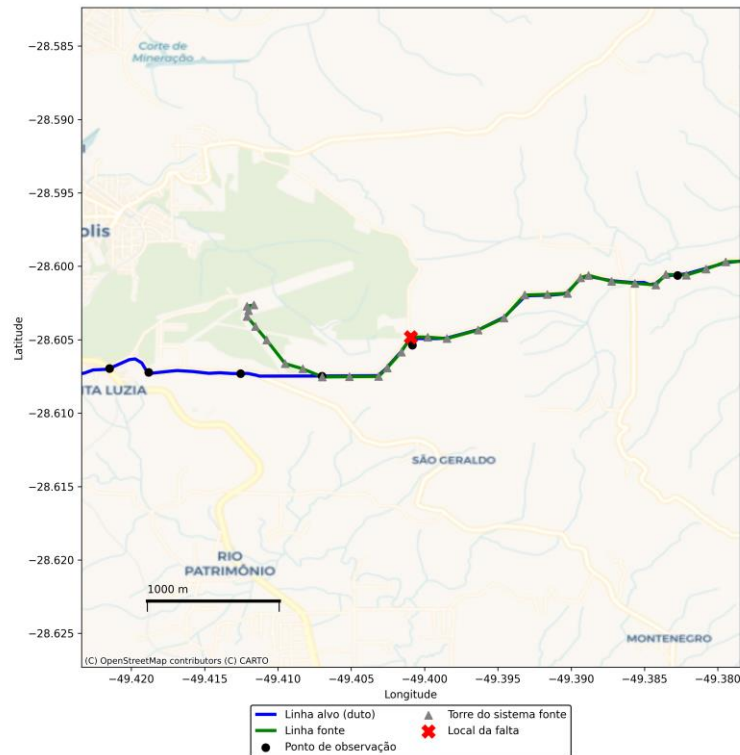
Camada	Resistividade [Ω-m]	Espessura [m]	Coef. reflexão	Contraste
Ar	∞	∞	0	1
1	212,26	6,03	-1	0
2	78,68	∞	-0,46	0,37

Estudo de interferências em regime de falta

Geometria da aproximação

A Figura 2 representa o domínio de estudo evidenciando a aproximação retratada no caso avaliado, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

Fig. 2. Vista da aproximação entre as estruturas interferente e interferida



Premissas do estudo de caso

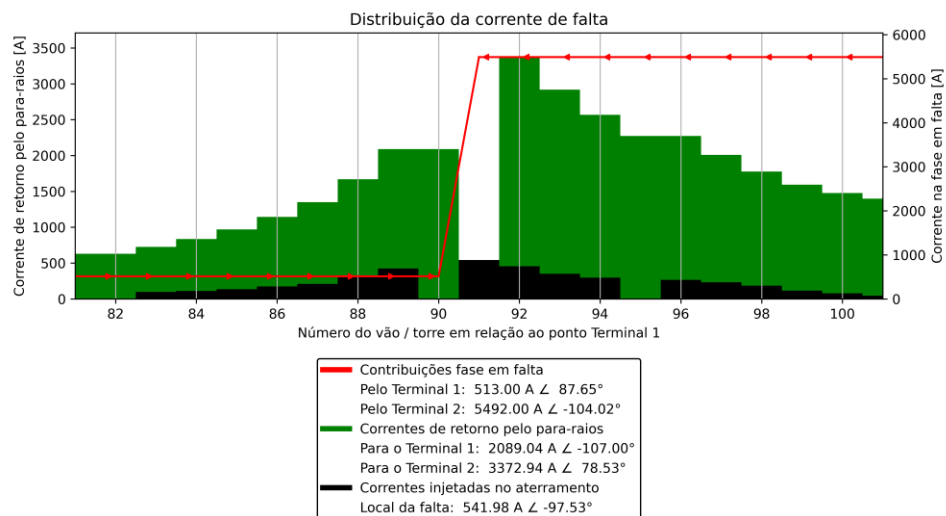
As principais premissas adotadas para realização das simulações computacionais do caso avaliado são descritas abaixo.

- **Simulação:** Acoplamento em regime transitório (falta).
- **Geometria:** Paralelismo.
- **Torre típica:** Conforme projeto.
- **Ponto de aplicação da falta:** Torre conforme figura.
- **Epicentro:** (X = 656.348,65; Y = 6.834.749,30).
- **Tempo de atuação da proteção:** 500 ms.
- **Espessura da camada de recobrimento:** 10 cm.
- **Especificação do material de recobrimento:** Brita granítica n. 4 recoberta com cimento alizado.
- **Resistividade do material de recobrimento:** 10000 Ω -m.

Distribuição da corrente de falta

Para análise da distribuição da corrente nos condutores para-raios e de aterramento da LT em falta, o curto-circuito é simulado a 85% do comprimento total da LT, contado a partir do ponto indicado como Terminal 1 na Figura 1. A resistência do aterramento no ponto de falta é a que se avalia via simulação computacional a partir da resistividade elétrica do solo medida no local, tipo e geometria dos condutores de aterramento. Para as demais torres envolvidas na região de interferências eletromagnéticas, é considerada a resistência de aterramento típica de 15Ω . Nessas condições, são verificadas as correntes de contribuição ao ramo de falta, e parcelas nos condutores para-raios e de aterramento da LT em falta que são representadas na Figura 3.

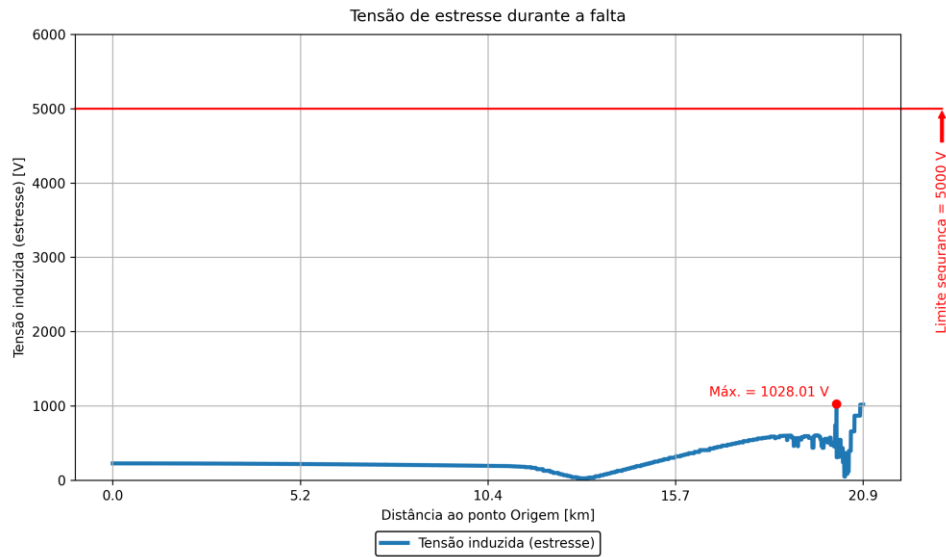
Fig. 3. Gráfico de correntes de contribuição à falta, retorno pelo para-raios e parcelas injetadas no solo pelo sistema de aterramento



Tensões de estresse, toque e passo

Os gráficos a seguir apresentam as distribuições de tensões induzidas na instalação interferida, incluindo valores nos afloramentos e limites de segurança, para o caso de falta retratado. Todas as distâncias nas curvas de tensão são referidas ao ponto indicado como Origem na Figura 1.

Fig. 4. Gráfico de tensão induzida na tubulação durante a falta e limite suportável para o revestimento isolante



Tab. 3. Sumário tensão de estresse imposta à instalação interferida

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
1.028,01	5000	Atende

As Figs. 5 e 6 contém, respectivamente, os gráficos de tensão de toque e passo ao longo da instalação interferida, bem como os correspondentes limites de segurança considerando o solo natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento para mitigação.

Fig. 5. Gráfico de tensão de toque durante a falta e limite suportável **com solo natural**

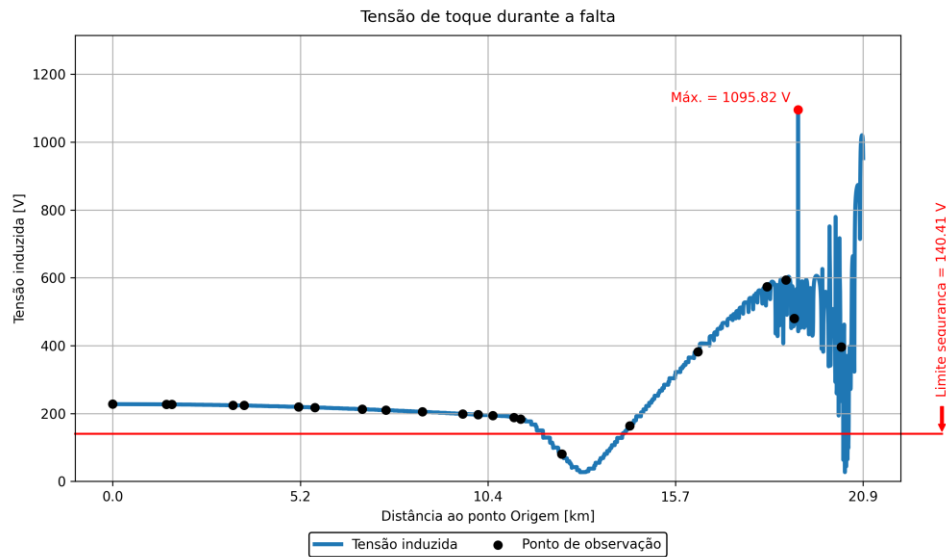
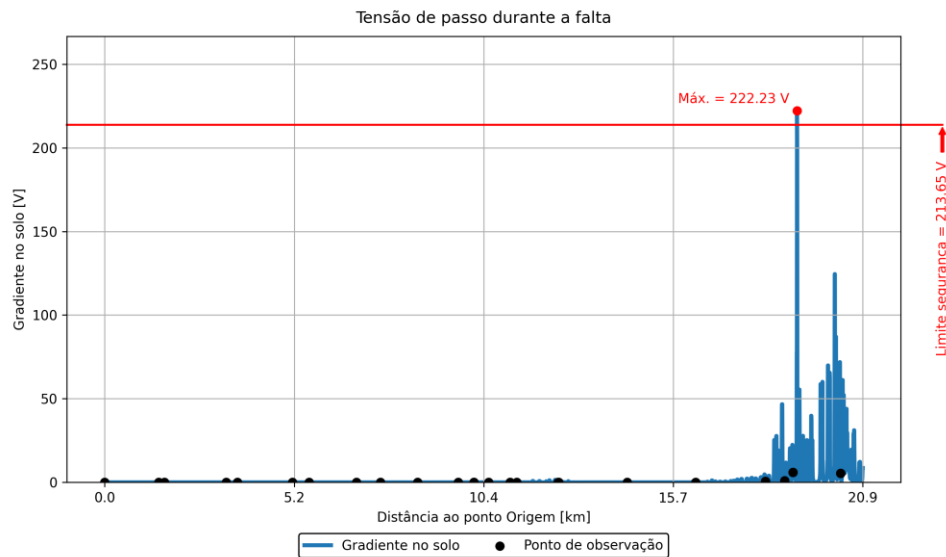


Fig. 6. Gráfico de tensão de passo durante a falta e limite suportável **com solo natural**



A Tabela 4 sintetiza os resultados verificados nos pontos de observação (afloramentos) e equipamentos conectados à instalação interferida. São indicados os valores que excedem os limites de segurança admissíveis para tensões de toque e passo, considerando o solo em seu estado natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento.

Tab. 4. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando solo natural**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETAPA 4 - PTCP-01	163,86	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-02	381,83	152,93	Não atende	0,01	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-03	573,90	152,93	Não atende	0,56	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-04	594,13	152,93	Não atende	1,01	263,74	Atende
ETAPA 4 - VB-01 / ERP-03 - PTJI-03	479,98	152,93	Não atende	6,05	263,74	Atende
ETAPA 4 - VB-02 - ERP-02 - PTJI-02	479,98	152,93	Não atende	6,05	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-05	395,97	152,93	Não atende	5,51	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-06	395,97	152,93	Não atende	5,51	263,74	Atende
ETAPA 4 - VB-03	395,97	152,93	Não atende	5,51	263,74	Atende
ETAPA 4 - RET-01	573,90	152,93	Não atende	0,56	263,74	Atende

ETC 09 / PTJI 01	227,60	152,93	Não atende	0,02	263,74	Atende
VB-01	226,91	152,93	Não atende	0,01	263,74	Atende
PTCP-01	226,76	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-02	224,15	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-02	223,74	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-03	219,44	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-03	218,03	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-04	212,66	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-04	210,22	152,93	Não atende	0,01	263,74	Atende
VB-05	205,01	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-05	198,88	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	196,46	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTMI-02	194,06	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-06	188,28	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-06	183,48	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTMI-01	80,12	152,93	Atende	0,01	263,74	Atende
ECP-10 / PTJI 03	80,08	152,93	Atende	0,02	263,74	Atende
PTJI 02	196,46	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende

A Tabela 5 reproduz os mesmos resultados de tensão de toque e passo nos pontos de observação, porém considerando o solo recoberto com uma camada de material de mitigação, conforme especificado anteriormente. Nessas condições, os limites de segurança toleráveis são aumentados, conforme a tabela evidencia.

Tab. 5. Tensões de toque e passo nos pontos de observação considerando mitigação com recobrimento do solo

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETAPA 4 - PTCP-01	163,86	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende

ETAPA 4 - PTCP-02	381,83	1.266,05	Atende	0,01	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - PTCP-03	573,90	1.266,05	Atende	0,56	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - PTCP-04	594,13	1.266,05	Atende	1,01	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - VB-01 / ERP-03 - PTJI-03	479,98	1.266,05	Atende	6,05	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - VB-02 - ERP-02 - PTJI-02	479,98	1.266,05	Atende	6,05	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - PTCP-05	395,97	1.266,05	Atende	5,51	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - PTCP-06	395,97	1.266,05	Atende	5,51	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - VB-03	395,97	1.266,05	Atende	5,51	4.716,20	Atende
ETAPA 4 - RET-01	573,90	1.266,05	Atende	0,56	4.716,20	Atende
ETC 09 / PTJI 01	227,60	1.266,05	Atende	0,02	4.716,20	Atende
VB-01	226,91	1.266,05	Atende	0,01	4.716,20	Atende
PTCP-01	226,76	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
VB-02	224,15	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTCP-02	223,74	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
VB-03	219,44	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTCP-03	218,03	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
VB-04	212,66	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTCP-04	210,22	1.266,05	Atende	0,01	4.716,20	Atende
VB-05	205,01	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTCP-05	198,88	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	196,46	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTMI-02	194,06	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
VB-06	188,28	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTCP-06	183,48	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende
PTMI-01	80,12	1.266,05	Atende	0,01	4.716,20	Atende
ECP-10 / PTJI 03	80,08	1.266,05	Atende	0,02	4.716,20	Atende
PTJI 02	196,46	1.266,05	Atende	< 1 mV	4.716,20	Atende

Conclusões do estudo do cenário de falta

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de falta retratado, conclui-se que:

- **Estresse imposto ao revestimento isolante:** O valor máximo provável da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 5000 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Tensão de toque nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de toque verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida indicam a ocorrência de **violações aos limites de segurança suportáveis**, devendo-se implementar ações complementares de mitigação do risco de eletrocussão, conforme recomendações descritas adiante.
- **Tensão de passo nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de passo verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.
- **Danos a juntas isolantes e retificadores:** Os valores prováveis de tensão imposta aos equipamentos conectados à tubulação (juntas isolantes e/ou retificadores) são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.

Recomendações para mitigação de riscos em cenário de falta

- Não há recomendação específica aplicável para neutralização da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida.
- Para mitigação dos valores de tensão de toque superiores aos limites toleráveis, recomenda-se a aplicação de uma camada de material isolante sobre a superfície do solo nos pontos de afloramento indicados, solução demonstrada eficiente para neutralização dos riscos detectados, conforme resultados apresentados neste relatório.
- Não há recomendação específica aplicável para mitigação de riscos de danos aos equipamentos conectados à tubulação interferida (juntas isolantes e/ou retificadores).

Estudo de interferências em regime permanente

Tensões de longa duração induzidas por acoplamento magnético

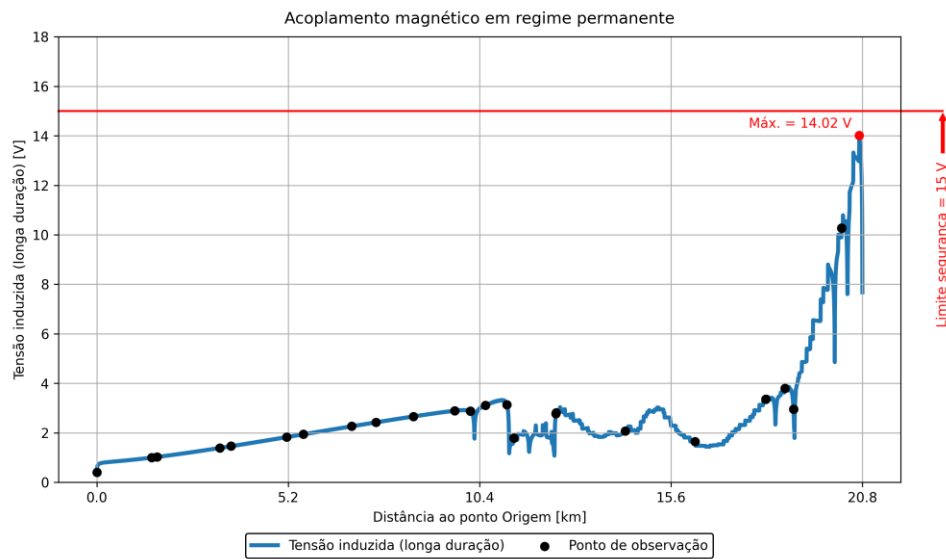
O gráfico contido na Figura 7 apresenta a distribuição de tensões induzidas na instalação ao interferida em regime permanente, para o caso de acoplamento magnético com a LT estudada.

Para esse cenário de mitigação, foram colocados tantos desacopladores quanto necessário para a mitigação de tensão AC induzida em relação ao primeiro estudo que ficou com valores acima do permitido.

Simulamos a instalação de até 4 desacopladores que foi o número que apresentou melhor resultado, baixando essa tensão induzida a valores aceitáveis.

Os locais onde foram simulados e verificado um bom resultado foram nos equipamentos ERP-01, ERP-02, ETC-10 e VB-06

Fig. 7. Gráfico de tensão induzida na tubulação em regime permanente

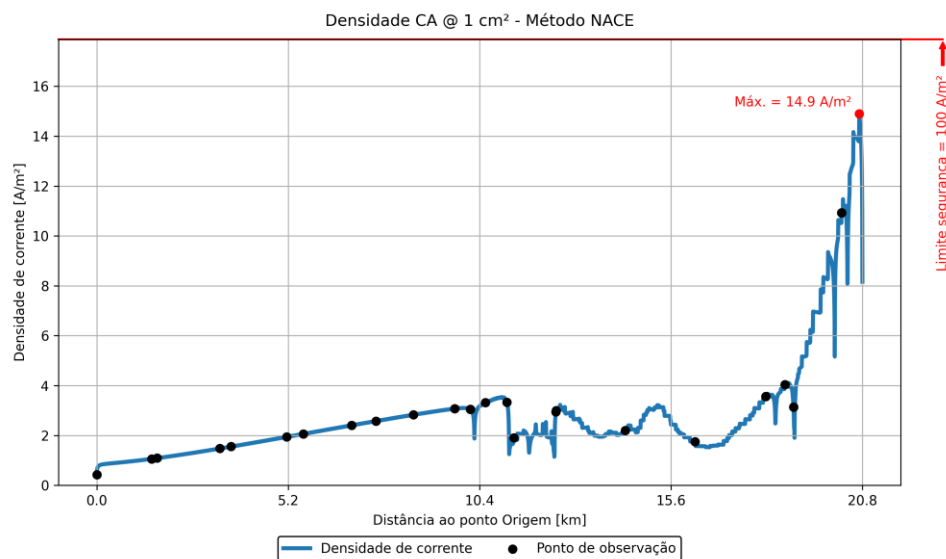


Tab. 6. Sumário tensão induzida em regime permanente

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
14,02	15	Atende

O gráfico da Figura 8 apresenta os valores de densidade de corrente de fuga através de uma falha de revestimento circular (teórica) com área de superfície igual a 1 cm^2 , conforme NACE TG-327.

Fig. 8. Gráfico de densidade de corrente alternada em regime permanente



Tab. 7. Sumário densidade de corrente e probabilidade de corrosão por CA

Valor máximo [A/m²]	Limite [A/m²]	Critério
14,90	100	Atende

Conclusões do estudo em regime permanente

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de operação normal da instalação interferente, conclui-se que:

- **Tensões induzidas de longa duração:** O valor máximo provável da tensão de longa duração induzida na tubulação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 15 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Corrosão por CA:** O valor máximo provável da densidade de corrente de fuga através de uma superfície de 1 cm² é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 100 A/m², condição que caracteriza probabilidade desprezível de ocorrência de corrosão por CA.

Recomendações para mitigação de riscos em regime permanente

- Para neutralização da tensão induzida em regime permanente na instalação interferida, recomenda-se a adoção das seguintes ações de mitigação: (a) instalação de dispositivos desacopladores CC ao longo da extensão de tubulação onde ocorre a violação ao critério de segurança, com malha de aterramento dimensionada para resistência não superior a 5 Ω , preferencialmente nos pontos de afloramento onde foram feitas as simulações.
- Os pontos das simulações foram ERP-01, ERP-02, ETC-10 E VB-06.
- De acordo com o gráfico de tensão AC induzida, o valor ficou muito próximo do limite preceituado por norma, dessa forma após implantado a mitigação, sugerimos uma varredura no ponto de afloramento para verificar possíveis tensões AC residuais.
- Como medida adicional de segurança, para serviços de instalação e manutenção na tubulação na zona contida no afastamento de até 10 metros em relação ao eixo da LT, deverão ser previstas malhas provisórias de aterramento equipotencial, interligadas às colunas de duto expostas e abrangendo a totalidade da área ocupada pelos profissionais envolvidos em trabalhos na tubulação, sem prejuízo dos demais requisitos de segurança aplicáveis.