



Janeiro, 2017

OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

PROTEÇÃO PARA EVENTOS COM 25 ANOS DE TEMPO DE RETORNO

Preparado para:

Fundação Renova

RELATÓRIO

Número do Relatório: G006900-G-1RT080_R-00/RT-E38-009_159-515-2282_00-B

Distribuição:

1 e-cópia - Fundação Renova

1 cópia - Golder Associates Brasil Consultoria e
Projetos Ltda.





ÍNDICE

1.0 CONTEXTO	1
2.0 REGIME DE MODELAGEM HIDRÁULICA ADOTADO	1
3.0 OBJETIVO PRIMÁRIO DE AJUDAR NA INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	3
4.0 OPÇÕES PARA MELHORAR O NÍVEL DE PROTEÇÃO EM BARRA LONGA	4
4.1 Opção 1 – Reduzir a Constrição na Ponte (isto é, alargamento da ponte).....	4
4.2 Opção 2 – Alargamento do Canal (Barra Longa).....	7
4.2.1 Opção 2A – Alargamento do Canal (Ch3428 – 3478 km) incluindo Melhorias na Ponte	7
4.2.2 Opção 2B – Alargamento Adicional do Canal (Ch2800 – 3478 km) incluindo Melhorias na Ponte.....	8
4.2.3 Opções 2C, 2D e 2E – Alargamento adicional do canal	10
4.2.4 Opção 2F – Impacto do Alargamento do Canal sem Modificações na Ponte	14
4.3 Opção 3 – Muro de Contenção de Inundação	15
4.4 Opção 4 – Reservatório a Montante	18
4.5 Opção 5 – Proteção em Nível de Propriedade	21
5.0 IMPACTOS PARA OUTRAS PARTES INTERESSADAS	22
6.0 ELEVÇÃO DOS NÍVEIS DO TERRENO AO REDOR DE BARRA LONGA	23
7.0 RESUMO DAS CONCLUSÕES	23
8.0 CONCLUSÕES & RECOMENDAÇÕES	25
9.0 EQUIPE TÉCNICA	26

TABELAS

Tabela 1: Equipe Técnica.....	26
-------------------------------	----

FIGURAS

Figura 1: Layout do Modelo HEC-RAS (a montante da ponte de Barra Longa), (Figura A) e Layout do Modelo HEC-RAS (Barra Longa), (Figura B).	2
Figura 2: Topografia em Barra Longa.	3
Figura 3: Modificações modeladas para a ponte.....	5
Figura 4: Mudanças no nível da água como resultado de modificações na ponte.	5
Figura 5: Constrição em Barra Longa (Ch3428 - 3478).	6
Figura 6: Mudanças modeladas no rio em Ch4328 até 3478 km.	7
Figura 7: Mudança nos níveis da água como resultado de modificações no canal (Ch3428 - 3478).....	8
Figura 8: Mudanças na margem esquerda (Ch2800 a 2478).....	9



Figura 9: Mudanças no nível da água como resultado de modificações no canal na Margem Esquerda (Ch2800 - 3478).....	10
Figura 10: A Opção 2C inclui todas as modificações descritas na Opção 2B, mais o deslocamento da margem esquerda em 10 m entre Ch3428 e Ch2878km.....	11
Figura 11: A Opção 2D inclui todas as modificações descritas na Opção 2C, mais o deslocamento da margem direita em 15 m sob a estrutura da ponte (e imediatamente a montante e a jusante).....	11
Figura 12: A Opção 2E inclui todas as modificações descritas na Opção 2A, mais a remoção de restrições situadas dentro do canal, a jusante da ponte de Barra Longa	12
Figura 13: Mudanças no nível de inundação como resultado de modificações no canal (Opção 2C).	12
Figura 14: Mudanças no nível de inundação como resultado de modificações no canal (Opção 2D).	13
Figura 15: Mudanças no nível de inundação como resultado de modificações no canal (Opção 2E).....	13
Figura 16: Redução no nível de água resultante somente do alargamento do canal em Ch3428 e 3478 km (isto é, excluindo qualquer modificação na ponte).	14
Figura 17: Redução no nível de água resultante somente do alargamento do canal em Ch2800 e 3478 km em ambas as margens do rio (isto é, excluindo qualquer modificação na ponte).	15
Figura 18: Alinhamento proposto para o muro de contenção (vista em planta).	16
Figura 19: Alinhamento proposto para o muro de contenção (elevação).	17
Figura 20: Arranjo temporário de muro de contenção.	18
Figura 21: Propriedades em risco em um evento com 10 anos de tempo de retorno.	19
Figura 22: Hidrográficos de vazão	19
Figura 23: Possível local para reservatório de contenção de inundação.	20
Figura 24: Extensão de inundação – Eventos com tempo de retorno de 10 e 25 anos.	21
Figura 25: Proteção em nível de propriedade individual.	22

ANEXOS

Anexo A

Modificações no Canal - Ch3428 a 3478 Km



1.0 CONTEXTO

A Samarco se comprometeu a avaliar o aumento no risco de inundações resultante da deposição de rejeitos e sedimentos no rio do Carmo depois do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão.

Em junho de 2016¹ foi feita uma análise inicial do impacto da deposição sobre os níveis de inundação em Barra Longa. Aquele relatório concluiu que, após o rompimento, houve uma redução no nível de proteção das propriedades no centro da cidade. Em termos materiais, isto significa que propriedades que eram suscetíveis a inundação anteriormente (isto é, antes do rompimento da Barragem de Fundão) serão agora afetadas com maior frequência e estarão sujeitas a uma maior profundidade de inundação. Os impactos do rompimento são descritos na Seção 2 (Figura 3) do relatório de opções de modelagem da Golder Associates indicado abaixo².

Em resposta a estas conclusões, a Samarco instruiu a Golder Associates, em setembro de 2016², a realizar um estudo hidráulico para avaliar as opções viáveis para restaurar o nível de proteção proporcionado às propriedades em Barra Longa. Este estudo recomendou a remoção de restrições no rio do Carmo em seis (6) locais entre a praça principal (Praça Manoel Lino Elo) e aproximadamente 110 m a jusante da ponte de Barra Longa. Estas obras começaram em novembro de 2016.

Um estudo subsequente foi realizado em novembro de 2016 para analisar a natureza e a escala das obras necessárias não apenas para restaurar o nível de proteção das propriedades em Barra Longa antes do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão, mas também *melhorar* o nível de proteção proporcionado, de modo a, idealmente, proteger contra inundações para eventos com tempo de retorno de 25 anos (4%). Este relatório apresenta as conclusões destas análises hidráulicas subsequentes.

2.0 REGIME DE MODELAGEM HIDRÁULICA ADOTADO

O modelo de estado estacionário HEC-RAS desenvolvido como parte do estudo realizado pela Golder Associates em setembro de 2016² foi adotado como base para a atual análise de possíveis alternativas de mitigação adicional. Isto pressupõe que as seis (6) restrições descritas no estudo de setembro de 2016 tenham sido removidas.

A **Figura 1** abaixo apresenta uma visão geral do layout do modelo.

¹ Consultar *Estudos Hidrodinâmicos no Município de Barra Longa – Resultados Finais para os Cenários Afetado e Natural*, Golder Associates (Junho 2016), ref. RT-E-11-002_159-515-2282_01-B/G006983-G-1RT002_R-01

² Consultar relatório da Golder Associates intitulado “Desenvolvimento de Opções Viáveis para Mitigar o Risco de Inundação em Barra Longa”, documento número 1663015.502/B.1



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA



(A)



(B)

Figura 1: Layout do Modelo HEC-RAS (a montante da ponte de Barra Longa), (Figura A) e Layout do Modelo HEC-RAS (Barra Longa), (Figura B).



3.0 OBJETIVO PRIMÁRIO DE AJUDAR NA INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para auxiliar na interpretação dos resultados apresentados neste relatório, é conveniente descrever (em termos físicos) o que o estudo está objetivando alcançar.

O objetivo primário das obras adicionais propostas para a mitigação de inundações consiste em melhorar o nível de proteção proporcionado às propriedades em Barra Longa, idealmente prevenindo inundações no centro da cidade para todos os eventos até e inclusive um evento com 25 anos de tempo de retorno (4%).

A **Figura 2** abaixo mostra um mapa topográfico do centro da cidade. Como se pode ver no mapa, podem-se fazer as seguintes afirmações:

- A maioria das propriedades situadas adjacentes ao rio e que, portanto, estarão suscetíveis a inundação encontra-se entre as elevações de 375 m e 377 m. Por esta razão, se conseguirmos reduzir o nível de inundação para eventos com tempo de retorno de 25 anos para 375 m ou para menos de 375 m, teremos protegido todas as propriedades acima desta linha contra inundações;
- Uma proporção relativamente grande das propriedades que estão suscetíveis a inundação está situada acima da elevação 376 m. Por conseguinte, estas propriedades estarão protegidas contra inundação em um evento 25 anos de tempo de retorno se conseguirmos reduzir o nível de pico de inundação previsto para 376 m ou para menos de 376 m;
- Um pequeno número de propriedades na praça principal (Praça Manoel Lino Elo) e imediatamente adjacente ao rio do Carmo está situado abaixo da elevação 375 m. Isto significa que será necessário adotar medidas que reduzam o nível de inundação para 374 m se quisermos proteger inteiramente estas propriedades contra inundação.

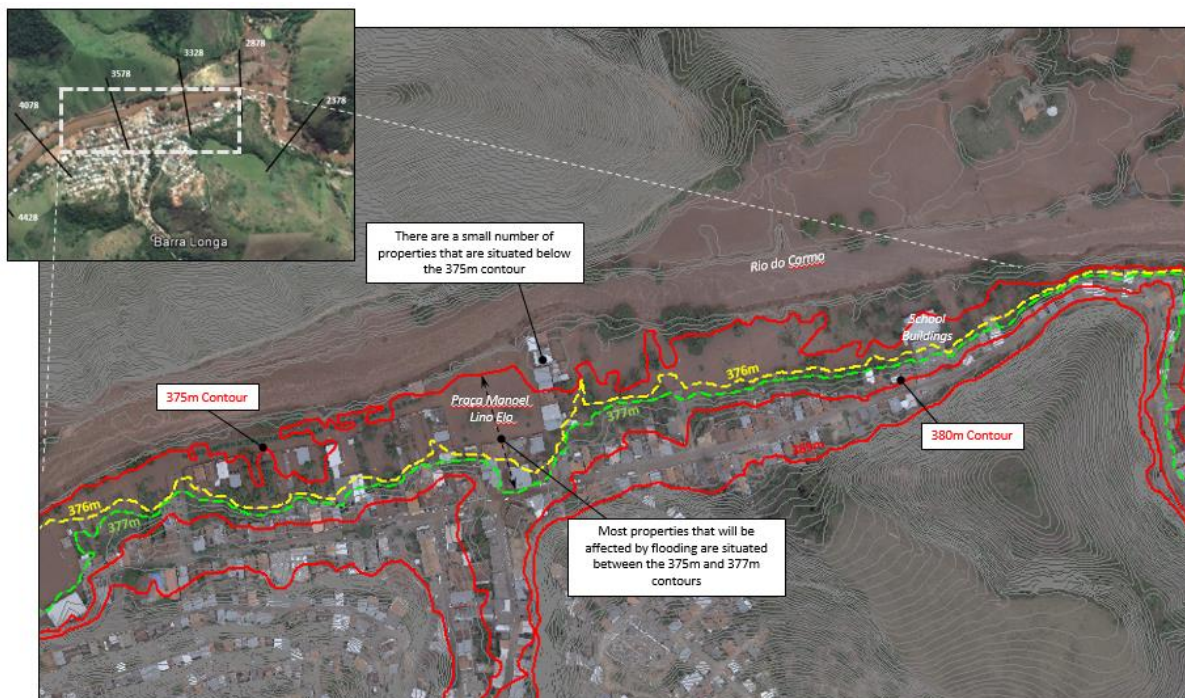


Figura 2: Topografia em Barra Longa.



4.0 OPÇÕES PARA MELHORAR O NÍVEL DE PROTEÇÃO EM BARRA LONGA

Várias opções de mitigação foram consideradas para se obter uma redução adicional no risco de inundação para propriedades situadas em Barra Longa. Como destacado na Seção 2 acima, este estudo foi realizado com base na premissa de que as constrições em seis (6) locais no rio do Carmo tenham sido removidas, conforme as recomendações de setembro de 2016³ da Golder Associates. Todas as obras propostas descritas abaixo são, por conseguinte, *em acréscimo* à remoção das constrições.

Em discussões com a Samarco no âmbito deste estudo, as seguintes opções foram analisadas para avaliar o impacto que estas mudanças podem ter sobre os níveis (e a frequência) de inundação em Barra Longa:

- Melhorias na ponte para reduzir ainda mais o nível de constrição existente no rio do Carmo a jusante de Barra Longa;
- Alargamento do canal do rio do Carmo ao longo de Barra Longa;
- Construção de um muro de contenção de inundação em Barra Longa, considerado neste caso como um acréscimo suplementar para tratar o risco residual de inundação após a implementação das obras de melhoria da ponte⁴;
- Reservatório a montante visando reduzir o volume e a magnitude da vazão que passa por Barra Longa.

Os resultados do estudo são apresentados abaixo. Novamente, faz-se referência às notas explicativas apresentadas na Seção 3 acima, que auxiliarão na interpretação.

4.1 Opção 1 – Reduzir a Constrição na Ponte (isto é, alargamento da ponte)

A Opção 1 considera o benefício que se obterá para as propriedades no centro da cidade como resultado da do incremento adicional da área de seção transversal (e conseqüentemente da constrição à vazão) da ponte imediatamente a jusante de Barra Longa.

Note-se que uma modelagem anterior estabeleceu que o tabuleiro da ponte não é atingido em uma situação de inundação. Portanto, não há necessidade de elevar o nível do tabuleiro.

As alterações no arranjo da ponte que foram analisadas são ilustradas na **Figura 3** abaixo. Isto inclui a remoção da grande ombreira no lado esquerdo da estrutura, o que aumentará a área de vazão disponível através da ponte em aproximadamente 15-20%.

³ Consultar o relatório da Golder Associates intitulado “Desenvolvimento de Opções Viáveis para Mitigar o Risco de Inundação em Barra Longa”, documento número 1663015.502/B.1

⁴ Destaca-se que a construção de um muro de contenção de inundação como uma opção de mitigação isolada foi considerada como parte do estudo de setembro de 2016, i.e. documento Golder número 1663015.502/B.1, não tendo sido recomendada para consideração mais detalhada.



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

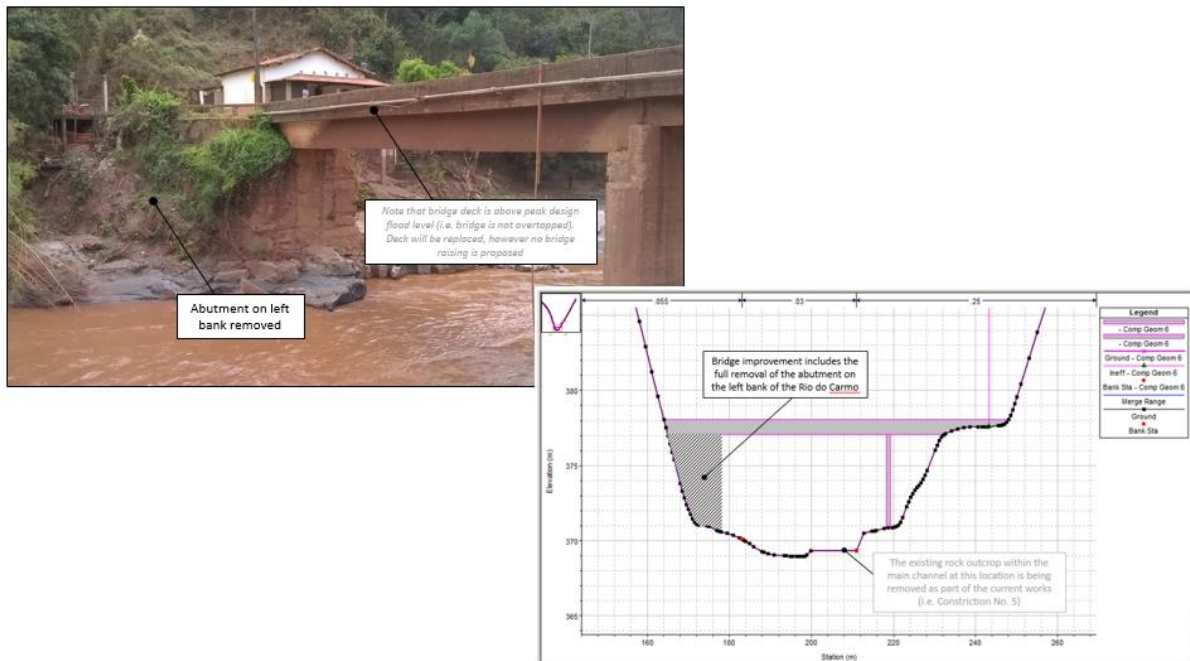


Figura 3: Modificações modeladas para a ponte.

O impacto da alteração no arranjo da ponte é apresentado graficamente na **Figura 4**, onde o eixo x representa a seção transversal XS do canal (ver detalhe), enquanto o eixo y representa o nível de inundação de pico para o tempo de retorno de 25 anos.

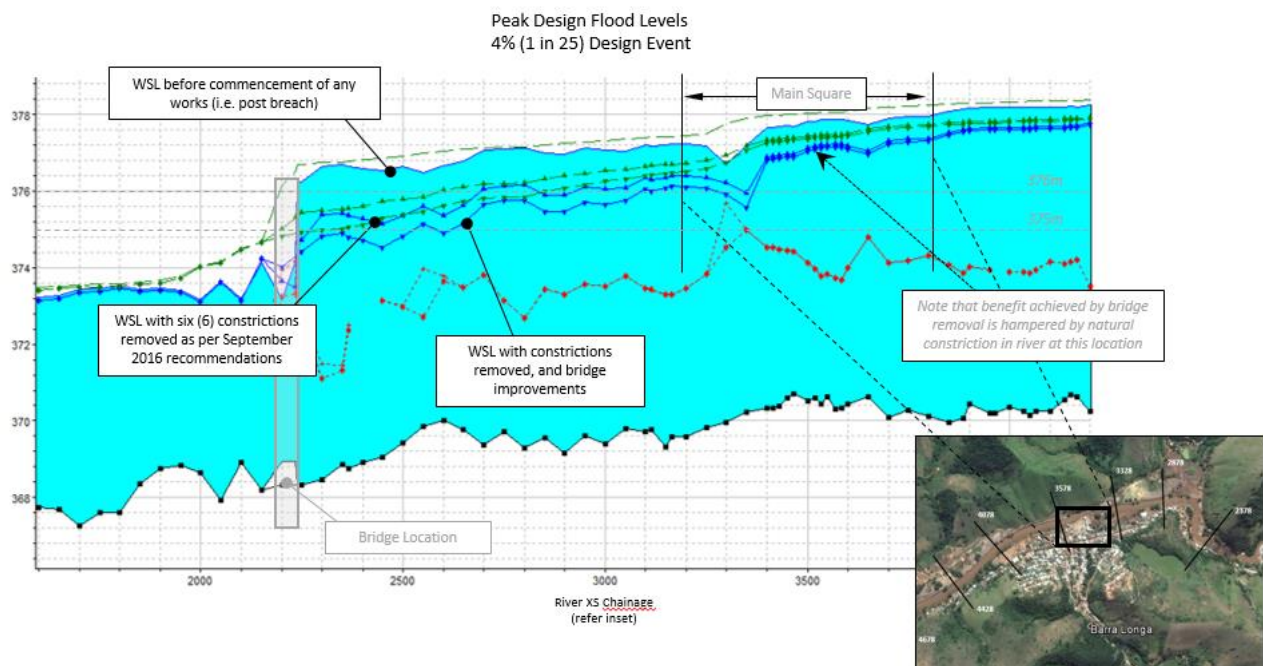


Figura 4: Mudanças no nível da água como resultado de modifica es na ponte.



Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado do alargamento da ponte:

- As obras propostas reduzirão adicionalmente os níveis de inundação⁵ para o evento de 25 anos de tempo de retorno em aproximadamente 350 mm imediatamente a montante da estrutura e em aproximadamente 150 mm no centro da cidade (isto é, próximo à praça principal);
- O nível reduzido do pico de inundação nas vizinhanças da praça principal varia de 376 m a 377 m como resultado das obras de alargamento da ponte. Como ilustrado na **Figura 4** acima, isto não resolve o risco de inundação em todas as propriedades;
- Os benefícios hidráulicos que serão obtidos como resultado do alargamento da ponte no centro da cidade são limitados pela constrição natural do canal do rio existente próximo a Ch3428 – 3478 km (ver Figura 5 abaixo). Isto é abordado em mais detalhes na Seção 4.2 abaixo.



Figura 5: Constrição em Barra Longa (Ch3428 - 3478).

Portanto, conclui-se que, embora as modificações propostas para a ponte propiciem uma redução nos níveis de pico de inundação no centro da cidade, outras obras complementares serão necessárias para se atingir o nível de proteção desejado para o tempo de retorno de 25 anos.

⁵ Isto é, em comparação com os níveis de pico de inundação obtidos após a remoção das seis (6) constrições conforme recomendado em setembro de 2016



4.2 Opção 2 – Alargamento do Canal (Barra Longa)

4.2.1 Opção 2A – Alargamento do Canal (Ch3428 – 3478 km) incluindo Melhorias na Ponte

Como ilustrado na Opção 1 acima, as obras propostas para a ponte reduzirão o nível de pico de inundação em Barra Longa. Entretanto, o(s) benefício(s) obtido(s) é(são) limitado(s) pela constrição natural representada pelo canal do rio do Carmo no local junto à praça principal (isto é, entre Ch3428 e 3478 km).

Esta constrição encontra-se no mesmo local da *Constrição nº 1*, como mostrado no estudo⁶ de setembro de 2016. Portanto, como parte do atual programa de remoção de constrições, ela será parcialmente removida, visando retornar ao nível de proteção prevaiente antes do rompimento da barragem. Note-se que não foram consideradas obras adicionais neste local, uma vez que o objetivo primário do estudo de setembro de 2016 foi alcançado, isto é, proporcionar o mesmo nível de proteção em Barra Longa que havia antes do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão.

Portanto, agora, mudanças adicionais no canal foram analisadas em um esforço para melhorar o nível de proteção das propriedades, como ilustrado na Figura 6 abaixo, e as mudanças na seção transversal descritas no **Anexo A**. Reitera-se que este arranjo *inclui* as mudanças na ponte como descrito na Opção 1.



Figura 6: Mudanças modeladas no rio em Ch4328 até 3478 km.

O impacto desta mudança adicional no canal é apresentado graficamente na **Figura 7**, em que o eixo x representa a seção transversal XS do canal (ver detalhe), enquanto o eixo y representa o nível de pico de inundação para o evento com 25 anos de tempo de retorno.

⁶ Consultar o relatório da Golder Associates intitulado “Desenvolvimento de Opções Viáveis para Mitigar o Risco de Inundação em Barra Longa”, documento número 1663015.502/B.1

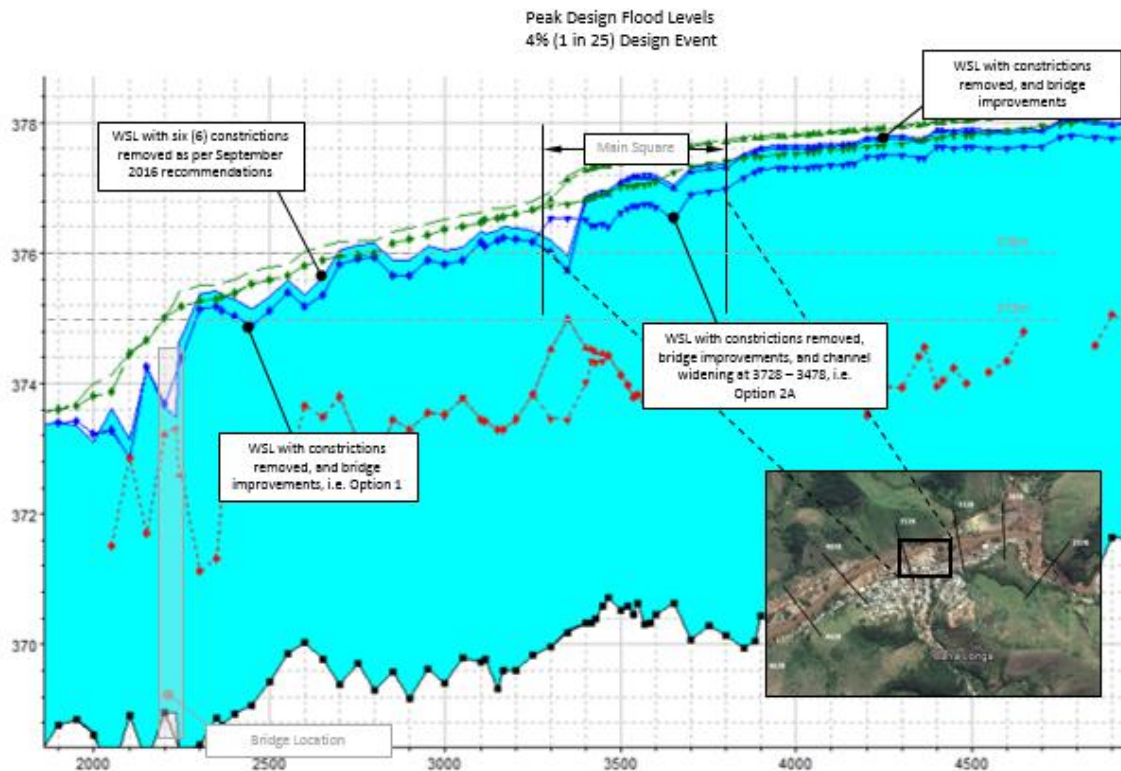


Figura 7: Mudança nos níveis da água como resultado de modificações no canal (Ch3428 - 3478).

Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado da Opção 2A, como acima descrito:

- As obras propostas reduzirão ainda mais os níveis de inundação⁷ para o evento com 25 anos de tempo de retorno em aproximadamente 500 mm no centro da cidade (isto é, próximo à praça principal);
- O nível reduzido do pico de inundação nas vizinhanças da praça principal varia entre 376,3 m e 376,5 m como resultado da implementação da Opção 2A. Como mostrado na **Figura 7** acima, isto ainda não resolve o risco de inundação de todas as propriedades.

Portanto, conclui-se que, embora as modificações propostas para a ponte e para o canal proporcionem uma redução adicional nos níveis de pico de inundação no centro da cidade, elas não atingem o nível desejado de proteção para o tempo de retorno de 25 anos.

4.2.2 Opção 2B – Alargamento Adicional do Canal (Ch2800 – 3478 km) incluindo Melhorias na Ponte

Como demonstrado na Opção 2A acima, as obras propostas para a ponte, juntamente com a remoção da constrição natural no rio do Carmo em Ch3428 – 3478 km, reduzirão o nível de pico de inundação em Barra Longa. Entretanto, estas obras não atingirão o nível de proteção desejado de 25 anos de tempo de retorno. Assim, foram consideradas obras adicionais de alargamento do canal. Neste caso, isto inclui deslocar a

⁷ Isto é, em comparação com os níveis de pico de inundação obtidos após a remoção das seis (6) constrições conforme recomendado em setembro de 2016 e a remoção da ombreira esquerda da ponte (isto é, Opção 1)



margem esquerda do rio em 10 m ao longo de todo o comprimento do trecho reto entre Ch3478km e Ch2800km, como mostrado na **Figura 8** abaixo.

Reitera-se que este arranjo inclui as mudanças na ponte como descrito e na construção em Ch3428 – 3478 km, conforme a Opção 2A.



Figura 8: Mudanças na margem esquerda (Ch2800 a 2478).

O impacto desta mudança adicional no canal é apresentado graficamente na **Figura 9**, onde o eixo x representa a seção transversal XS do canal (ver detalhe), enquanto o eixo y representa o nível de inundação de pico para um evento com tempo de retorno de 25 anos.

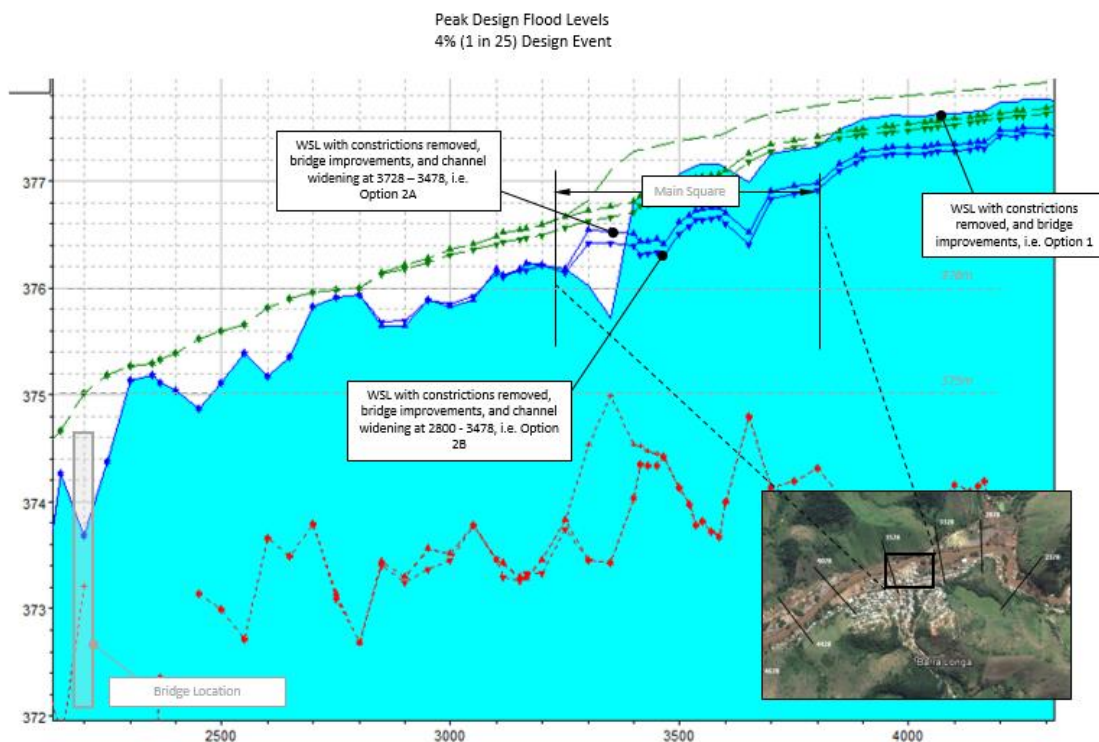


Figura 9: Mudanças no nível da água como resultado de modificações no canal na Margem Esquerda (Ch2800 - 3478).

Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado da Opção 2B, como acima descrito:

- As obras propostas reduzirão ainda mais os níveis de inundaçã⁸ para o evento com 25 anos de tempo de retorno em aproximadamente 200 mm no centro da cidade (isto é, próximo à praça principal);
- O nível reduzido do pico de inundaçã nas vizinhanças da praça principal é de aproximadamente 376,2 m como resultado da implementação da Opção 2B. Como mostrado na Figura 9 acima, isto ainda não resolve o risco de inundaçã de todas as propriedades.

Portanto, conclui-se que a Opção 2B ainda não atinge o nível de proteçã desejado para 25 anos de tempo de retorno. Por conseguinte, foram analisadas obras adicionais em um esforço de reduzir ainda mais os níveis de inundaçã no centro da cidade, como descrito abaixo.

4.2.3 Opções 2C, 2D e 2E – Alargamento adicional do canal

Como descrito nas seções acima, reduções incrementais no nível de inundaçã são obtidas com o alargamento progressivo do canal, embora o nível de proteçã desejado ainda não tenha sido atingido. Por isso, análises adicionais foram realizadas para determinar se um alargamento adicional do canal proporcionará uma reduçã suficiente dos níveis de água no pico de inundaçã de modo a evitar que propriedades sejam afetadas em um evento com 25 anos de tempo de retorno.

As figuras a seguir apresentam uma visã geral destas análises adicionais. Deve-se destacar que todas as opções consideradas abaixo incluem as modificações do canal descritas na Opção 2B acima.

⁸ Isto é, em comparaçã com os níveis de pico de inundaçã obtidos após a remoçã das seis restrições conforme recomendado em setembro de 2016 e a remoçã da ombreira esquerda da ponte (isto é, Opção 1)



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA



Figura 10: A Opção 2C inclui todas as modificações descritas na Opção 2B, mais o deslocamento da margem esquerda em 10 m entre Ch3428 e Ch2878km.



Figura 11: A Opção 2D inclui todas as modificações descritas na Opção 2C, mais o deslocamento da margem direita em 15 m sob a estrutura da ponte (e imediatamente a montante e a jusante).



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA



Figura 12: A Opção 2E inclui todas as modificações descritas na Opção 2A, mais a remoção de constrictões situadas dentro do canal, a jusante da ponte de Barra Longa

Os resultados das obras adicionais no canal descritas nas Opções 2C, 2D e 2E acima são resumidos abaixo.

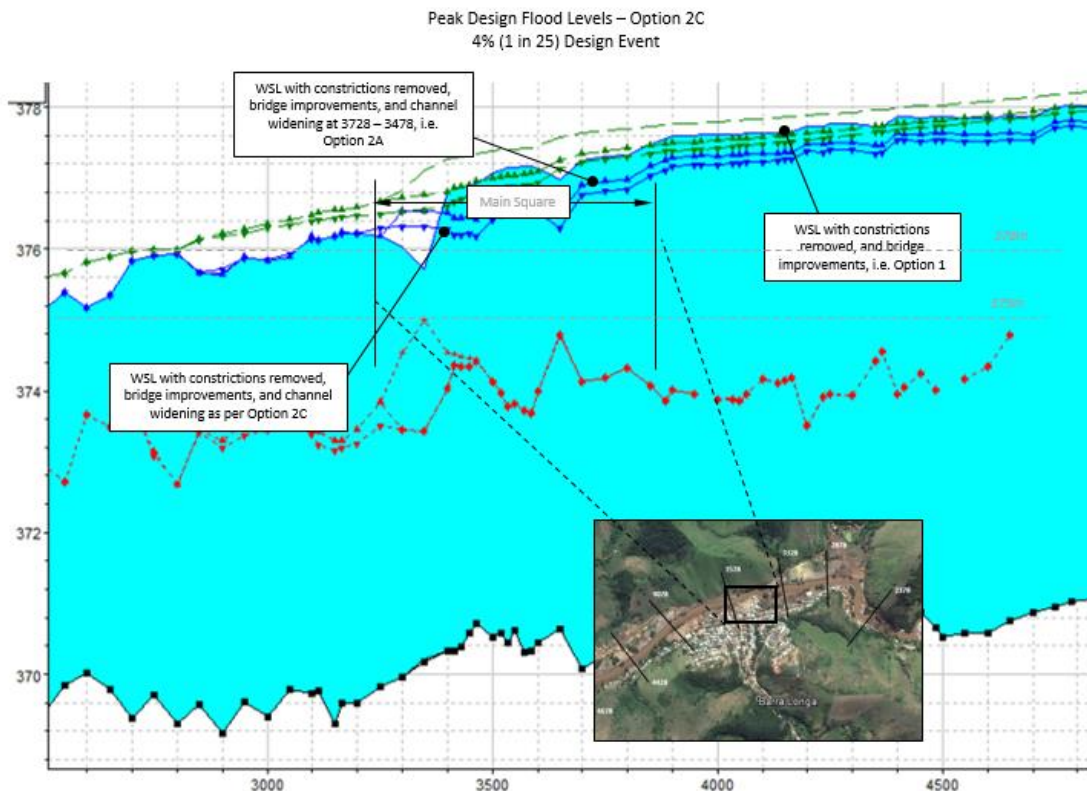


Figura 13: Mudanças no nível de inundação como resultado de modificações no canal (Opção 2C).



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

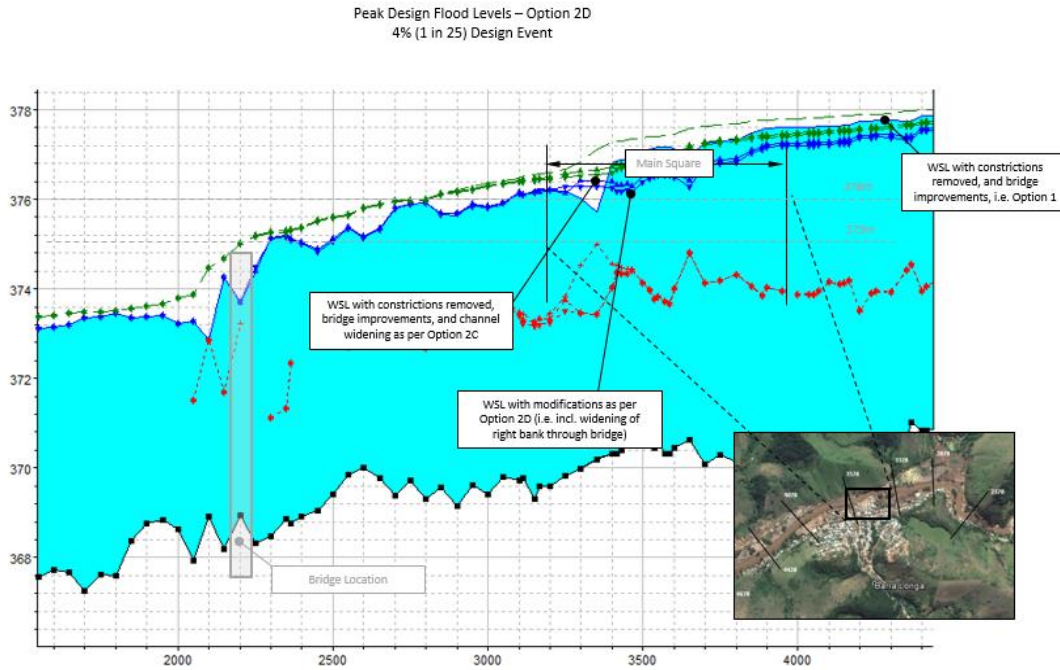


Figura 14: Mudanças no nível de inundação como resultado de modificações no canal (Opção 2D).

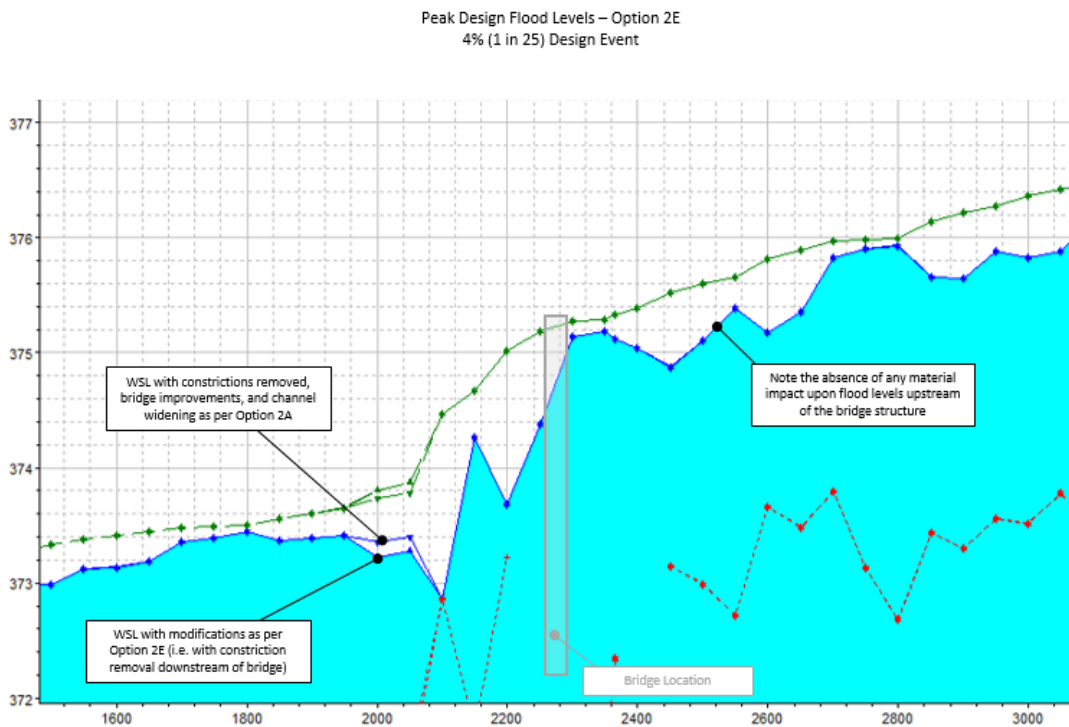


Figura 15: Mudanças no nível de inundação como resultado de modificações no canal (Opção 2E).

Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado das Opções 2C, 2D e 2E:



- As obras propostas nas Opções 2C e 2D reduzirão ainda mais os níveis de inundação no evento com 25 anos de tempo de retorno no centro da cidade, embora, em todos os casos, o nível de pico de inundação ainda se situe acima de 376 m. Portanto, isto ainda não resolve o risco de inundação em todas as propriedades;
- Não há nenhum impacto significativo no risco de inundação no centro da cidade como resultado do alargamento do canal a jusante da ponte (isto é, Opção 2E);

As obras no canal descritas nas Opções 2C e 2D acima são relativamente significativas, aumentando a largura líquida do rio do Carmo ao longo de 500-600 m do rio em até 20 m. Isto levará a uma “retificação” do canal e, embora a modelagem tenha demonstrado que isto não resultará em nenhuma alteração importante nas velocidades de vazão, considera-se provável que haja resistência dos órgãos regulatórios por razões ambientais.

Assim, em vista da redução incremental mínima no nível de pico de inundação (e, por conseguinte, no nível de proteção obtido), considerou-se que as Opções 2C, 2D e 2E não requerem consideração adicional.

4.2.4 Opção 2F – Impacto do Alargamento do Canal sem Modificações na Ponte

Sabe-se que quaisquer alterações na superestrutura da ponte representariam um custo de capital relativamente alto. Por isso, foram considerados os benefícios que poderiam ser obtidos apenas com o alargamento do canal (isto é, sem modificações na ponte).

Foram considerados dois arranjos, a saber:

- Redução nos níveis de inundação resultante do alargamento da margem direita do canal entre Ch3428 e 3478 km (isto é, conforme a Opção 2A), porém sem qualquer modificação na estrutura da ponte;

Redução nos níveis de inundação resultante do alargamento de ambas as margens do canal entre Ch2800 e 3478 km (isto é, conforme a Opção 2C), porém sem qualquer modificação na estrutura da ponte.

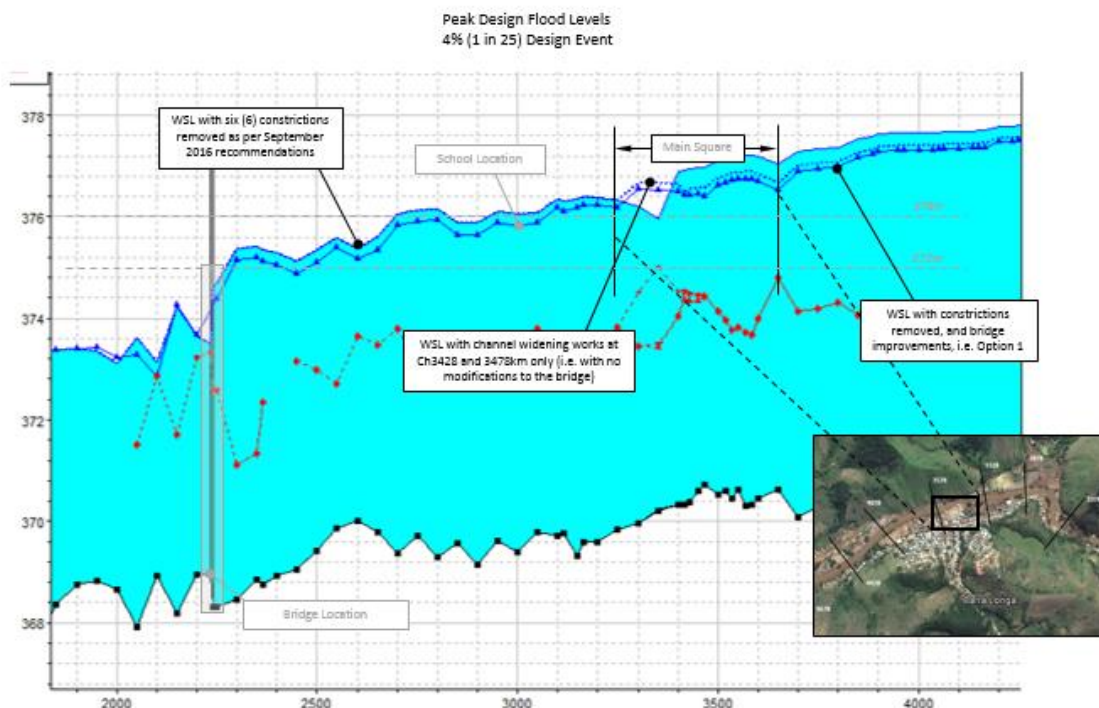


Figura 16: Redução no nível de água resultante somente do alargamento do canal em Ch3428 e 3478 km (isto é, excluindo qualquer modificação na ponte).

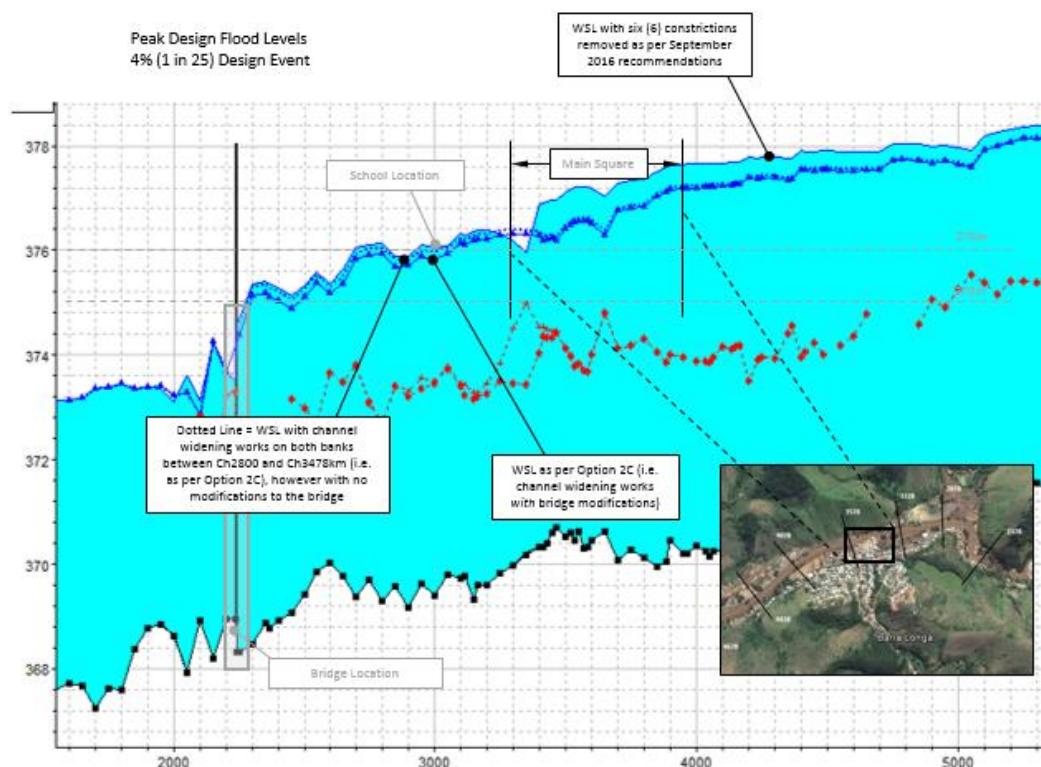


Figura 17: Redução no nível de água resultante somente do alargamento do canal em Ch2800 e 3478 km em ambas as margens do rio (isto é, excluindo qualquer modificação na ponte).

Como mostrado nas Figuras 16 e 17 acima, pode-se concluir o seguinte:

- As modificações na ponte efetivamente proporcionam uma redução mensurável nos níveis de pico de inundação no centro da cidade, em relação a ambos os arranjos do canal (somente) descritos acima. Entretanto, a mudança é pequena e não atinge o nível de proteção desejado para um evento com 25 anos de tempo de retorno;
- As modificações na ponte efetivamente reduzem os níveis de inundação entre a ponte e a praça principal, incluindo o local em que se encontra a escola. Estas reduções no nível de inundação não são obtidas quando as obras no canal se restringem apenas ao alargamento do canal.

Em conclusão, à luz do significativo investimento de capital necessário para se implementar as modificações requeridas na estrutura da ponte, recomenda-se avaliar cuidadosamente o benefício líquido (isto é, em termos de melhoria do nível de proteção) que se pode obter através de alterações importantes na ponte.

Como indicado acima, sabe-se que provavelmente haverá resistência dos órgãos regulatórios a uma proposta de alargamento em grande escala do canal do rio. Portanto, no cômputo geral, considera-se razoável estipular que o caminho mais benéfico a seguir, levando-se em consideração os fatores sociais (isto é, redução no risco de inundação), ambientais (isto é, alterações no canal) e econômicos (isto é, custo de capital associado com as modificações na ponte), é provavelmente o alargamento do canal entre Ch3428 e 3478 km, *excluindo-se* alterações na ponte existente.

4.3 Opção 3 – Muro de Contenção de Inundação

As análises acima enfatizaram que, embora possam ser feitas melhorias no rio do Carmo para reduzir os níveis de inundação no centro da cidade, o nível de proteção desejado para um evento com 25 anos de tempo



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

de retorno não pode ser obtido somente com estas obras. Portanto, é necessário considerar obras complementares adicionais que possam ser implementadas para aumentar o nível de proteção requerido.

Para isto, foi considerada a construção de um muro de contenção de inundação que proporcionaria uma barreira ao longo do rio, impedindo a entrada das águas no centro da cidade. Esta solução não é diferente da avaliação anterior de um muro de contenção realizada em setembro de 2016⁹. Neste caso, entretanto, o muro proporcionará apenas um aumento incremental na proteção contra inundação requerida, isto é, pressupondo-se que os níveis de inundação já tenham sido reduzidos substancialmente através da remoção das seis (6) restrições conforme recomendado em setembro de 2016 e das alterações consideradas acima. Assim, a altura do muro de contenção será consideravelmente menor do que anteriormente estimado.

O muro de contenção seguiria o alinhamento mostrado nas **Figuras 18 e 19** abaixo. A altura do muro de contenção seria entre 750 mm e 1250 mm (incluindo uma borda livre teórica) para proteger todas as propriedades no centro da cidade em um evento com 25 anos de tempo de retorno.

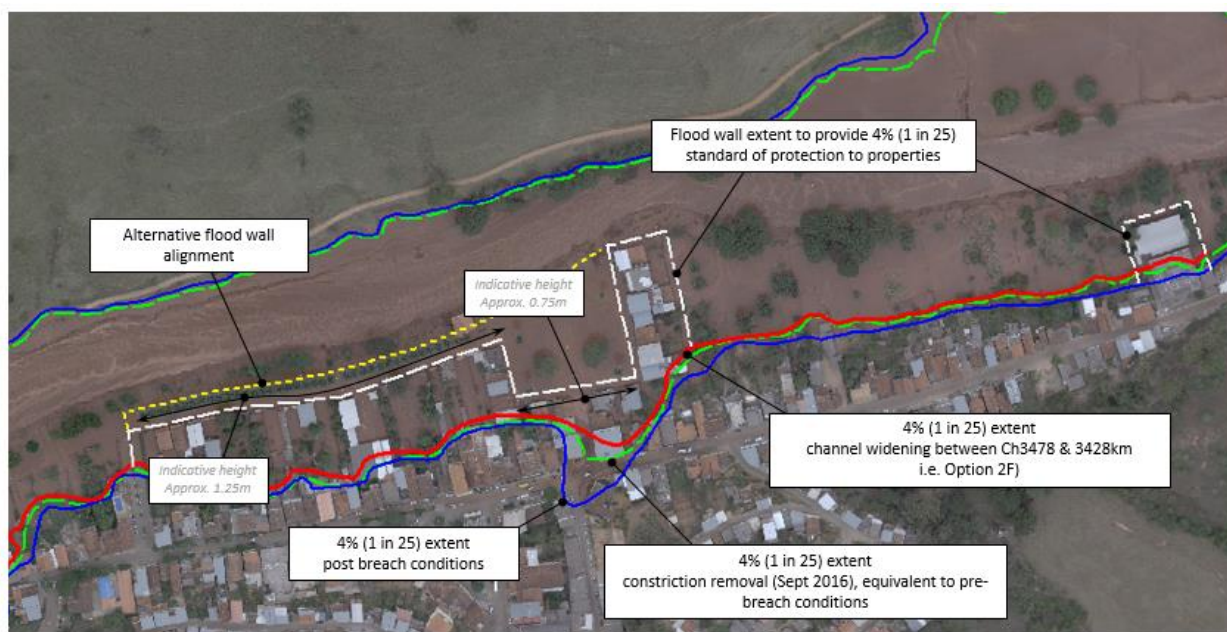


Figura 18: Alinhamento proposto para o muro de contenção (vista em planta).

⁹ Consultar o relatório da Golder Associates intitulado “Desenvolvimento de Opções Viáveis para Mitigar o Risco de Inundação em Barra Longa”, documento número 1663015.502/B.1



Figura 19: Alinhamento proposto para o muro de contenção (elevação).

Uma barreira com esta altura não obstruiria a vista e, portanto, pode ser construída como uma barreira de terra com tratamento paisagístico ou como um muro de blocos (tijolos ou pedra). O “alinhamento alternativo” mostrado na **Figura 18** acima permitirá que esta estrutura permanente seja instalada sem causar problemas em termos de acesso através da estrutura. Será essencial assegurar que a estrutura seja estanque à água e submetida a manutenção adequada, devendo quaisquer aberturas (por exemplo, portões de acesso) ser construídas de modo que elas possam ser lacradas durante condições de inundação.

A fim de evitar uma obstrução permanente entre as propriedades e o rio, pode-se adotar uma barreira temporária. Tal barreira seria como descrito no estudo de setembro de 2016 e mostrado nas fotografias ilustrativas abaixo. Mais uma vez, a altura máxima do muro ficaria entre 750 mm e 1250 mm. Nesta situação, seria essencial que alguma entidade se responsabilizasse pela instalação, desmontagem e armazenagem segura da estrutura.

Note-se que, em setembro de 2016, solicitamos várias propostas preliminares para o fornecimento de um arranjo de contenção temporário (para Barra Longa) similar àqueles mostrados nas fotografias abaixo. Estas estimativas de custo podem ser fornecidas mediante solicitação.



Figura 20: Arranjo temporário de muro de contenção.

4.4 Opção 4 – Reservatório a Montante

Discussões anteriores com a Samarco em relação à possibilidade de se instalar um reservatório a montante como uma opção para mitigar o risco de inundação em Barra Longa destacaram claramente as preocupações, muito compreensíveis, relativas à construção de uma barragem a montante da cidade. Consequentemente, a implementação de um grande reservatório a montante não foi considerada mais detalhadamente.

Entretanto, foi considerada uma série de medidas adicionais para reduzir ainda mais os níveis de inundação em um evento com 25 anos de tempo de retorno em Barra Longa, incluindo um alargamento significativo do canal, remoção de constrições a jusante e modificações no arranjo da ponte. Como demonstrado nas seções acima, nenhuma delas é eficaz em eliminar inteiramente o risco de inundação no centro da cidade em um evento com 25 anos de tempo de retorno. Consequentemente, as únicas opções alternativas viáveis para mitigar totalmente o risco de inundação neste caso são uma barreira (isto é, conforme a Opção 3) ou uma atenuação a montante para reduzir o pico da inundação passando a jusante.

As análises das opções de mitigação potencial conforme os cenários 1 e 2 acima demonstraram que a implementação das opções de mitigação propostas proporcionará um nível de proteção para eventos com 10 anos de período retorno para todas as propriedades, exceto um número bem pequeno de propriedades ao longo do rio. Isto é ilustrado na **Figura 21** abaixo.



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

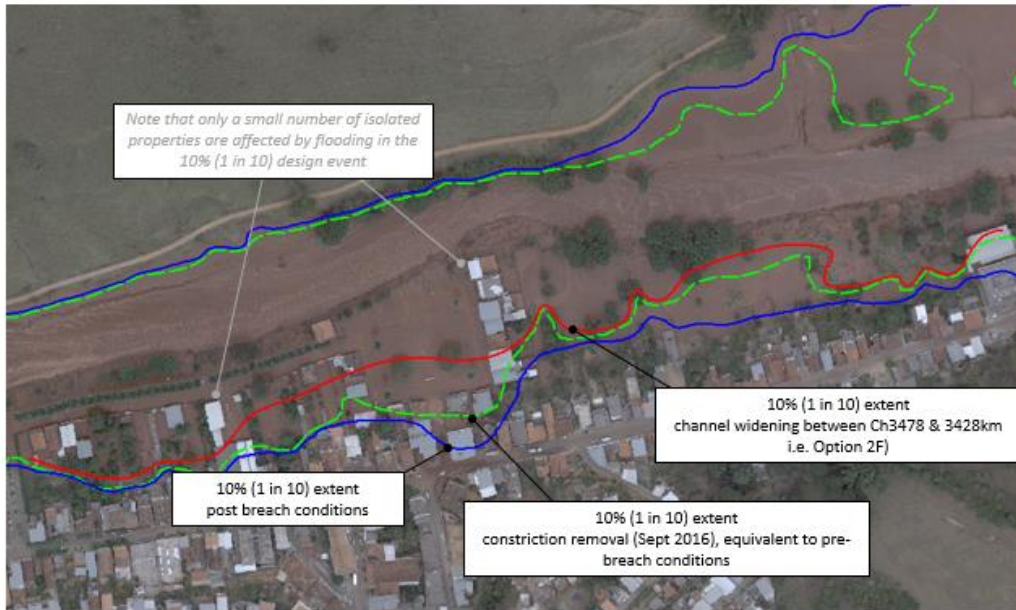


Figura 21: Propriedades em risco em um evento com 10 anos de tempo de retorno.

Portanto, pode-se concluir que, se conseguirmos reduzir a vazão de pico em um evento com 25 anos de tempo de retorno no rio do Carmo para o equivalente a um evento com 10 anos de tempo de retorno, então a cidade estará protegida.

Para isto, foi feita uma análise para estabelecer que volume de armazenagem seria necessário para reduzir o pico de vazão de 765 m³/s (isto é, a vazão de pico para um evento com 25 anos de tempo de retorno) para 590 m³/s (isto é, a vazão de pico para um evento com 10 anos de tempo de retorno) O volume requerido é indicado pela diferença na área entre os dois hidrográficos associados, como mostrado na **Figura 22** abaixo, equivalente a aproximadamente 4.500.000 m³.

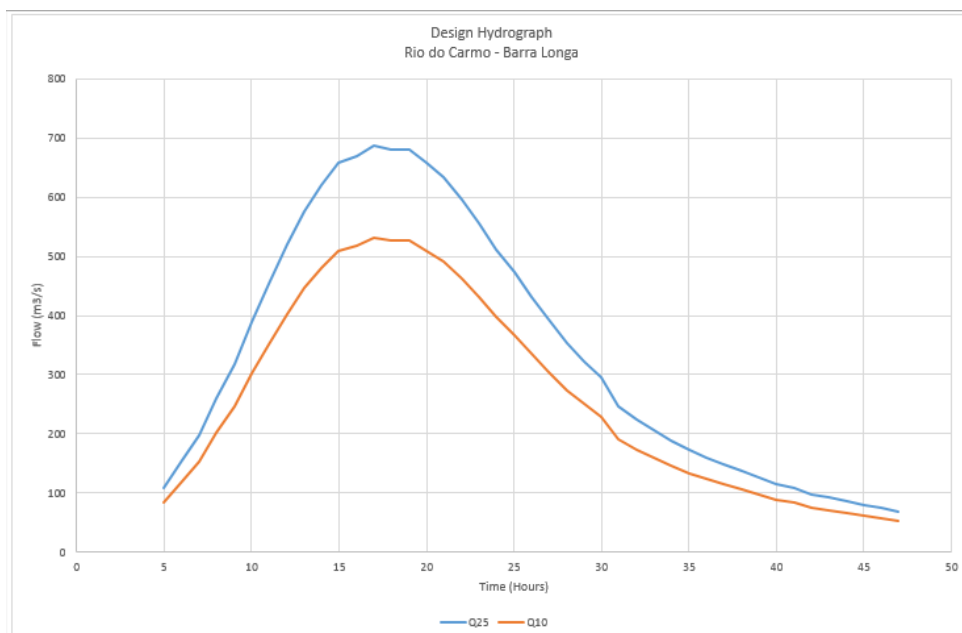


Figura 22: Hidrográficos de vazão



OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

Adotando-se GIS como a base para avaliar potenciais locais para um reservatório de contenção de inundação, foram identificados vários possíveis locais ao longo do rio Gualaxo do Norte e do rio do Carmo. Visando otimizar os benefícios do reservatório, é necessário assegurar que a barragem esteja situada o mais próximo possível (com segurança) de Barra Longa. Além disso, é preferível que o reservatório seja construído no rio do Carmo (isto é, a montante da confluência com o rio Gualaxo do Norte), que é o maior dos dois rios contribuintes para a vazão no centro da cidade.

Conseqüentemente, o local indicado na figura abaixo foi identificado para possível avaliação, estando situado aproximadamente 4 km a montante de Barra Longa. A altura requerida da estrutura de contenção seria de cerca de 3 m, correspondendo a um modesto açude e não a uma barragem. O risco potencial de uma rápida inundação na cidade como resultado de um rompimento catastrófico da estrutura seria insignificante.

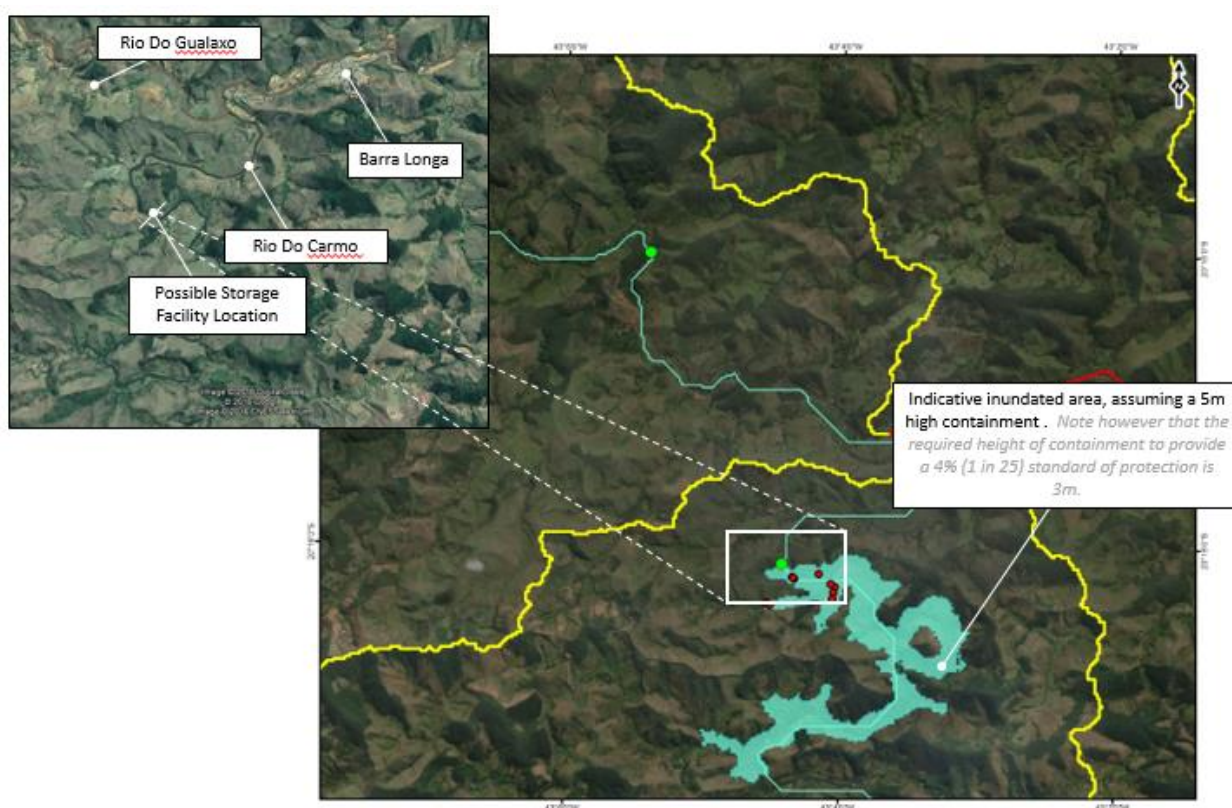


Figura 23: Possível local para reservatório de contenção de inundação.

Em conclusão, embora seja inteiramente compreensível e aceito que a comunidade possa levantar preocupações iniciais em relação a uma grande barragem a montante, trata-se aqui de uma estrutura modesta (com altura de aproximadamente 3 m) que atenuará a vazão de pico a jusante.

Uma avaliação qualitativa inicial da topografia indica que o risco potencial de uma falha catastrófica de uma estrutura deste tipo não afetará adversamente a cidade nem causará danos significativos ao meio ambiente circundante. Assim, o reservatório a montante reduzirá o risco residual de uma rápida inundação resultante de um colapso por razões de engenharia (isto é, em comparação com um muro de contenção) e proporcionará o nível de proteção desejado para um evento com 25 anos de tempo de retorno.

Esta opção, como uma medida complementar em acréscimo às mudanças primárias indicadas nas opções para o centro da cidade, é conseqüentemente recomendada para avaliação adicional pela Samarco.



4.5 Opção 5 – Proteção em Nível de Propriedade

Como descrito nas discussões acima e demonstrado na **Figura 24** abaixo, existe um pequeno número de propriedades situadas imediatamente adjacentes ao rio e (com base em informações de levantamentos atuais disponíveis) encontram-se em uma elevação cerca de 1 m abaixo das casas vizinhas. Como consequência, estas casas continuarão sob risco de inundação, independentemente das medidas que forem implementadas em outras partes.

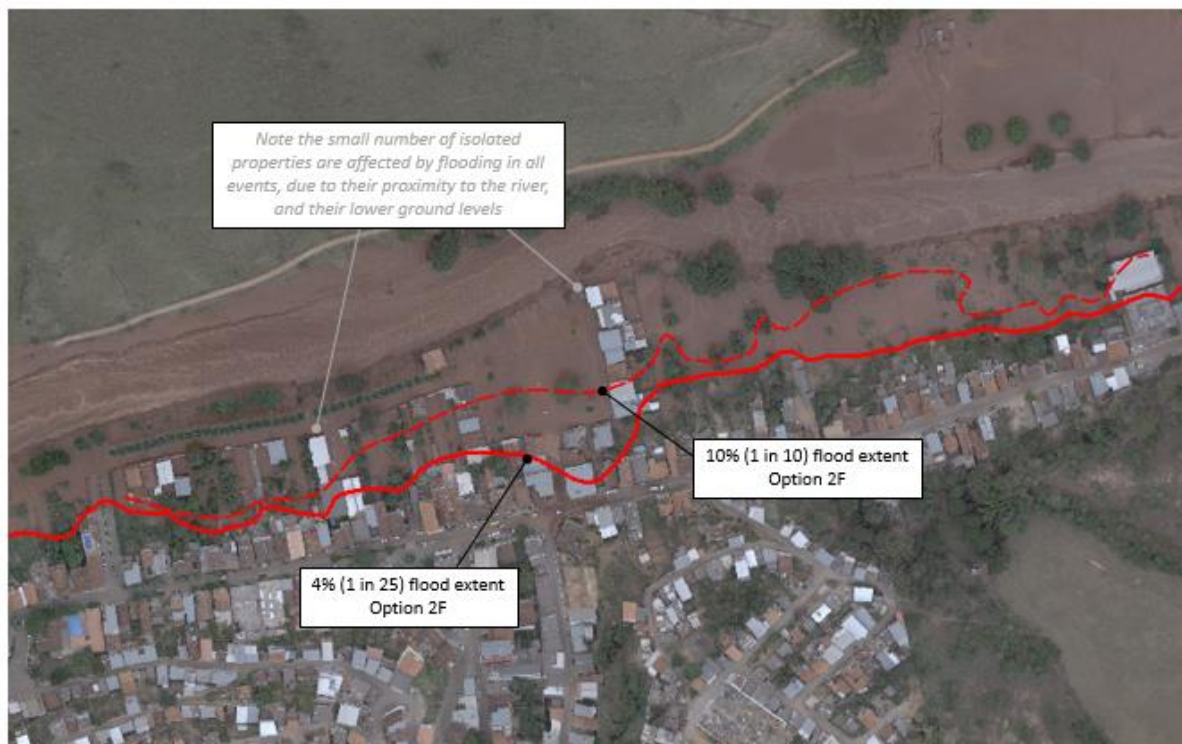


Figura 24: Extensão de inundação – Eventos com tempo de retorno de 10 e 25 anos.

As análises demonstraram que não existe nenhuma engenharia viável disponível que reduza os níveis de inundação no rio do Carmo de modo suficiente para proteger contra inundação em um evento de retorno de 10 anos ou de 25 anos.

Para assegurar que estas casas e comércio tenham um nível de proteção apropriado, recomenda-se a adoção de medidas em nível de propriedade individual, incluindo (por exemplo):

- Utilização de barreiras nas portas e janelas (ver **Figura 25**);
- Elevação da fiação elétrica dentro das edificações acima do nível de inundação;
- Instalação de uma camada impermeável (por exemplo, pintura ou membrana) na fachada externa da edificação, até o nível da inundação;
- Instalação de “batentes” nas tubulações para evitar o retorno de água para dentro das edificações.

Em um evento com 25 anos de tempo de retorno, a profundidade de inundação máxima indicativa nestas propriedades isoladas será de cerca de 1,25 m após a implementação das medidas de melhoria. Isto pressupõe que o atual levantamento topográfico seja indicativo das elevações do terreno após a restauração da praça principal (isto é, elevação do terreno situado em 375 m).



Figura 25: Proteção em nível de propriedade individual.

5.0 IMPACTOS PARA OUTRAS PARTES INTERESSADAS

Um aspecto-chave de quaisquer obras propostas para a calha do rio do Carmo é não apenas o impacto benéfico para as propriedades localizadas no centro da cidade propriamente dito, mas também quaisquer mudanças potencialmente adversas para outras partes interessadas situadas a montante e/ou a jusante da área de interesse.

A apresentação dos resultados neste relatório objetivou auxiliar na interpretação destes impactos potenciais, fornecendo uma representação gráfica das mudanças nos níveis de inundação tanto a montante como a jusante da praça principal. Segue um resumo das principais conclusões:

- Como se pode ver em cada perfil longitudinal apresentado nas seções acima, não há nenhuma alteração nos níveis de inundação a jusante da ponte nas Opções 1, 2 (todas) ou 3. Portanto, não há qualquer impacto adverso para as propriedades a jusante de Barra Longa;
- Propriedades situadas em Barra Longa e a montante da praça principal (e, portanto, não incluídas nas figuras acima) foram consideradas como parte integrante das análises apresentadas. Em cada caso, há uma redução benéfica líquida na frequência e profundidade de inundação, onde se sabe que uma propriedade historicamente estava sujeita ao risco de inundação;
- A Opção 4 (isto é, reservatório de inundação) reduzirá a vazão de pico (e o volume de inundação) que passará a jusante no rio do Carmo. Isto reduzirá não apenas os níveis de pico de inundação em Barra Longa propriamente dita, mas também a jusante da ponte, constituindo uma opção potencialmente benéfica para as propriedades a jusante;
- Embora a Opção 4 (reservatório de contenção) não seja uma estrutura hidráulica significativa, ela resultará em um represamento permanente a montante da obra, reduzindo a frequência e os volumes de inundação a jusante. Caso esta seja considerada uma opção viável para análise adicional, será necessário avaliar os impactos ambientais potenciais de tais alterações sobre o regime de vazão.



6.0 ELEVAÇÃO DOS NÍVEIS DO TERRENO AO REDOR DE BARRA LONGA

As obras de remediação executadas pela Samarco na calha do rio do Carmo incluíram a deposição e o paisagismo de materiais escavados em outros locais do canal e das planícies aluviais. Isto resultou em uma elevação dos níveis do terreno em locais específicos adjacentes ao rio em Barra Longa e nas vizinhanças de Barra Longa.

O impacto dos níveis elevados do terreno sobre o regime de inundação em Barra Longa foi modelado usando o modelo HEC-RAS de estado estacionário do rio do Carmo, podendo-se confirmar que não há nenhum impacto sobre os níveis de pico de inundação como resultado destas mudanças.

7.0 RESUMO DAS CONCLUSÕES

Um resumo das principais conclusões deste estudo é apresentado a seguir:

- **Opção 1 (Alargamento da Ponte).** Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado da Opção 1:
 - As obras propostas reduzirão adicionalmente os níveis de inundação¹⁰ para um evento com 25 anos de tempo de retorno em aproximadamente 350 mm imediatamente a montante da estrutura e em aproximadamente 150 mm no centro da cidade (isto é, próximo à praça principal);
 - O nível reduzido do pico de inundação nas vizinhanças da praça principal varia de 376 m a 377 m como resultado das obras de alargamento da ponte. Isto não resolve o risco de inundação em todas as propriedades;
 - Os benefícios hidráulicos que serão obtidos como resultado do alargamento da ponte no centro da cidade são limitados pela constrição natural do canal do rio existente próximo a Ch3428 – 3478 km;
 - Embora as modificações propostas para a ponte propiciem uma redução nos níveis de pico de inundação no centro da cidade, outras obras complementares serão necessárias para se atingir o nível de proteção desejado de 25 anos de tempo de retorno.
- **Opção 2A (Alargamento da Ponte e do Canal entre Ch3428 e 3478).** Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado da Opção 2A:
 - As obras propostas reduzirão ainda mais os níveis de inundação¹¹ para um evento com 25 anos de tempo de retorno em aproximadamente 500 mm no centro da cidade (isto é, próximo à praça principal);
 - O nível reduzido do pico de inundação nas vizinhanças da praça principal varia entre 376,3 m e 376,5 m como resultado da implementação da Opção 2A;
 - Embora as modificações propostas para a ponte e para o canal proporcionem uma redução adicional nos níveis de pico de inundação no centro da cidade, elas ainda não atingem o nível de proteção desejado de 25 anos de tempo de retorno.
- **Opção 2B (Alargamento da Ponte e do Canal entre Ch2800 e 3478).** Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado da Opção 2B:

¹⁰ Isto é, em comparação com os níveis de pico de inundação obtidos após a remoção das seis (6) constrições conforme recomendado em setembro de 2016

¹¹ Isto é, em comparação com os níveis de pico de inundação obtidos após a remoção das seis (6) constrições conforme recomendado em setembro de 2016 e a remoção da ombreira esquerda da ponte (isto é, Opção 1)



- As obras propostas reduzirão ainda mais os níveis de inundação¹² para um evento com 25 anos de tempo de retorno em aproximadamente 200 mm no centro da cidade (isto é, próximo à praça principal);
- O nível reduzido do pico de inundação nas vizinhanças da praça principal é de aproximadamente 376,2 m como resultado da implementação da Opção 2B. Isto ainda não resolve o risco de inundação em todas as propriedades.
- **Opções 2C, 2D e 2E (Alargamento adicional do canal).** Podem-se fazer as seguintes observações em relação às melhorias que podem ser obtidas como resultado da Opções 2C, 2D e 2E:
 - As obras propostas nas Opções 2C e 2D reduzirão ainda mais os níveis de inundação para um evento com 25 anos de tempo de retorno no centro da cidade, embora em todos os casos o nível de pico de inundação ainda se situe acima de 376 m. Portanto, isto ainda não resolve o risco de inundação para todas as propriedades;
 - Não há nenhum impacto significativo no risco de inundação no centro da cidade como resultado do alargamento do canal a jusante da ponte (isto é, Opção 2E);
 - As obras no canal descritas nas Opções 2C e 2D acima são relativamente significantes, aumentando a largura líquida do rio do Carmo ao longo de 500-600 m do rio em até 20 m. Isto levará a uma “retificação” do canal e, embora a modelagem tenha demonstrado que isto não resultará em nenhuma alteração importante nas velocidades de vazão, considera-se provável que haja resistência dos órgãos regulatórios por razões ambientais. Assim, em vista da redução incremental mínima no nível de pico de inundação (e, por conseguinte, no nível de proteção obtido), considerou-se que as Opções 2C, 2D e 2E não requerem consideração adicional.
- **Opção 2F (Somente Alargamento do Canal).** Podem-se fazer as seguintes observações em relação aos dois cenários modelados que foram avaliados como Opção 2F:
 - As modificações na ponte efetivamente proporcionam uma redução mensurável nos níveis de pico de inundação no centro da cidade, em relação a ambos os arranjos do canal (somente) descritos acima. Entretanto, a mudança é pequena e não atinge o nível de proteção desejado de 25 anos de tempo de retorno;
 - As modificações na ponte efetivamente reduzem os níveis de inundação entre a ponte e a praça principal, incluindo o local em que se encontra a escola. Estas reduções no nível de inundação não são obtidas quando as obras no canal se restringem apenas ao alargamento do canal, embora também neste caso elas não propiciem o nível de proteção desejado de 25 anos de tempo de retorno;
 - Em vista do significativo investimento de capital necessário para se implementar as modificações requeridas na estrutura da ponte, recomenda-se avaliar cuidadosamente o benefício líquido (isto é, em termos de melhoria do nível de proteção) que se pode obter através de alterações importantes na ponte;
 - Como indicado acima, sabe-se que provavelmente haverá resistência dos órgãos regulatórios a uma proposta de alargamento em grande escala do canal do rio. Portanto, no cômputo geral, considera-se razoável estipular que o caminho mais benéfico a seguir é provavelmente o alargamento do canal entre Ch3428 e 3478 km, *excluindo-se* alterações na ponte existente.
- **Opção 3 (Muro de Contenção de Inundação).**
 - Um muro de contenção de inundação constituiria uma barreira para mitigar o risco residual de inundação após a implementação das opções descritas acima. A altura do muro de contenção seria entre 750 mm e 1250 mm (incluindo uma borda livre teórica) para proteger todas as propriedades no centro da cidade para um evento com 25 anos de tempo de retorno.

¹² Isto é, em comparação com os níveis de pico de inundação obtidos após a remoção das seis restrições conforme recomendado em setembro de 2016 e a remoção da ombreira esquerda da ponte (isto é, Opção 1)



■ Opção 4 (Reservatório de Contenção de Inundação).

- Foi demonstrado que, se conseguirmos reduzir a vazão de pico de 25 anos de tempo de retorno no rio do Carmo para o equivalente a 10 anos, a cidade estará em grande parte totalmente protegida. Seria necessário um volume de reservatório a montante de aproximadamente 4.500.000 m³ para facilitar esta redução na vazão de pico;
- Foi identificado um local para possível avaliação, situado aproximadamente 4 km a montante de Barra Longa. A altura requerida da estrutura de contenção seria de cerca de 3 m, correspondendo a um modesto açude e não a uma barragem;
- O risco potencial de uma rápida inundação na cidade como resultado de um rompimento catastrófico da estrutura seria insignificante.

■ Opção 5 (Proteção em Nível de Propriedade).

- As análises demonstraram que não existe nenhuma engenharia viável disponível que reduza os níveis de inundação no rio do Carmo de modo suficiente para proteger contra inundação em um evento com tempo de retorno 10 ou 25 anos;
- Para assegurar que estas casas e comércios tenham um nível de proteção apropriado, recomenda-se a adoção de medidas em nível de propriedade individual;
- Em um evento com 25 anos de tempo de retorno, a profundidade de inundação máxima indicativa nestas propriedades isoladas será de cerca de 1,25 m após a implementação das medidas de melhoria. Isto pressupõe que o atual levantamento topográfico é indicativo dos níveis do terreno após a restauração da praça principal (isto é, nível do terreno situado em 375 m).

8.0 CONCLUSÕES & RECOMENDAÇÕES

Considerando-se os benefícios relativos do ponto de vista técnico (isto é, eficácia das medidas propostas), social (isto é, redução do risco de inundação), ambiental (isto é, mudanças no canal) e econômico (isto é, custos de capital) de todas as medidas consideradas acima, o caminho recomendado a ser seguido é descrito abaixo:

- 1) Implementação do alargamento do canal na margem direita entre Ch3428 e 3478 km, como mostrado na **Figura 6** acima e no **Anexo A**;
- 2) O alargamento da estrutura da ponte *não* é recomendado em vista do custo de capital muito elevado e do benefício relativamente pequeno em termos de níveis de água (isto é, que pode ser alcançado com um melhor custo-benefício por outros meios);
- 3) Serão necessárias medidas adicionais para se atingir o nível de proteção de 25 anos de tempo de retorno em Barra Longa. Recomenda-se avaliar mais detalhadamente o reservatório de contenção a montante como o meio mais eficiente de se obter este ganho adicional, como descrito na Seção 4.4;
- 4) Em adição ao ponto (3) acima, caso se considere que o arranjo descrito na Seção 4.4 é inaceitável (isto é, uma estrutura com 3 m de altura aproximadamente 4 km a montante da cidade), então um muro de contenção com tratamento paisagístico (com altura entre 750 mm e 1250 mm) é recomendado como uma solução alternativa, conforme descrito na Seção 4.3;
- 5) Recomenda-se proteção individualizada para propriedades situadas imediatamente adjacentes ao rio, em terreno mais baixo (conforme indicado pelo levantamento topográfico atualmente disponível);
- 6) Note-se que as obras de remediação recentes na Praça Manoel Lino Elo podem ter alterado os níveis do terreno para as propriedades mencionadas no ponto (5) acima. Por esta razão, pode-se considerar a realização de um levantamento rápido dos níveis do terreno para estabelecer quais propriedades demandarão (ou não) proteção adicional individualizada.



9.0 EQUIPE TÉCNICA

A **Tabela 1** apresenta a equipe técnica chave alocada para a elaboração deste documento.

Tabela 1: Equipe Técnica.

Equipe Técnica	Cargo
Karen Dingley (Revisor)	Eng ^a . Civil
Marcelo Diniz	Eng ^o . Civil
Allan Bronsro	Eng ^o . Civil

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.

Antônio Harley
Gerente do Projeto

AH/KD/acs

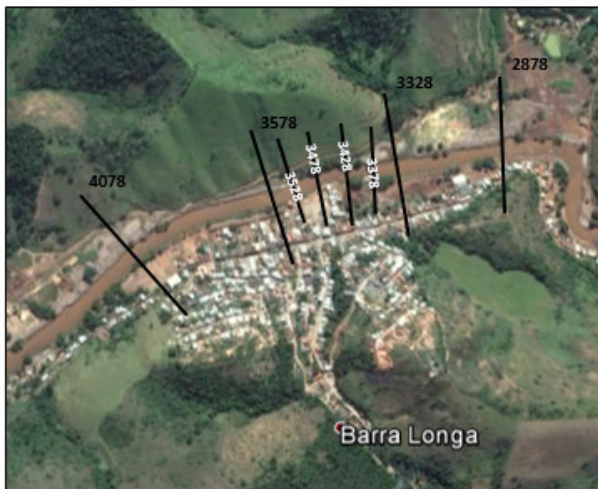
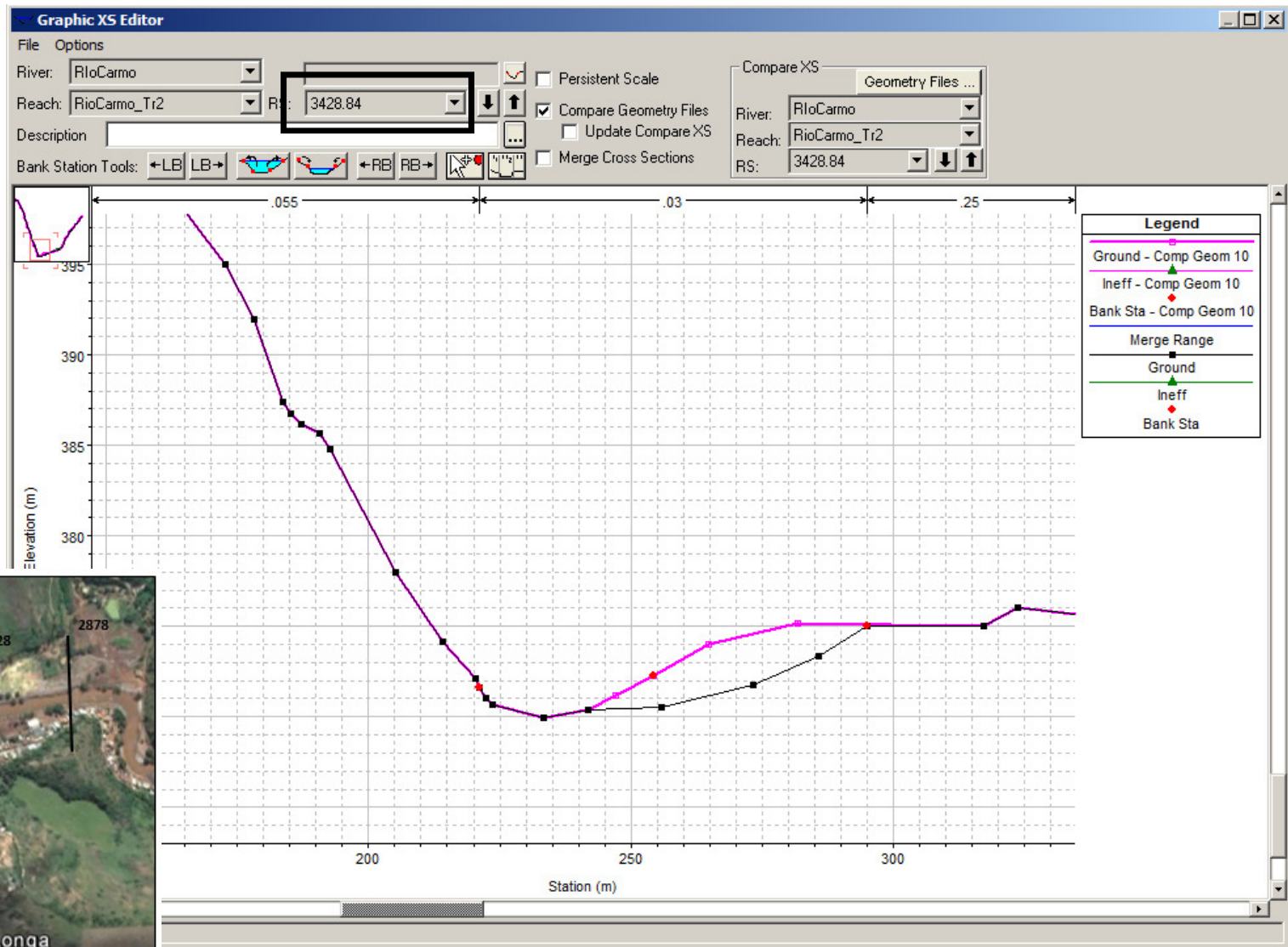
Golder, Golder Associates e os símbolos GA e globo são marcas registradas da Golder Associates Corporation.

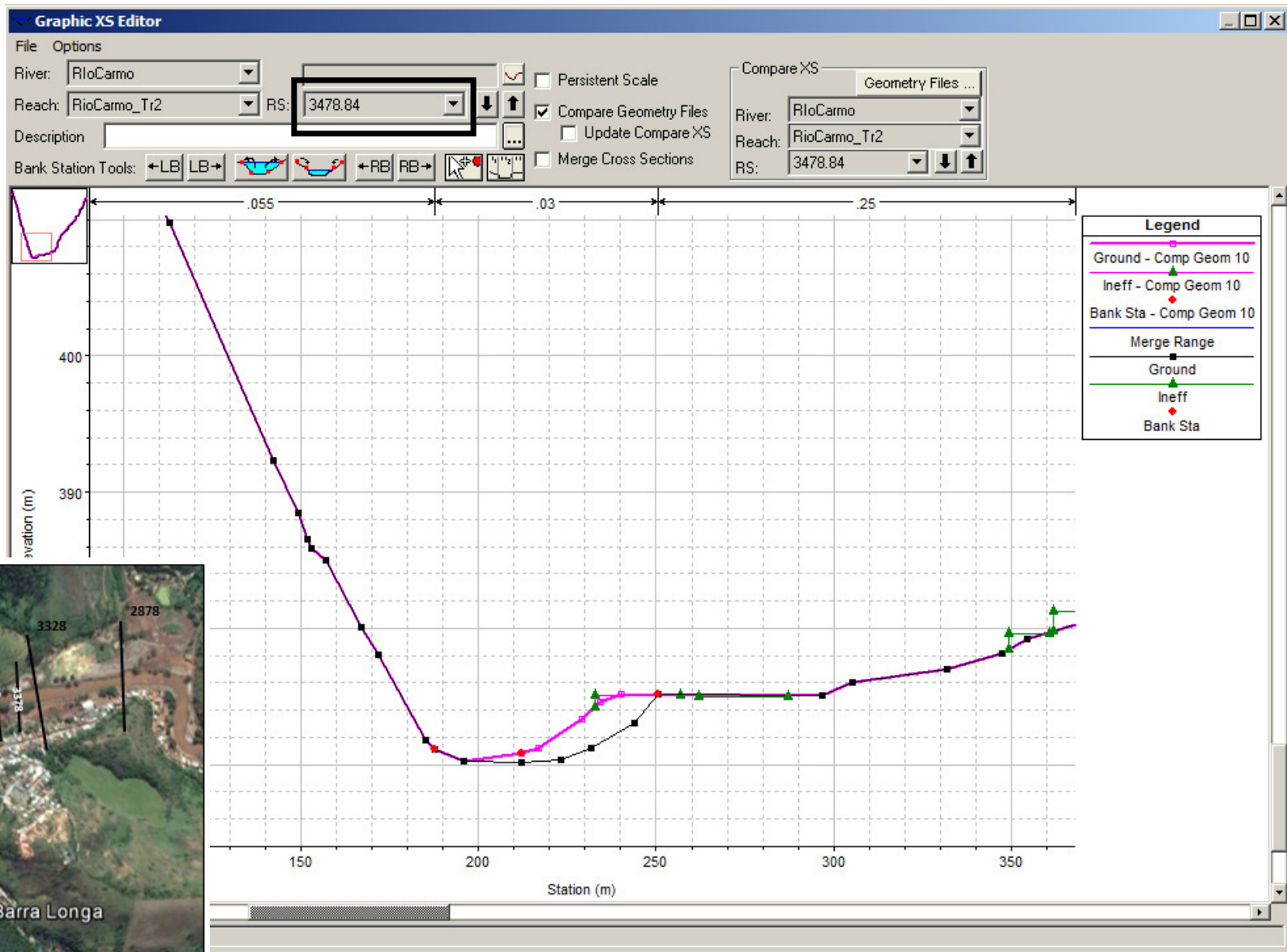
q:\3-projetos\2015\2-meio ambiente\159 515 2282_samarco\3-relatorio\rt - relatório técnico\rt-e-26\g006900-g-1rt080_r-00\1-texto\g006900-g-1rt080.docx

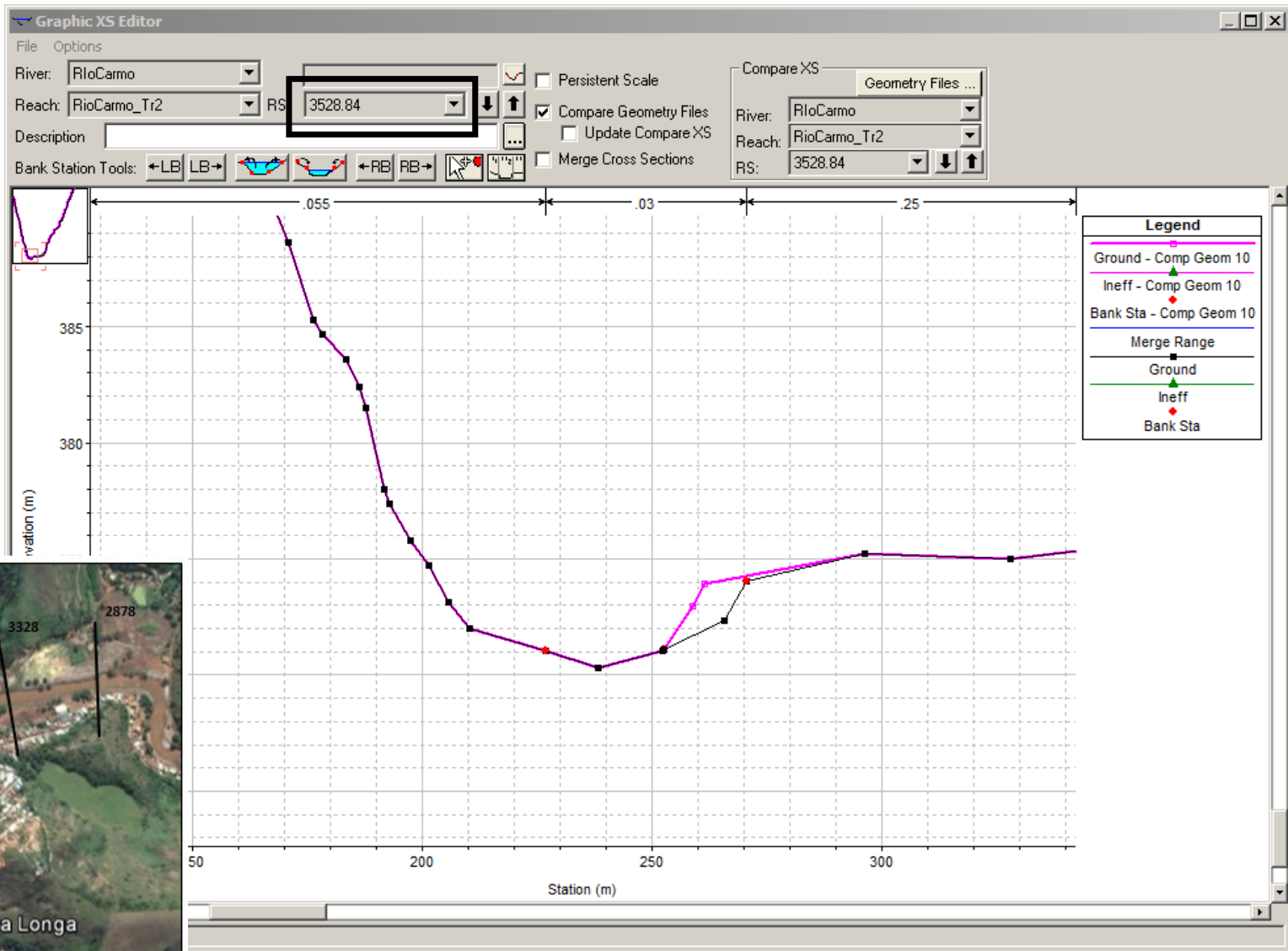


ANEXO A

Modificações no Canal - Ch3428 a 3478 Km







Como uma organização global de propriedade de seus colaboradores e mais de 50 anos de experiência, a Golder Associates é conduzida pelo nosso propósito de apoiar o desenvolvimento e preservar a integridade da Terra. Fornecemos soluções que ajudam nossos clientes a alcançarem seus objetivos de desenvolvimento sustentável, oferecendo-lhes uma ampla gama de serviços independentes de consultoria, projeto e gestão da construção em nossas áreas de especialização da engenharia da terra, do meio ambiente e da energia.

Para maiores informações, visite golder.com

África	+ 27 11 254 4800
Ásia	+ 86 21 6258 5522
Oceania	+ 61 3 8862 3500
Europa	+ 44 1628 851851
América do Norte	+ 1 800 275 3281
América do Sul	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.
Rua Pernambuco, 1000 - 10º andar
Bairro Funcionários
Belo Horizonte - MG
CEP: 30.130-151
Brasil
T: +55 (31) 2121 9800

