



Setembro, 2016

## RELATÓRIO TÉCNICO

# DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

**Preparado para:**

Samarco Mineração S.A.

RELATÓRIO

**Número do Relatório:** RT-E-26-005\_159-515-2282\_00-B/G006900-G-1RT103\_R-00

**Distribuição:**

01 e-cópia para Samarco Mineração S.A.

01 e-cópia para Golder Associates Brasil

Consultoria e Projetos Ltda





## ÍNDICE

<b>1.0 CONTEXTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 BASE PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS E DO IMPACTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>3.0 AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
3.1 Opção 1 – Dragagem .....	8
3.1.1 Avaliação (Dragagem) .....	8
3.1.2 Conclusão (Dragagem) .....	9
3.2 Opção 2 – Dique de contenção .....	11
3.2.1 Avaliação (dique de contenção).....	11
3.2.2 Conclusão (dique de contenção) .....	12
3.3 Opção 3 – Remoção de Constrições a Jusante.....	13
3.3.1 Avaliação (Remoção de Constrição).....	13
3.3.2 Conclusão (remoção de constrição).....	16
3.4 Opção 4 (Reservatório para atenuação de pico a montante) .....	16
<b>4.0 RESUMO DA AVALIAÇÃO INICIAL DE VIABILIDADE DAS OPÇÕES.....</b>	<b>18</b>
<b>5.0 PROCEDIMENTO RECOMENDADO – REMOÇÃO DE CONSTRIÇÕES A JUSANTE .....</b>	<b>19</b>
5.1 Modelagem Hidráulica da Remoção de Constrição.....	19
5.2 Melhoria Estimada no Nível de Proteção de Barra Longa .....	24
5.3 Medidas Adicionais Necessárias .....	27
5.4 Procedimento Recomendado .....	28
<b>6.0 EQUIPE TÉCNICA.....</b>	<b>28</b>
<b>7.0 REFERENCIAS .....</b>	<b>29</b>

## TABELAS

Tabela 1: Resumo dos níveis de pico das cheias .....	7
Tabela 2: Redução nos níveis de pico de cheia alcançada com a dragagem.....	10
Tabela 3: Altura prevista do dique requerida em Barra Longa. ....	11
Tabela 4: Redução indicativa dos níveis de pico de cheia no centro da cidade de Barra Longa, resultante da remoção de constrições a jusante (avaliação inicial). ....	15
Tabela 5: Vazões de pico (m <sup>3</sup> /s) – Rio do Carmo em Barra Longa. ....	17
Tabela 6: Ordem de grandeza do volume de reservatório necessário para atenuar as cheias até a defluência da vazão de Q5 a jusante. ....	18
Tabela 7: Resumo de resultados – Remoção de constrições. ....	21



Tabela 8: Resumo dos níveis de pico de cheia (mAOD) – Avaliação detalhada da remoção de constrições.....	26
Tabela 9: Equipe Técnica.....	28

### FIGURAS

Figura 1: Layout do modelo HecRAS (a montante da ponte de Barra Longa). ....	4
Figura 2: Layout do modelo HecRAS (a jusante da ponte de Barra Longa). ....	4
Figura 3: Constrições removidas em XS 2728 e XS 3428. ....	5
Figura 4: Extensão da inundação no centro da cidade de Barra Longa.....	6
Figura 5: Regime de dragagem previsto. ....	9
Figura 6: Possíveis alinhamentos de dique de contenção (Barra Longa. ....	11
Figura 7: 7A (Talude típico) e 7B (parede de contenção típica). ....	12
Figura 8: Localização de constrições naturais consideradas para remoção. ....	13
Figura 9: Fotografias de constrições consideradas para remoção. ....	14
Figura 10: Arranjo de corta-rio típico. ....	16
Figura 11: Estimativa baseada em hidrograma simples (Rio do Carmo). ....	17
Figura 12: Localização de constrições avaliadas para remoção. ....	20
Figura 13: 1 evento em 10 anos. (Linha Azul: Antes das obras; Mancha amarela: após obras).....	24
Figura 14: 1 evento em 25 anos.....	25
Figura 15: 1 evento em 100 anos.....	25
Figura 16: Rio do Carmo (Barra Longa). ....	27
Figura 17: Locais indicativos para a construção de corta-rios.....	27

### ANEXOS

#### Anexo A

Fotografias

#### Anexo B

Mudanças na Seção Transversal (Remoção de Constrições a Jusante)

#### Anexo C

Manchas de Inundação



### 1.0 CONTEXTO

A Golder Associates entende que a Samarco se comprometeu a abordar a questão do aumento do risco de inundação como resultado da deposição de rejeitos e sedimentos no Rio do Carmo depois do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão.

Uma análise inicial do impacto da deposição sobre os níveis de inundação em Barra Longa foi realizada em Junho de 2016 (ver *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), proporcionando a base para uma consideração inicial das possíveis opções que poderiam estar disponíveis para mitigar o aumento no risco de inundação.

A partir de discussões com a Samarco em 12 de agosto de 2016, entendemos que a dragagem do rio do Carmo está sendo cuidadosamente considerada. A intenção, neste caso, consiste em devolver o fundo do canal ao longo de Barra Longa aos níveis existentes antes do rompimento, visando assim abordar a questão do aumento na profundidade e frequência de inundação na cidade como resultado do material depositado.

Conforme destacado na reunião de 12 de agosto de 2016, a equipe de projeto da Golder Associates tem ressalvas quanto à eficácia da dragagem como uma solução para o problema em questão pelas seguintes principais razões:

- 1) A dragagem perturbará o leito do canal e remobilizará os sedimentos e rejeitos depositados, o que, por sua vez, aumentará substancialmente os níveis de turbidez tanto no local como a jusante;
- 2) Embora estejam sendo executados trabalhos a montante para reduzir os níveis de sólidos suspensos que se propagarão ao longo do rio na próxima estação chuvosa, o sistema fluvial é dinâmico e moverá sedimentos como parte de seu processo geomorfológico natural. Consequentemente, o vazio que será criado no leito do canal como resultado da dragagem em Barra Longa será, muito provavelmente, preenchido novamente com sedimento carregado pelo rio em um período de tempo relativamente curto. Portanto, se a dragagem vier a ser adotada como a solução preferencial, seria necessário assumir um compromisso de realizar a remoção do material do leito regularmente (anualmente);
- 3) Os níveis de inundação em Barra Longa são controlados hidraulicamente por constrições naturais que ocorrem no ponto de travessia da ponte na porção a jusante da cidade. Consequentemente, considera-se que é improvável que a dragagem melhore significativamente o padrão de proteção em Barra Longa.

Em respostas às preocupações manifestadas, a Samarco solicitou uma análise de possíveis opções alternativas que possam estar disponíveis para mitigar o aumento no risco de inundação em Barra Longa. Este memorando técnico apresenta as conclusões da investigação realizada.

### 2.0 BASE PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS E DO IMPACTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO

Foi desenvolvido um modelo de estado estacionário HecRAS como parte do estudo realizado pela Golder Associates Brasil em junho de 2016<sup>1</sup>, o qual foi adotado como base para esta análise das possíveis alternativas de mitigação. A **Figura 1** abaixo apresenta uma visão geral do layout do modelo.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA



Figura 1: Layout do modelo HecRAS (a montante da ponte de Barra Longa).



Figura 2: Layout do modelo HecRAS (a jusante da ponte de Barra Longa).

Em 11 de agosto de 2016, foi feita uma caminhada de inspeção no local e uma análise do modelo HecRAS para assegurar se ele refletia adequadamente as condições físicas em Barra Longa. Foram feitas duas modificações no arranjo do modelo “afetado” (i.e. depois do rompimento) em função das observações feitas no campo. Elas consistiram de:

Setembro, 2016

Nº do Relatório: RT-E-26-005\_159-515-2282\_00-  
B/G006900-G-1RT103\_R-00





- A remoção de uma restrição modelada em XS 2728 (XS: seção transversal). Ficou evidente no campo e também a partir de uma fotografia aérea<sup>2</sup> do rio que a restrição que havia sido modelada neste local não mais existe no sistema. A topografia do XS não foi alterada a partir das informações geofísicas coletadas em março de 2016<sup>3</sup>. Entretanto, os marcadores nas margens foram corrigidos de modo a refletir mais precisamente as extensões direita e esquerda do canal do rio.
- A remoção de uma restrição modelada em XS 3428. Ficou evidente no campo e também a partir de uma fotografia<sup>2</sup> do rio que a restrição que havia sido modelada neste local é agora menos evidente no sistema físico do que era refletido no arranjo modelado em junho de 2016. Portanto, mais uma vez, a topografia do XS não foi alterada em relação às informações geofísicas coletadas em março de 2016<sup>3</sup>. Entretanto, os marcadores nas margens foram corrigidos de modo a refletir mais precisamente as extensões direita e esquerda do canal do rio.

As locações de XS 2728 e XS 3428 são ilustradas graficamente na figura abaixo.



*Figura 3: Condições removidas em XS 2728 e XS 3428.*

A remoção destas condições resultou em uma redução dos níveis de pico de cheia previstos no projeto associados com o arranjo “afetado” (depois do rompimento). Entretanto, esta é considerada uma descrição mais acurada do risco de inundação em Barra Longa a partir de agosto de 2016, sendo, por conseguinte, adotados como base para o desenvolvimento de possíveis opções de mitigação no rio.

Um resumo dos níveis de pico de cheia para Barra Longa a partir de agosto de 2016 é apresentado na **Tabela 1** abaixo, proporcionando uma comparação com as condições de cheia “natural” (antes do rompimento) e com os resultados de junho de 2016, para fins de referência. A **Figura 4** abaixo mostra uma visão geral da extensão da inundação na cidade.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

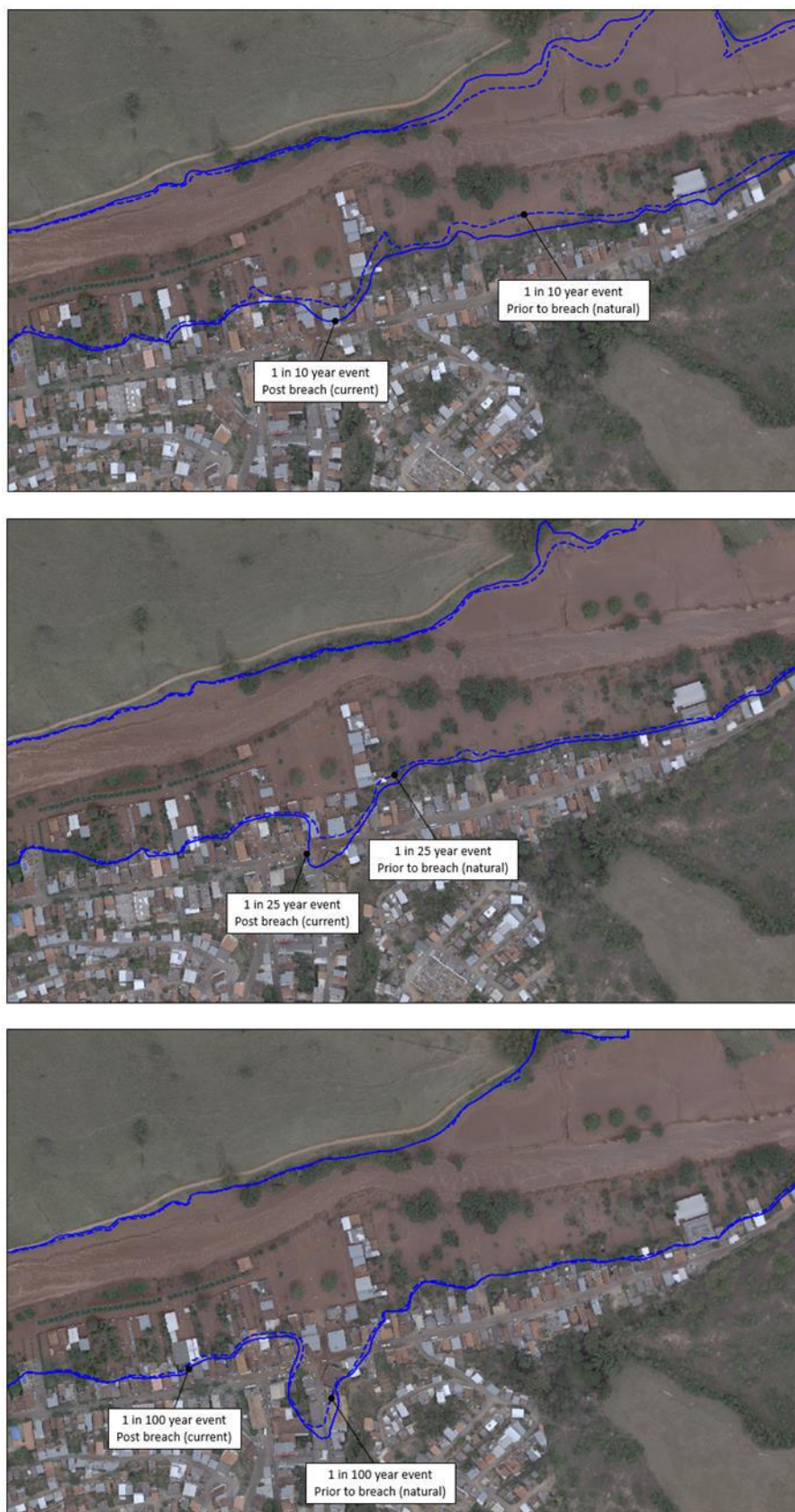


Figura 4: Extensão da inundação no centro da cidade de Barra Longa.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

**Tabela 1: Resumo dos níveis de pico das cheias**

XS ID	Nível do Fundo (m)	Q2 = 289,8m³/s			Q10 = 592,4m³/s			Q25 = 764,6m³/s			Q50 = 894,9m³/s			Q100 = 1025,2m³/s		
		NA Natural (m)	NA Afetado (m)	Alteração (m)	NA Natural (m)	NA Afetado (m)	Alteração (m)	NA Natural (m)	NA Afetado (m)	Alteração (m)	NA Natural (m)	NA Afetado (m)	Alteração (m)	NA natural (m)	NA Afetado (m)	Alteração (m)
5830	369,01	375,58	376,18	0,60	377,72	378,46	0,74	378,74	379,42	0,68	379,49	380,10	0,61	380,25	380,75	0,50
5728	369,53	375,54	376,18	0,64	377,66	378,42	0,76	378,68	379,37	0,69	379,41	380,04	0,63	380,17	380,69	0,52
5378	370,89	375,29	375,79	0,50	377,35	378,00	0,65	378,34	378,93	0,59	379,07	379,59	0,52	379,82	380,23	0,41
4978	370,77	374,97	375,53	0,56	377,06	377,75	0,69	378,05	378,66	0,61	378,79	379,31	0,52	379,55	379,95	0,40
4678	370,21	374,86	375,40	0,54	376,99	377,65	0,66	378,00	378,56	0,56	378,74	379,22	0,48	379,50	379,85	0,35
4428	369,71	374,74	375,31	0,57	376,91	377,58	0,67	377,93	378,53	0,60	378,68	379,19	0,51	379,47	379,85	0,38
4078	369,84	374,57	375,16	0,59	376,77	377,46	0,69	377,79	378,40	0,61	378,54	379,06	0,52	379,32	379,72	0,40
3578	369,89	373,97	374,85	0,88	375,99	377,09	1,10	376,98	377,99	1,01	377,77	378,62	0,85	378,61	379,27	0,66
3328	369,52	373,58	374,00	0,42	375,7	376,2	0,50	376,8	377,24	0,44	377,66	377,98	0,32	378,56	378,71	0,15
2878	368,49	373,4	373,77	0,37	375,6	376,01	0,41	376,73	377,10	0,37	377,62	377,88	0,26	378,54	378,63	0,09
2378	366,96	372,03	373,12	1,09	374,33	375,21	0,88	375,44	376,25	0,81	376,22	377,00	0,78	376,97	377,73	0,76

Sendo:

XS ID: Identificação da seção transversal;

NA: Elevação do nível de Água;

Q2, Q10, Q25, Q50 & Q100: Vazão com tempo de retorno de 2, 10, 25, 50 e 100 anos respectivamente.





A praça principal (Praça Manoel Lino Elo) em Barra Longa está situada na elevação aproximada de 375,0 a 375,5 m. A modelagem, portanto, indica que, nas condições “naturais” (antes do rompimento), algumas propriedades ao longo do rio e ao redor da Praça Manoel Lino Elo serão inundadas em um evento de retorno de 10 anos (isto é, probabilidade de 10% de inundação em qualquer ano). Entretanto, a maioria das edificações em Barra Longa está situada acima da praça principal e somente serão afetadas por inundação em um evento de retorno de 25 anos (isto é, 4% de probabilidade de inundação em qualquer ano).

A deposição de material ocorrida após o rompimento Barragem de Rejeitos de Fundão resultou em um aumento na profundidade e frequência de inundação. Se não forem adotadas medidas de mitigação, a inundação agora afetaria propriedades situadas na parte mais baixa ao longo do rio no evento de retorno de 5 anos (isto é, 20% de probabilidade de inundação em qualquer ano). Propriedades que anteriormente (i.e. antes do rompimento) não seriam afetadas a não ser em um evento de retorno de 25 anos serão agora impactadas no evento de retorno de 10 anos.

### 3.0 AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO

Em função da visita ao local em 11 de agosto de 2016, foram avaliadas quatro (4) alternativas potenciais de mitigação de inundação. Elas são:

- 1) Dragagem do canal através de Barra Longa;
- 2) Construção de um dique elevado ao longo do rio em Barra Longa;
- 3) Remoção de constrições localizadas do canal a jusante;
- 4) Construção de uma bacia de atenuação (reservatório para atenuação de pico) a montante.

Uma visão geral das alternativas, de sua eficácia em minimizar o risco de inundação em Barra Longa e das potenciais implicações de sua instalação (isto é, os prós e os contras) estão resumidos abaixo.

#### 3.1 Opção 1 – Dragagem

##### 3.1.1 Avaliação (Dragagem)

A Opção 1 considera a remoção de sedimentos e rejeitos depositados no leito do canal do rio do Carmo. Em discussão com a Samarco, entendeu-se que se propõe realizar esta dragagem ao longo do rio no trecho em que ele corta a cidade de Barra Longa. Portanto, para fins de modelagem, esta opção foi considerada como o rebaixamento do nível do leito do rio “afetado” (depois do rompimento) em aproximadamente 1,5 m em toda a largura do canal entre XS 4078 e XS 2878, como ilustrado na **Figura 5** abaixo.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

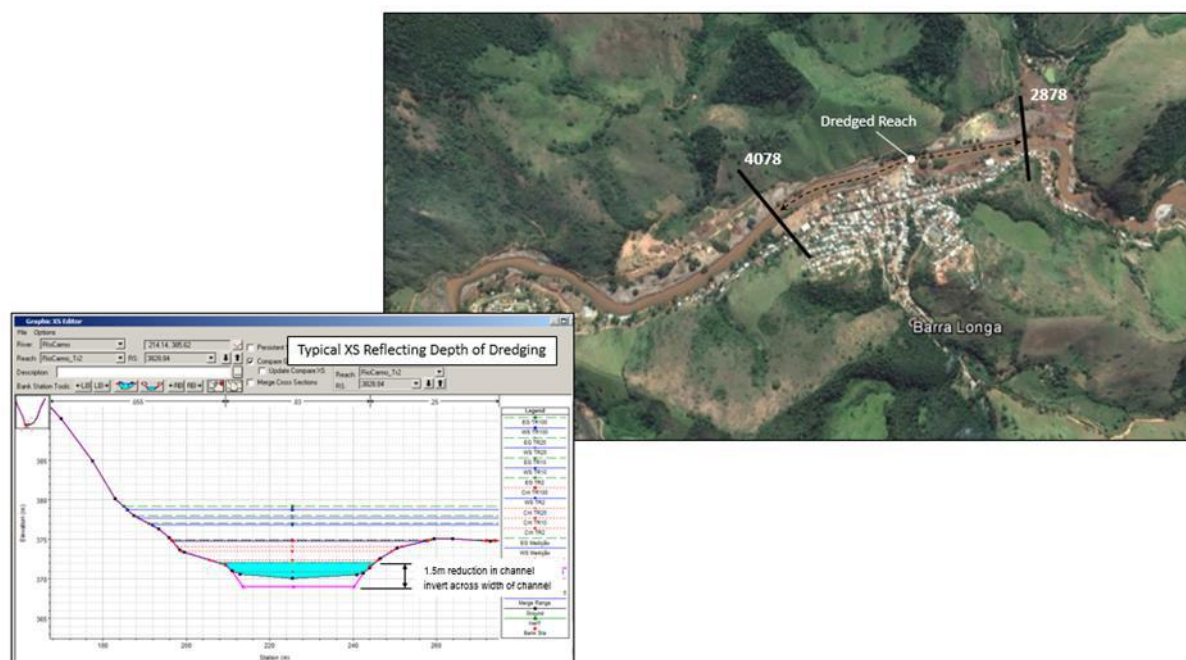


Figura 5: Regime de dragagem previsto.

A redução dos níveis de pico de cheia que pode ser obtida mediante a dragagem do canal do rio para remover uma profundidade de 1,5 m de sedimentos e rejeitos depositados é resumida na **Tabela 2** abaixo.

### 3.1.2 Conclusão (Dragagem)

Em resumo, o limite de cheia em Barra Longa após a dragagem permanecerá um evento de retorno de 10 anos (isto é, 10% de probabilidade de inundação em qualquer ano).

Entretanto, como ressaltado acima, a remoção mecânica de material do leito do canal remobilizará os sedimentos e rejeitos depositados e isto, por sua vez, terá um impacto significativo sobre os níveis de turbidez tanto no local como a jusante. Além disso, é muito importante também reconhecer que a dragagem terá que ser feita todo ano, a fim de manter a redução do nível do fundo do canal.

Por isto, a dragagem não é uma solução de mitigação de inundação recomendada.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

**Tabela 2: Redução nos níveis de pico de cheia alcançada com a dragagem**

XS ID	Q2 = 289,8m³/s			Q10 = 592,4m³/s			Q25 = 764,6m³/s			Q50 = 894,9m³/s			Q100 = 1025,2m³/s		
	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Dragagem (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Dragagem (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Dragagem (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Dragagem (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Dragagem (m)	Variação NA (m)
5830	376,18	375,94	-0,24	378,46	378,12	-0,34	379,42	379,13	-0,29	380,10	379,85	-0,25	380,75	380,53	-0,22
5728	376,18	375,94	-0,24	378,42	378,08	-0,34	379,37	379,08	-0,29	380,04	379,78	-0,26	380,69	380,46	-0,23
5378	375,79	375,41	-0,38	378,00	377,55	-0,45	378,93	378,55	-0,38	379,59	379,26	-0,33	380,23	379,95	-0,28
4978	375,53	375,03	-0,50	377,75	377,23	-0,52	378,66	378,24	-0,42	379,31	378,95	-0,36	379,95	379,65	-0,30
4678	375,4	374,83	-0,57	377,65	377,08	-0,57	378,56	378,11	-0,45	379,22	378,84	-0,38	379,85	379,53	-0,32
4428	375,31	374,68	-0,63	377,58	376,98	-0,60	378,53	378,05	-0,48	379,19	378,80	-0,39	379,85	379,52	-0,33
4078	375,16	374,49	-0,67	377,46	376,84	-0,62	378,4	377,93	-0,47	379,06	378,68	-0,38	379,72	379,40	-0,32
3578	374,85	374,24	-0,61	377,09	376,5	-0,59	377,99	377,55	-0,44	378,62	378,29	-0,33	379,27	378,99	-0,28
3328	374	373,90	-0,10	376,20	376,09	-0,11	377,24	377,17	-0,07	377,98	377,94	-0,04	378,71	378,67	-0,04
2878	373,77	373,77	0,00	376,01	376,00	-0,01	377,1	377,09	-0,01	377,88	377,87	-0,01	378,63	378,62	-0,01
2378	373,12	373,12	0,00	375,21	375,21	0,00	376,25	376,25	0,00	377,00	377,00	0,00	377,73	377,73	0,00
Ponte															
2328	372,1	372,01	-0,09	372,77	372,77	0,00	373,15	373,15	0,00	373,43	373,43	0,00	373,7	373,7	0,00

Sendo:

XS ID: Identificação da seção transversal;

NA: Elevação do nível de Água;

Q2, Q10, Q25, Q50 & Q100: Vazão com tempo de retorno de 2, 10, 25, 50 e 100 anos respectivamente.



### 3.2 Opção 2 – Dique de contenção

#### 3.2.1 Avaliação (dique de contenção)

A Opção 2 considera a construção de um dique de contenção como uma barreira física que protegerá as propriedades em Barra Longa. Foram considerados dois alinhamentos, como mostrado na **Figura 6** abaixo.

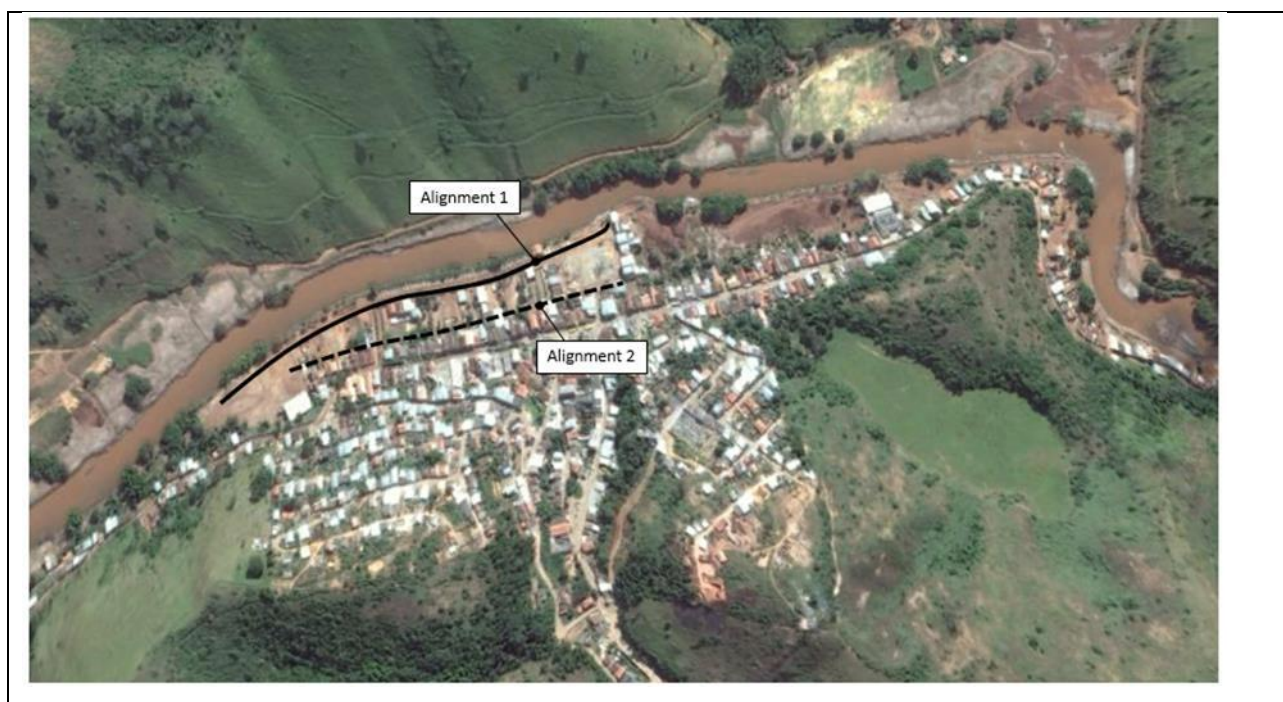


Figura 6: Possíveis alinhamentos de dique de contenção (Barra Longa).

A **Tabela 3** abaixo resume as alturas de dique necessárias para proteger propriedades na cidade.

**Tabela 3: Altura prevista do dique requerida em Barra Longa.**

Padrão de proteção proporcionado às propriedades em Barra Longa	Altura de dique requerida* (Alinhamento 1)	Altura de dique requerida * (Alinhamento 2)
10 anos (10% de probabilidade de inundação em qualquer ano)	1,5 – 1,75m	0,5 – 1m
25 anos (4% de probabilidade de inundação em qualquer ano)	2 – 2,5m	0,5 - 1,75m
50 anos (2% de probabilidade de inundação em qualquer ano)	2,5 – 3,5m	1,5 – 2,75m
100 anos (1% de probabilidade de inundação em qualquer ano)	3 – 4m	1,5 – 3,25m

\*Note-se que o nível do terreno ao longo do alinhamento não é uniforme. A faixa indicada reflete, por conseguinte, a variabilidade na altura da parede que será necessária para fornecer um nível de proteção consistente.





O dique pode ser construído como um talude de terra ou como uma parede de proteção contra inundação, conforme mostrado nos diagramas típicos nas **Figuras 7A e 7B** abaixo

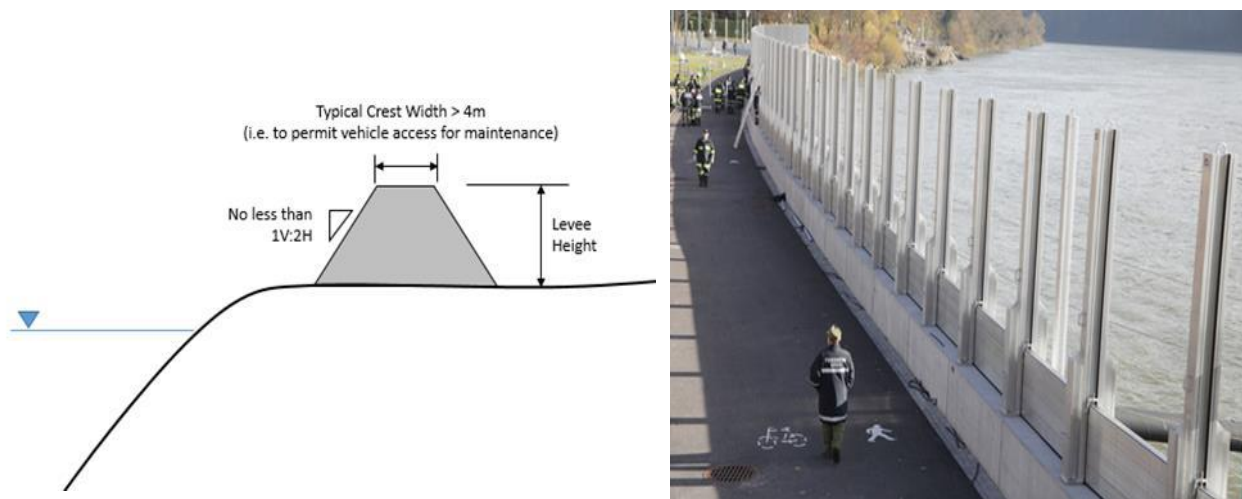


Figura 7: 7A (Talude típico) e 7B (parede de contenção típica).

Em vista da falta de espaço na área adjacente ao rio, é provável que não seja possível construir um talude de terra e, portanto, será necessária uma parede de contenção. Isto pode ser uma estrutura permanente ou uma barreira temporária que seria montada somente quando se esperasse uma inundação (como mostrado na **Figura 7B** acima). Esta última seria provavelmente a solução preferida em função da altura requerida do dique, evitando assim a criação de uma barreira visual entre a cidade e o rio. Entretanto, destaca-se que uma barreira temporária só será eficaz caso se possa assegurar que:

- 1) Seja dado um alerta de inundação adequado em caso de uma potencial inundação com antecedência de pelo menos 24 horas, a fim de permitir que a barreira seja erguida;
- 2) A barreira seja adequadamente armazenada e mantida, de modo que ela não seja danificada ou parcialmente perdida entre eventos de inundação; a responsabilidade pela montagem da barreira (quando necessário) pode ser devidamente atribuída no âmbito da comunidade local.

Note-se que a introdução de um dique na margem direita do rio resultará em um aumento no nível de pico de cheia na margem oposta. Assim, foi feita uma verificação para estabelecer qual seria o aumento indicativo da profundidade de inundação na margem esquerda do rio.

Estima-se que o aumento máximo no nível da água na margem oposta será de aproximadamente 150 mm e isto ocorreria em um evento de retorno de 100 anos. Portanto, isto não deve aumentar de forma relevante o risco de inundação das poucas propriedades localizadas no outro lado do rio do Carmo.

### 3.2.2 Conclusão (dique de contenção)

Em resumo, a montagem de um dique de contenção é considerada uma solução técnica viável. Se implementada, recomenda-se que seja na forma de uma barreira temporária (ver **Figura 7B**), de modo a evitar perder permanentemente a visão do rio.

Note-se que o limite de inundação sob condições “naturais” (antes do rompimento) é de 10 anos e, portanto, presumivelmente seria proporcionado o mesmo padrão de proteção às propriedades em Barra Longa. Para assegurar que todas as propriedades tenham o mesmo nível de proteção (isto é, a parede de contenção seria



construída no Alinhamento 1, como mostrado na **Figura 6**), teria que ser instalada uma parede com uma altura de 1,5 a 1,75 m.

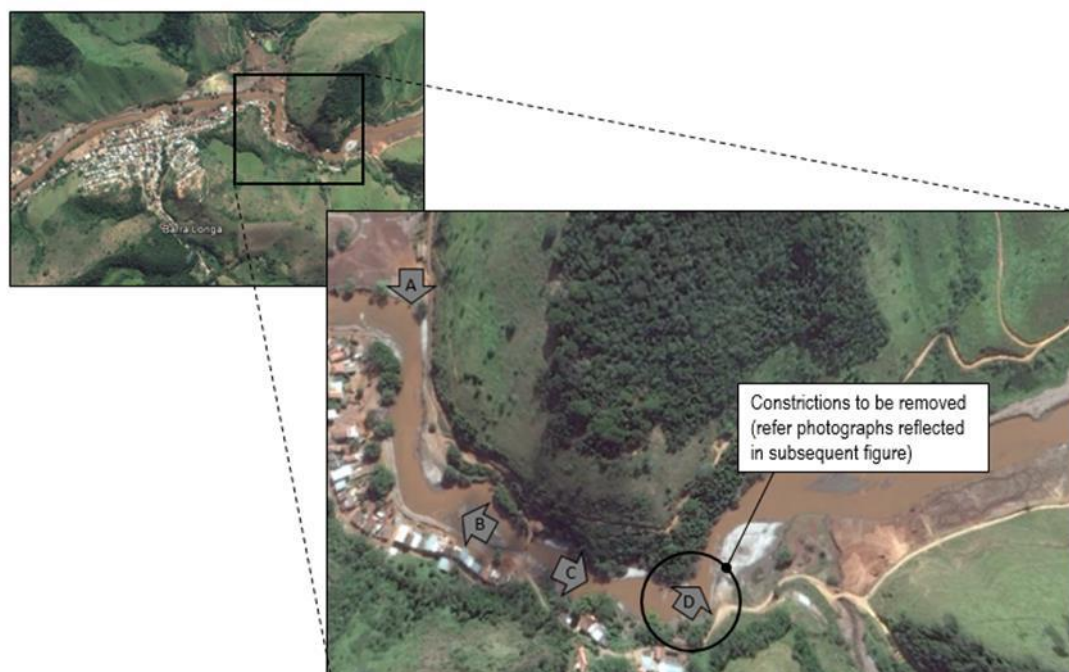
Reitera-se aqui que a parede de contenção somente será eficaz caso haja um alerta adequado de inundação e se a parede for bem mantida e instalada no devido tempo.

Finalmente, deve-se notar que as paredes de contenção e os diques elevados são estruturas de engenharia e, por conseguinte, sempre implicarão um risco residual de transbordamento e/ou de falha repentina.

### 3.3 Opção 3 – Remoção de Condições a Jusante

#### 3.3.1 Avaliação (Remoção de Condição)

A Opção 3 considera a remoção de condições que estão evidentes no canal a jusante de Barra Longa. Elas são ilustradas graficamente nas **Figuras 8 e 9** abaixo.



*Figura 8: Localização de condições naturais consideradas para remoção.*



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA



Figura 9: Fotografias de constrictões consideradas para remoção.

As constrictões que foram identificadas para possível remoção são praias naturais e afloramentos rochosos que representam “pontos de restrição” no canal imediatamente a montante e a jusante da ponte de Barra Longa.

A remoção destas constrictões resultará em uma marcante redução nos níveis de pico de cheia em Barra Longa. A **Tabela 4** abaixo apresenta um resumo dos resultados da avaliação inicial dos níveis de cheia resultantes



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

**Tabela 4: Redução indicativa dos níveis de pico de cheia no centro da cidade de Barra Longa, resultante da remoção de constrições a jusante (avaliação inicial).**

XS ID	Q2 = 289,8m³/s			Q10 = 592,4m³/s			Q25 = 764,6m³/s			Q50 = 894,9m³/s			Q100 = 1025,2m³/s		
	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Remoção de Construção (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Remoção de Construção (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Remoção de Construção (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Remoção de Construção (m)	Variação NA (m)	NA Sem Mitigação (m)	NA Com Remoção de Construção (m)	Variação NA (m)
5830	376,18	376,07	-0,11	378,46	378,23	-0,23	379,42	379,19	-0,23	380,10	379,84	-0,26	380,75	380,42	-0,33
5728	376,18	376,08	-0,10	378,42	378,19	-0,23	379,37	379,14	-0,23	380,04	379,78	-0,26	380,69	380,36	-0,33
5378	375,79	375,64	-0,15	378,00	377,71	-0,29	378,93	378,63	-0,30	379,59	379,25	-0,34	380,23	379,81	-0,42
4978	375,53	375,37	-0,16	377,75	377,42	-0,33	378,66	378,33	-0,33	379,31	378,94	-0,37	379,95	379,48	-0,47
4678	375,40	375,23	-0,17	377,65	377,30	-0,35	378,56	378,21	-0,35	379,22	378,82	-0,40	379,85	379,36	-0,49
4428	375,31	375,13	-0,18	377,58	377,21	-0,37	378,53	378,16	-0,37	379,19	378,79	-0,40	379,85	379,34	-0,51
4078	375,16	374,98	-0,18	377,46	377,08	-0,38	378,40	378,03	-0,37	379,06	378,64	-0,42	379,72	379,19	-0,53
3578	374,85	374,58	-0,27	377,09	376,59	-0,50	377,99	377,51	-0,48	378,62	378,09	-0,53	379,27	378,61	-0,66
3328	374,00	373,61	-0,39	376,2	375,30	-0,90	377,24	376,22	-1,02	377,98	376,82	-1,16	378,71	377,34	-1,37
2878	373,77	373,21	-0,56	376,01	375,00	-1,01	377,10	375,90	-1,20	377,88	376,49	-1,39	378,63	377,06	-1,57

Sendo:

XS ID: Identificação da seção transversal;

NA: Elevação do nível de Água;

Q2, Q10, Q25, Q50 & Q100: Vazão com tempo de retorno de 2, 10, 25, 50 e 100 anos respectivamente.





Destaca-se que a própria estrutura da ponte *não* representa uma constrição hidráulica, não havendo necessidade de alterá-la de qualquer maneira.

Após a remoção das constrições, serão necessários corta-rios localizados para redirecionar o fluxo do canal principal e evitar a formação de novas praias. Os corta-rios serão construídos com materiais prontamente disponíveis (isto é, rocha ou madeira) e demandarão um projeto de engenharia caso esta seja considerada a opção preferencial. Uma configuração típica de corta-rio é apresentada na **Figura 10** abaixo. Eles serão construídos na margem oposta do rio (isto é, na margem norte).



Figura 10: Arranjo de corta-rio típico.

### 3.3.2 Conclusão (remoção de constrição)

Em resumo, espera-se que a remoção de constrições localizadas imediatamente a montante e a jusante da ponte de Barra Longa restaure os níveis de cheia ao longo da área urbana para as condições “naturais” (antes do rompimento). Serão necessários corta-rios localizados para evitar que se formem praias na próxima estação chuvosa. Uma vez instalados estes corta-rios, o rio deve se tornar relativamente “autolimpante” neste trecho.

Tendo em vista a relativa facilidade de implementação e do custo do ciclo de vida desta opção, recomenda-se adotar o procedimento de remoção de constrições localizadas.

Note-se que a remoção das constrições resultará em um aumento significativo na velocidade do fluxo no trecho afetado do rio do Carmo e, portanto, será necessário verificar se o enrocamento recentemente instalado foi projetado (e construído) para suportar um regime de fluxo de energia mais alto.

A velocidade de fluxo prevista no canal entre XS 2728 (ver Figura 1) e XS 1978 (aproximadamente 350 m a jusante da ponte) aumentará para cerca de 2,5 m/s no evento de retorno de 25 anos (4%) e para 3,5 m/s no evento de retorno de 100 anos (1%). Antes da remoção das constrições (isto é, nas condições atuais), a velocidade do rio é da ordem de 2 a 2,5 m/s tanto para o período de retorno de 25 anos como para o período de retorno de 100 anos.

## 3.4 Opção 4 (Reservatório para atenuação de pico a montante)

Foi realizada uma análise superficial para considerar a possibilidade de se construir reservatório para



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

atenuação de pico a montante, como um meio de diminuir o risco de inundação em Barra Longa.

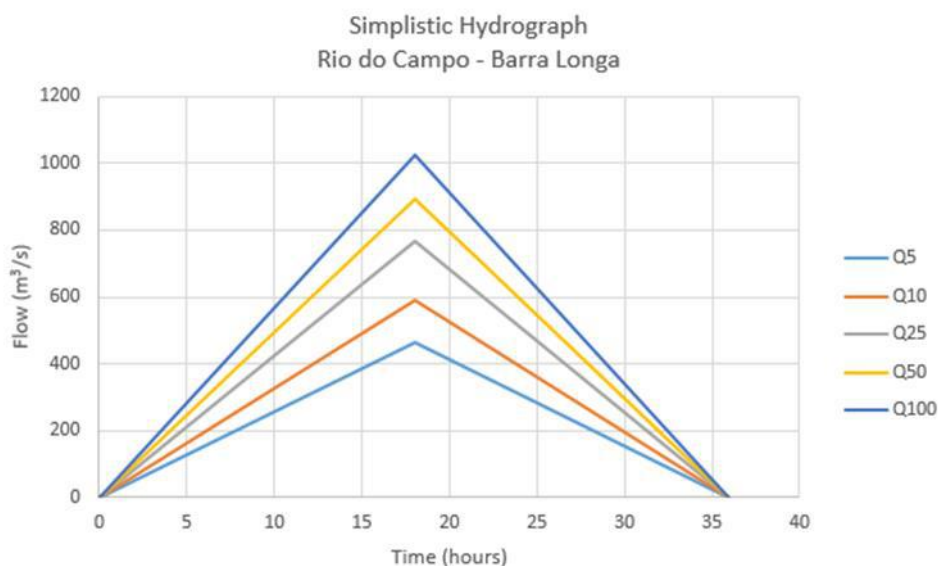
Embora não tenha sido possível fazer uma avaliação hidrológica detalhada em vista da ausência de hidrogramas para o rio do Carmo ou rio Gualaxo do Norte, é evidente que, em termos simplistas, será necessário atenuar o fluxo passante a jusante para o equivalente ao período de retorno de 5 anos para se evitar inundações em Barra Longa.

A **Tabela 5** abaixo apresenta uma comparação das vazões de pico do rio do Carmo.

**Tabela 5: Vazões de pico (m<sup>3</sup>/s) – Rio do Carmo em Barra Longa.**

Período de retorno (anos)	Vazões de pico (m <sup>3</sup> /s)
2	289,8
5	462,1
10	592,4
25	764,6
50	894,9
100	1025,2

A área de drenagem indicativa para o rio do Carmo em Barra Longa é de aproximadamente 2200 km<sup>2</sup> e a declividade média do rio ao longo da bacia é de cerca de 0,008 m/m. Adotando-se a fórmula de Bransby Williams para estimar o tempo de concentração para a bacia de drenagem, isto é,  $T_c = 0,6 \times \text{Comprimento} \div (\text{Área}^{0,1} \times \text{Declividade}^{0,2})$ , o  $T_c$  aproximado para o rio em Barra Longa é de cerca de 18 horas.



*Figura 11: Estimativa baseada em hidrograma simples (Rio do Carmo).*

Considerando-se um hidrograma triangular bem simples para fins de avaliar a viabilidade básica do reservatório para atenuação de pico a montante (ver Figura 10), pode-se estimar a “ordem de grandeza” dos volumes que precisariam ser armazenados a montante. Estes volumes são resumidos na **Tabela 6** abaixo.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

**Tabela 6: Ordem de grandeza do volume de reservatório necessário para atenuar as cheias até a defluência da vazão de Q5 a jusante.**

Período de retorno (anos)	Volume de reservatório requerido para atenuar a vazão de pico até a Q5 liberada a jusante (Mm <sup>3</sup> )	Área superficial aproximada requerida para o reservatório considerando profundidade média de 5m (km <sup>2</sup> )
10	8,4	1,7
25	19,6	3,9
50	28,1	5,6
100	36,5	7,3

Pressupondo-se uma profundidade média de 5 m, a área superficial indicativa do reservatório para atenuação de pico, na planície aluvial, requerida para atenuar as vazões de pico até a defluência da vazão de tempo de retorno de 5 anos (Q5) é apresentada na **Tabela 6**.

Embora se trate de uma avaliação muito simplista (e conservadora) dos prováveis volumes requeridos de reservatório para atenuação de pico, isto ressalta que será praticamente impossível arranjar a área necessária a uma distância suficiente próxima de Barra Longa de modo a se obter o efeito de atenuação. Por isso, esta opção não será avaliada mais detalhadamente.

### 4.0 RESUMO DA AVALIAÇÃO INICIAL DE VIABILIDADE DAS OPÇÕES

Quatro (4) possíveis alternativas foram consideradas para mitigar o aumento no risco de inundação em Barra Longa como resultado da deposição de sedimentos e rejeitos depois do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão.

- A Opção 1 considera a dragagem de uma camada média de 1,5 m de material do canal do rio ao longo de Barra Longa. Isto resulta em uma redução dos níveis de pico de cheia, embora não haja um aumento significativo no nível de proteção proporcionado às propriedades.

A geomorfologia do sistema fluvial exigiria que a dragagem fosse realizada anualmente, sendo que a perturbação do leito do rio causaria um aumento significativo nos níveis de turbidez a jusante.

**Portanto, a drenagem não é uma opção recomendada para considerações adicionais.**

- A Opção 2 considera a construção de uma parede (ou dique) de contenção elevada ao longo do rio na área urbana de Barra Longa de modo a fornecer uma barreira que evitaria inundação na cidade. Supondo-se que o padrão de proteção resultante equivallesse ao limite de inundação da situação “natural” (antes do rompimento), isto é, um período de retorno de 10 anos, a parede de contenção teria que ser construída com uma altura de aproximadamente 1,5 a 1,75 m acima do topo da margem.

Embora esta seja considerada uma opção tecnicamente viável, o impacto visual de tal barreira seria significativo e, portanto, deve-se avaliar a alternativa de um arranjo temporário que seria instalado somente em épocas de cheia. Isto dependeria fortemente de um sistema eficaz de alerta de inundação e da resposta da comunidade em montar a barreira. Além disso, o custo de capital deste esquema seria muito alto.

**Portanto, a construção de um dique (ou parede de contenção de inundação) não é a opção preferencial recomendada.**

- A Opção 3 considera a remoção de constrições localizadas (isto é, praias e afloramentos rochosos) do canal do rio do Carmo imediatamente a montante e a jusante da ponte de Barra Longa.

A remoção das constrições tem o potencial de reduzir os níveis de cheia em até 1,5 m no evento de retorno Q100 imediatamente a jusante da cidade, restaurando o nível de proteção às propriedades dentro de Barra Longa. Além disso, a introdução de corta-rios projetados “treinaria” o rio para evitar que



as praias removidas se formassem novamente, proporcionando uma solução em grande medida permanente<sup>1</sup>.

**Portanto, a remoção de constrições localizadas é um procedimento recomendado.**

Deve-se reiterar que esta solução aumentará a velocidade do fluxo no canal, sendo necessária avaliar o projeto do enrocamento recentemente instalado para assegurar que ele resista ao fluxo de energia mais intenso.

- A Opção 4 considera a construção de um reservatório para atenuar as vazões de pico a montante, reduzindo assim os níveis de cheia a jusante e ao longo de Barra Longa. Embora não tenha sido possível fazer uma análise detalhada, uma avaliação da ordem de grandeza dos volumes requeridos do reservatório para atenuação de pico a montante indica que esta solução simplesmente não é viável.

**Portanto, o reservatório para atenuação de pico a montante não constitui uma opção a ser considerada.**

## 5.0 PROCEDIMENTO RECOMENDADO – REMOÇÃO DE CONSTRIÇÕES A JUSANTE

Existem várias constrições no rio do Carmo, tanto a montante como imediatamente a jusante da ponte de Barra Longa. Estas constrições reduzem a capacidade do canal e resultam em um aumento nos níveis de pico de cheia a montante, aumentando assim o risco de inundação no centro da cidade.

Sabe-se que a remoção de material do rio pode influenciar a geomorfologia do canal, o que, por sua vez, pode ter um impacto de curto prazo sobre aspectos do ambiente aquático e/ou ciliar. Sabe-se também que a deposição de material no canal é muito influenciada por processos naturais do rio e, portanto, o rio começará naturalmente a substituir imediatamente o material que tenha sido removido. Assim, deve-se analisar cuidadosamente medidas que minimizem a probabilidade de re-deposição e a necessidade de manutenção contínua do canal. Isto significará que a intervenção no canal do rio não será feita “uma única vez”, mas demandará trabalhos contínuos no canal, o que pode periodicamente perturbar o ambiente natural.

Assim, em um esforço para minimizar os efeitos adversos potenciais das obras no canal, realizou-se modelagem hidráulica adicional para avaliar o benefício (isto é, redução no nível de cheia) que se obterá mediante a progressiva remoção de material do canal que represente uma constrição do fluxo. O objetivo primário desta investigação consistiu em identificar as constrições dentro do canal que, uma vez removidas, representariam o maior benefício para Barra Longa em termos de risco de inundação. Isto visa assegurar que venham a ser removidos somente depósitos que tenham uma influência significativa sobre a inundação de Barra Longa.

### 5.1 Modelagem Hidráulica da Remoção de Constrição

A remoção de constrições foi progressivamente modelada ao longo de uma distância de cerca de 500 m a montante e 200 m a jusante da ponte de Barra Longa, proporcionando uma base para a análise de sensibilidade que identifique claramente quais mudanças teriam um impacto significativo sobre a redução dos níveis de inundação no centro da cidade de Barra Longa.

A modelagem foi executada usando-se o modelo unidimensional de estado estacionário HecRAS, desenvolvido como parte do estudo realizada pela Golder Associates Brasil em junho de 2016<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Monitoramento e manutenção regulares devem ser executados para assegurar que o canal do rio permaneça livre de constrições.

<sup>2</sup> Estudos Hidrodinâmicos no Município de Barra Longa – Resultados Finais para os Cenários Afetado e Natural, Golder Associates (Junho de 2016), ref. RT-E-11-002\_159-515-2282\_01-B





A **Figura 12** abaixo mostra uma visão geral das constrições que foram avaliadas como parte deste estudo.



*Figura 12: Localização de constrições avaliadas para remoção.*

Fotografias típicas das constrições são apresentadas no Anexo A para fins de referência. **A Tabela 7** mostra um resumo das constrições cuja remoção é recomendada como resultado do estudo.

O **Anexo B** apresenta uma ilustração gráfica da quantidade de material cuja remoção é recomendada para cada local de constrição.

<sup>2</sup> Estudos Hidrodinâmicos no Município de Barra Longa – Resultados Finais para os Cenários Afetado e Natural, Golder Associates (Junho de 2016), ref. RT-E-11-002\_159-515-2282\_01-B



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

Tabela 7: Resumo de resultados – Remoção de constrições.

ID da construção (ver Figura 2)	Descrição da construção	Material	Modelo HecRAS XS alterado para refletir a remoção de construção	Comentários	Remoção recomendada	Volume indicativo de remoção (m <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>
1	Construção localizada no canal (dentro do canal)	Rejeitos & sedimentos	3428	<p>A construção #1 está situada no trecho urbano, reduzindo a capacidade do canal neste local.</p> <p>A modelagem demonstrou que, sem a remoção desta construção localizada, os benefícios das obras a jusante serão significativamente reduzidos a montante de XS3428, diminuindo assim o nível de proteção que se pode obter no centro da cidade.</p>	Sim	150m <sup>3</sup>
2	Banco no canal (margem direita)	Rejeitos & sedimentos	2728 & 2678	<p>Fotografias do rio antes do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão confirmam que as constrições #2, 3 e 4 são depósitos de sedimentos (e posteriormente rejeitos) dentro do canal resultantes do regime geomorfológico natural do rio.</p> <p>A modelagem demonstrou que a remoção controlada destes depósitos aumentará a capacidade do canal e, consequentemente, reduzirá significativamente a frequência e a severidade das inundações em Barra Longa.</p>	Sim	400m <sup>3</sup>
3	Banco no canal (margem esquerda)	Rejeitos & sedimentos	2528 & 2493		Sim	300m <sup>3</sup>
4	Banco no canal (dentro do canal)	Rejeitos & sedimentos	2478, 2428 & 2378	<p>À luz dos fatores naturais de formação destes bancos no canal, será necessário implementar medidas que impeçam seu restabelecimento ao longo do tempo (por exemplo, corta-rios). Serão também necessários monitoramento e manutenção contínuos para assegurar que o nível de</p>	Sim	600m <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Os volumes indicativos apresentados nesta coluna são baseados nas seções transversais HecRAS modeladas, as quais foram derivadas por meio de dados geofísicos e batimétricos coletados anteriormente em 2016. Portanto, há um grau relativamente alto de incerteza na aproximação dos volumes de material, o que se reflete em uma estimativa de "ordem de grandeza" apenas para fins de planejamento inicial. É necessário um estudo detalhado para estabelecer com precisão a natureza e o volume de material que é necessário remover.



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

ID da construção (ver Figura 2)	Descrição da construção	Material	Modelo HecRAS XS alterado para refletir a remoção de construção	Comentários	Remoção recomendada	Volume indicativo de remoção (m <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>
				proteção da cidade contra inundações seja mantido.		
5	Construção localizada no canal (dentro do canal)	Rejeitos, sedimentos e rocha	Ponte de Barra Longa & 2328	<p>A construção #5 está situada sob e imediatamente a jusante da ponte de Barra Longa.</p> <p>Embora a superestrutura da ponte não represente uma obstrução ao fluxo, o canal se estreita significativamente neste local, resultando em um aumento significativo do nível de cheia a montante. A remoção desta restrição do canal aumentará a capacidade do canal sob a ponte, reduzindo assim os níveis de pico de inundação no centro da cidade.</p> <p>Observações visuais indicam que uma parte do material a ser removido é constituída de rocha, estando relativamente próxima à ponte. Portanto, será necessário cuidado para assegurar que o método de remoção adotado não venha a afetar a integridade estrutural da ponte.</p>	Sim	300m <sup>3</sup>
6	Construção localizada no canal (margem esquerda)	Rejeitos, sedimentos e rocha	2278	<p>A construção #6 está situada imediatamente a jusante da ponte de Barra Longa, sendo formada por afloramentos rochosos, vegetação ciliar estável (isto é, árvores estabelecidas) e pedaços de rocha depositados.</p> <p>Após a remoção da construção sob a ponte (isto é, construção #5), recomenda-se que o canal seja alargado neste local para evitar o possível acúmulo de detritos passando para jusante, o que pode comprometer o nível de proteção oferecido a montante.</p>	Sim	200m <sup>3</sup>



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

ID da construção (ver Figura 2)	Descrição da construção	Material	Modelo HecRAS XS alterado para refletir a remoção de construção	Comentários	Remoção recomendada	Volume indicativo de remoção (m <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>
				Embora o alargamento possa ser executado em qualquer das margens do rio, há várias construções residenciais na margem direita que poderiam ser afetadas pelas obras eventualmente realizadas nas proximidades. Por isso, recomenda-se que a remoção de material seja feita a partir da margem esquerda.		
7	Afloramento rochoso (margem esquerda)	Rocha	2178	As construções #7 e #8 estão situadas a alguma distância a jusante da ponte. A modelagem demonstrou que a remoção destes afloramentos rochosos não reduzirá significativamente o risco de inundação no centro da cidade de Barra Longa e, por conseguinte, não se recomenda executar nenhum trabalho nestes locais.	Não	-
8	Afloramento rochoso (margem direita)	Rocha	2128, 2078 & 2028		Não	-





### 5.2 Melhoria Estimada no Nível de Proteção de Barra Longa

A remoção de constrições conforme resumido na **Tabela 7** acima resultará em uma melhoria demonstrável do nível de proteção em Barra Longa. Um resumo dos níveis de pico de cheia previstos para toda a cidade de Barra Longa é apresentado na **Tabela 8**, permitindo uma comparação com:

- O cenário antes do rompimento;
- O atual regime de cheia (cenário depois do rompimento sem mitigação); e
- Uma estimativa dos níveis de cheia que serão atingidos como resultado das obras recomendadas para o canal.

A comparação dos níveis de cheia leva às seguintes conclusões fundamentais:

- A remoção de constrições do canal do rio conforme recomendado restaurará inteiramente o nível de proteção que havia em Barra Longa antes do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão;
- A remoção de constrições proporcionará um benefício marginal adicional em termos de proteção de Barra Longa, isto é, os níveis de pico de cheia que serão atingidos serão menores do que aqueles anteriores ao rompimento. Como exemplo, no evento de retorno de 1 em 25 anos (isto é, um evento com 4% de probabilidade de ocorrência em qualquer ano), o nível de pico de inundação na praça principal (Praça Manoel Lino Elo) seria de 50 a 150 mm inferior ao que era antes do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão.

As extensões de inundação previstas no centro da cidade são mostradas na **Figura 13** abaixo e no **Anexo C**.

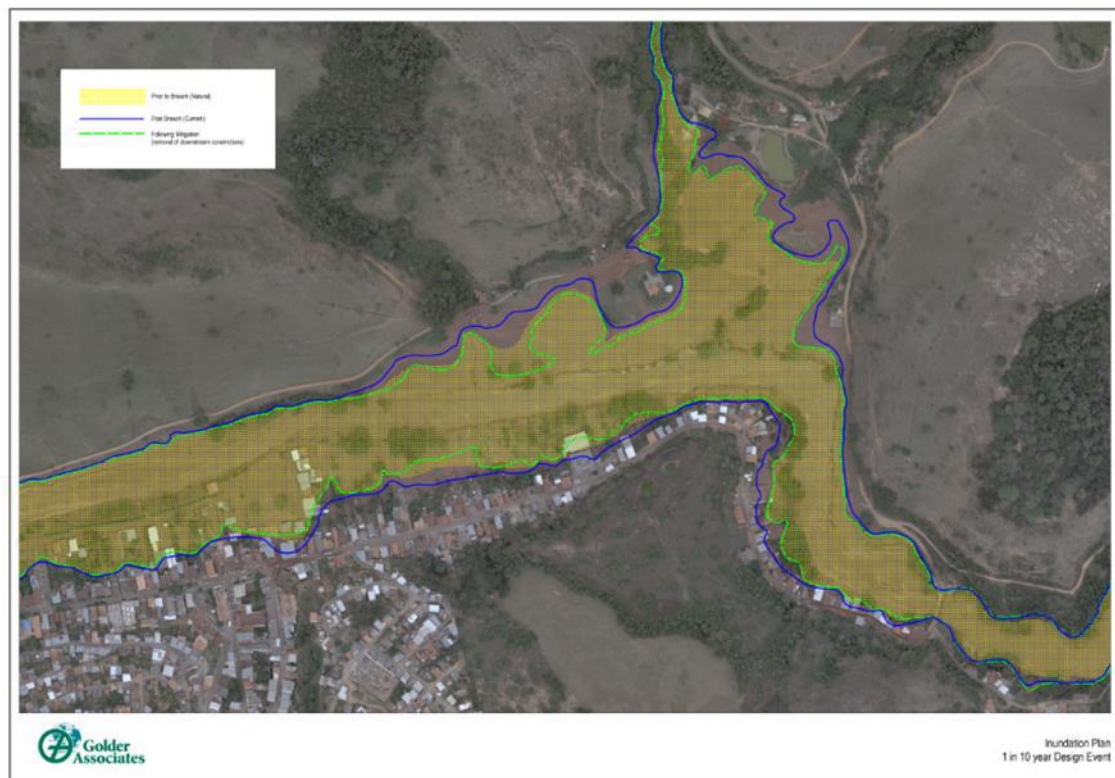


Figura 13: 1 evento em 10 anos. (Linha Azul: Antes das obras; Mancha amarela: após obras).



## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

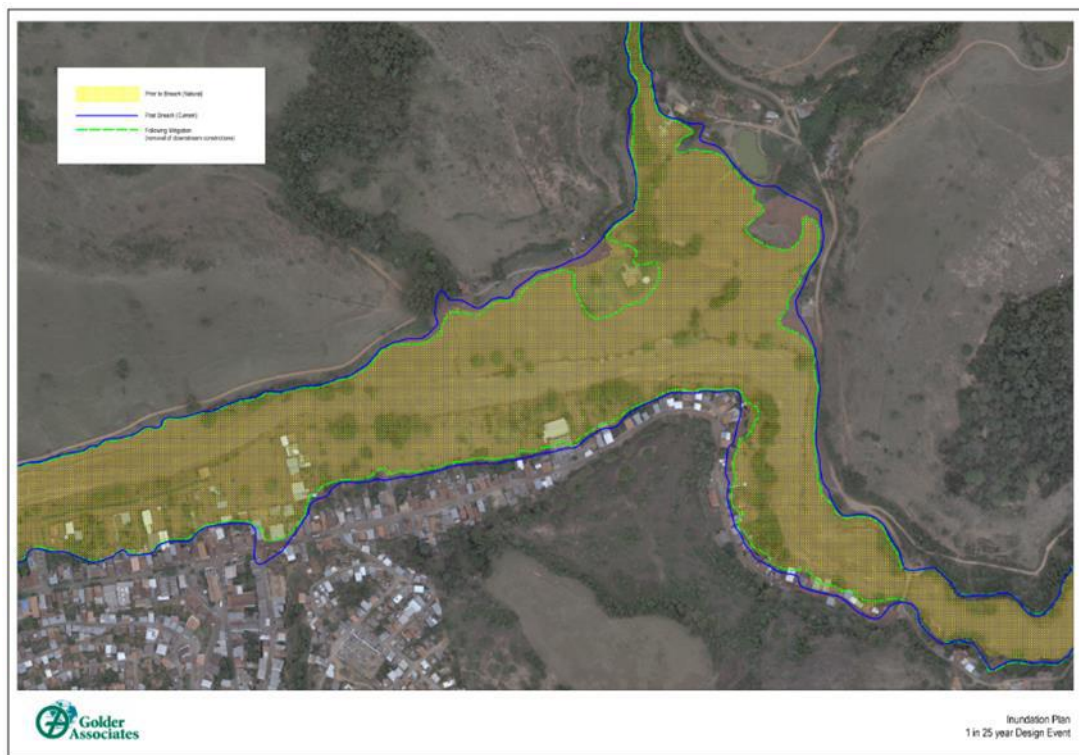


Figura 14: 1 evento em 25 anos.



Figura 15: 1 evento em 100 anos.





## DESENVOLVIMENTO DE OPÇÕES VIÁVEIS PARA MITIGAR O RISCO DE INUNDAÇÃO EM BARRA LONGA

**Tabela 8: Resumo dos níveis de pico de cheia (mAOD) – Avaliação detalhada da remoção de constrições.**

WSL Comparison with Situation Prior to Breach of Fundao Tailings Reservoir															
XS ID	Q2 = 289.8m³/s			Q10 = 592.4m³/s			Q25 = 764.6m³/s			Q50 = 894.9m³/s			Q100 = 1025.2m³/s		
	Pre Breach WSL (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	Pre Breach WSL (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	Pre Breach WSL (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	Pre Breach WSL (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	Pre Breach WSL (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)
5830	375.58	376.00	0.42	377.72	378.07	0.35	378.74	379.01	0.27	379.49	379.66	0.17	380.25	380.25	0.00
5728	375.54	376.00	0.46	377.66	378.04	0.38	378.68	378.95	0.27	379.41	379.59	0.18	380.17	380.18	0.01
5378	375.29	375.51	0.22	377.35	377.48	0.13	378.34	378.37	0.03	379.07	378.99	-0.08	379.82	379.56	-0.26
4978	374.97	375.18	0.21	377.06	377.14	0.08	378.05	378.02	-0.03	378.79	378.63	-0.16	379.55	379.18	-0.37
4678	374.86	375.01	0.15	376.99	376.98	-0.01	378.00	377.87	-0.13	378.74	378.49	-0.25	379.50	379.04	-0.46
4428	374.74	374.89	0.15	376.91	376.86	-0.05	377.93	377.79	-0.14	378.68	378.43	-0.25	379.47	379.01	-0.46
4078	374.57	374.71	0.14	376.77	376.69	-0.08	377.79	377.63	-0.16	378.54	378.27	-0.27	379.32	378.84	-0.48
3578	373.97	374.14	0.17	375.99	376.02	0.03	376.98	376.94	-0.04	377.77	377.57	-0.20	378.61	378.12	-0.49
3328	373.58	373.65	0.07	375.70	375.43	-0.27	376.80	376.33	-0.47	377.66	377.02	-0.64	378.56	377.59	-0.97
2878	373.40	373.28	-0.12	375.60	375.13	-0.47	376.73	376.05	-0.68	377.62	376.76	-0.86	378.54	377.37	-1.17
2378	372.03	372.41	0.38	374.33	373.94	-0.39	375.44	374.71	-0.73	376.22	375.30	-0.92	376.97	375.85	-1.12
WSL Comparison with Situation Following Breach of Fundao Tailings Reservoir															
XS ID	Q2 = 289.8m³/s			Q10 = 592.4m³/s			Q25 = 764.6m³/s			Q50 = 894.9m³/s			Q100 = 1025.2m³/s		
	No Mitigation (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	No Mitigation (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	No Mitigation (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	No Mitigation (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)	No Mitigation (mAOD)	Constriction Removal (mAOD)	Incr. WSL (m)
5830	376.18	376.00	-0.18	378.46	378.07	-0.39	379.42	379.01	-0.41	380.10	379.66	-0.44	380.75	380.25	-0.50
5728	376.18	376.00	-0.18	378.42	378.04	-0.38	379.37	378.95	-0.42	380.04	379.59	-0.45	380.69	380.18	-0.51
5378	375.79	375.51	-0.28	378.00	377.48	-0.52	378.93	378.37	-0.56	379.59	378.99	-0.60	380.23	379.56	-0.67
4978	375.53	375.18	-0.35	377.75	377.14	-0.61	378.66	378.02	-0.64	379.31	378.63	-0.68	379.95	379.18	-0.77
4678	375.40	375.01	-0.39	377.65	376.98	-0.67	378.56	377.87	-0.69	379.22	378.49	-0.73	379.85	379.04	-0.81
4428	375.31	374.89	-0.42	377.58	376.86	-0.72	378.53	377.79	-0.74	379.19	378.43	-0.76	379.85	379.01	-0.84
4078	375.16	374.71	-0.45	377.46	376.69	-0.77	378.40	377.63	-0.77	379.06	378.27	-0.79	379.72	378.84	-0.88
3578	374.85	374.14	-0.71	377.09	376.02	-1.07	377.99	376.94	-1.05	378.62	377.57	-1.05	379.27	378.12	-1.15
3328	374.00	373.65	-0.35	376.20	375.43	-0.77	377.24	376.33	-0.91	377.98	377.02	-0.96	378.71	377.59	-1.12
2878	373.77	373.28	-0.49	376.01	375.13	-0.88	377.10	376.05	-1.05	377.88	376.76	-1.12	378.63	377.37	-1.26
2378	373.12	372.41	-0.71	375.21	373.94	-1.27	376.25	374.71	-1.54	377.00	375.30	-1.70	377.73	375.85	-1.88
Bridge															
2328	372.10	371.87	-0.23	372.77	373.12	0.35	373.15	373.63	0.48	373.43	373.92	0.49	373.70	374.17	0.47
2228	372.28	371.62	-0.66	373.68	372.73	-0.95	374.37	373.20	-1.17	374.85	373.54	-1.31	375.30	373.85	-1.45
2078	371.53	371.44	-0.09	372.92	372.83	-0.09	373.53	373.42	-0.11	373.95	373.82	-0.13	374.33	374.18	-0.15



### 5.3 Medidas Adicionais Necessárias

Como destacado na **Tabela 7** acima, várias das constrições, cuja remoção é recomendada, são constituídas de depósitos naturais de sedimentos (e posteriormente rejeitos) que surgiram como resultado do movimento geomorfológico natural do rio do Carmo. A **Figura 16** abaixo ilustra a deposição natural do rio do Carmo em 2014 e 2016 respectivamente, reforçando este ponto em torno das constrições 2, 3 e 4, como descrito na **Tabela 7**.



*Figura 16: Rio do Carmo (Barra Longa).*

Portanto, para se evitar que estes depósitos se formem novamente, será necessário construir uma série de corta-rios que acelerarão o fluxo e impedirão a deposição de sólidos suspensos. Os locais recomendados para a possível implementação de corta-rios são mostrados na **Figura 17** abaixo.



*Figura 17: Locais indicativos para a construção de corta-rios.*





Os corta-rios devem ser estruturas baixas que guiarão o rio durante eventos de pequeno volume, mas não impedirão a passagem do fluxo durante uma inundação.

Após a conclusão das obras, será necessário monitorar regularmente a geometria do rio (por exemplo, levantamentos anuais) para determinar onde os bancos fluviais possam estar se restabelecendo. Recomenda-se que sejam estabelecidos vários limites que, uma vez atingidos, acionarão o trabalho de manutenção (isto é, remoção de material do canal), de modo que a capacidade do rio seja restaurada.

### 5.4 Procedimento Recomendado

A avaliação realizada até o momento confirmou a viabilidade da remoção de constrições como uma forma de restaurar (e melhorar marginalmente) o nível de proteção de Barra Longa contra inundações.

As análises foram realizadas com base em fotos aéreas de 2016 (Google Earth) e na geometria apresentada no modelo HecRAS. O modelo, por sua vez, foi desenvolvido com base em informações de estudos geofísicos e batimétricos interpretadas coletadas em abril de 2016, após o rompimento da barragem de rejeitos. Portanto, há um grau inerente de incerteza no cálculo dos volumes de material e no posicionamento (e dimensionamento) dos corta-rios que protegerão permanentemente a integridade das obras propostas.

Portanto, recomenda-se que seja realizado um estudo detalhado do canal do rio com um foco específico nas áreas em que se propõe remover constrições. Este estudo deverá incluir:

- Confirmação da geometria do canal nestes locais visando subsidiar o projeto final do canal e dos respectivos corta-rios;
- Determinação da probabilidade de se encontrar rochas nas constrições 5 e 6 (ver **Figura 12**); e
- Determinação das propriedades das rochas que possam ser encontradas, de modo a subsidiar o método de remoção.

Finalmente, reitera-se (como descrito na Seção 3 acima) que a remoção das constrições do canal aumentará a velocidade do fluxo ao longo de Barra Longa. Inúmeras obras de engenharia foram recentemente implementadas para estabilizar as margens do rio. Portanto, será necessário fazer uma checagem de projeto para assegurar que a alteração na energia do fluxo dentro do canal não venha a prejudicar estas obras.

Este Memorando Técnico foi analisado por Allan Bronsro, PEng, da Golder Associates Ltd.

### 6.0 EQUIPE TÉCNICA

A **Tabela 9** apresenta a equipe técnica chave alocada para a elaboração deste documento.

**Tabela 9: Equipe Técnica.**

Equipe Técnica	Cargo
Karen Dingley	Eng <sup>a</sup> . Civil
Allan Bronsro (Revisor)	Eng <sup>o</sup> . Civil



### 7.0 REFERENCIAS

<sup>1</sup> *Estudos Hidrodinâmicos no Município de Barra Longa – Resultados Finais para os Cenários Afetado e Natural*, Golder Associates (June 2016), ref. RT-E-11-002\_159-515-2282\_01-B/G006983-G-1RT002\_R-01

<sup>2</sup> Imagens do Google Earth datadas de abril de 2016

<sup>3</sup> Estudo geofísico do rio do Carmo realizado em março de 2016, AFC (ver Anexo C de RT-E-11-002\_159-515-2282\_01-B)



## Considerações Finais

**GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.**

Antônio Harley  
Gerente do Projeto

AH/AB/acs

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

\\bhz1-v-fs1\trabalho\3-projetos\2015\2-meio ambiente\159 515 2282\_samarco\3-relatorio\rt - relatório técnico\rt-e-26\g006900-g-1rt103\_r-00\1-texto\g006900-g-1rt103\_r-000.docx



# **ANEXO A**

## **Fotografias**





## ANEXO A

### Fotografias Típicas - Condições a Jusante







## ANEXO A

### Fotografias Típicas - Condições a Jusante



q:\3-projetos\2015\2-meio ambiente\159 515 2282\_samarco\3-relatorio\rt - relatório técnico\rt-e-26\g006900-g-1rt103\_r-00\2-anexos\anexo a\anexo a.docx



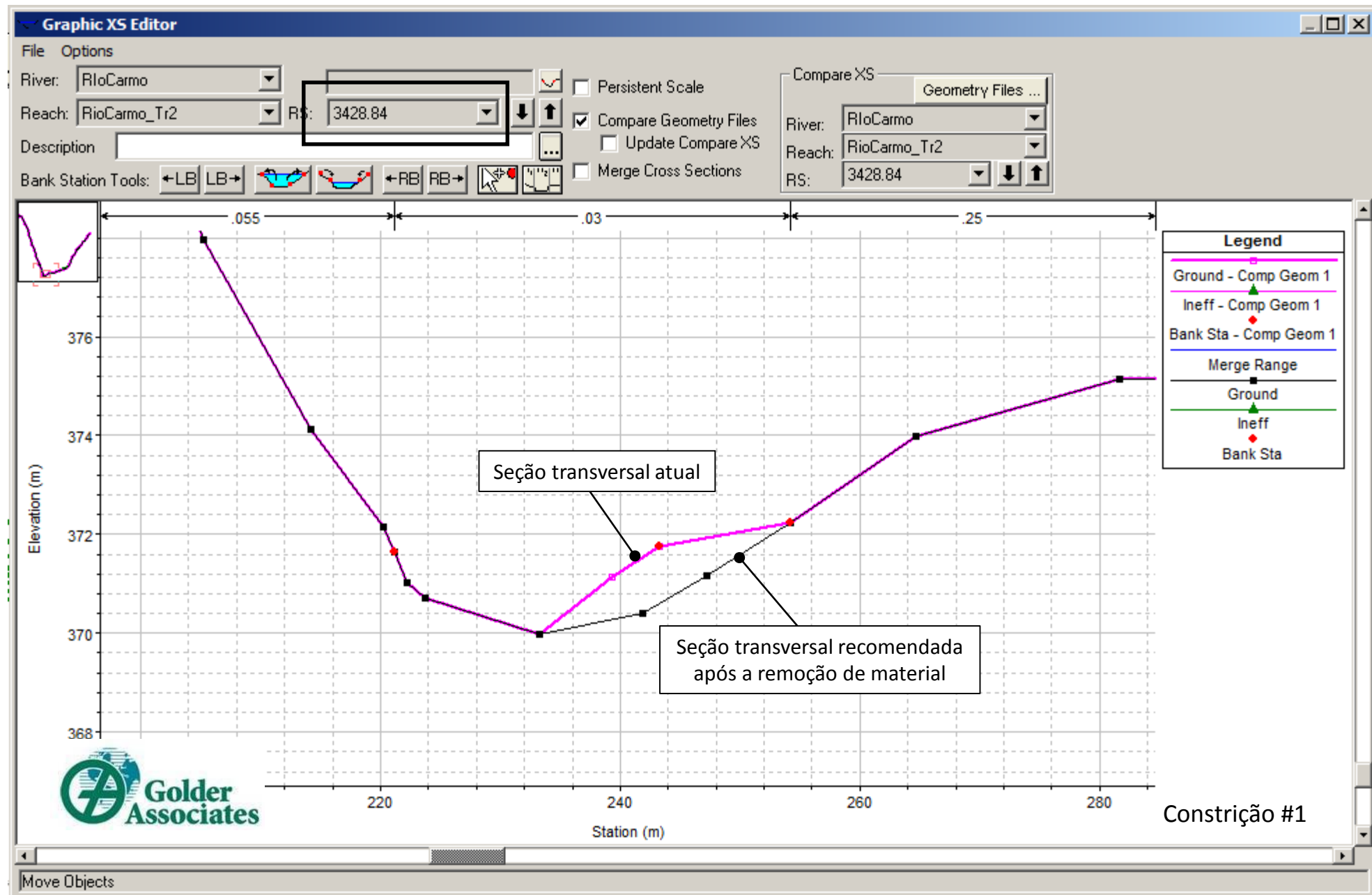
## **ANEXO B**

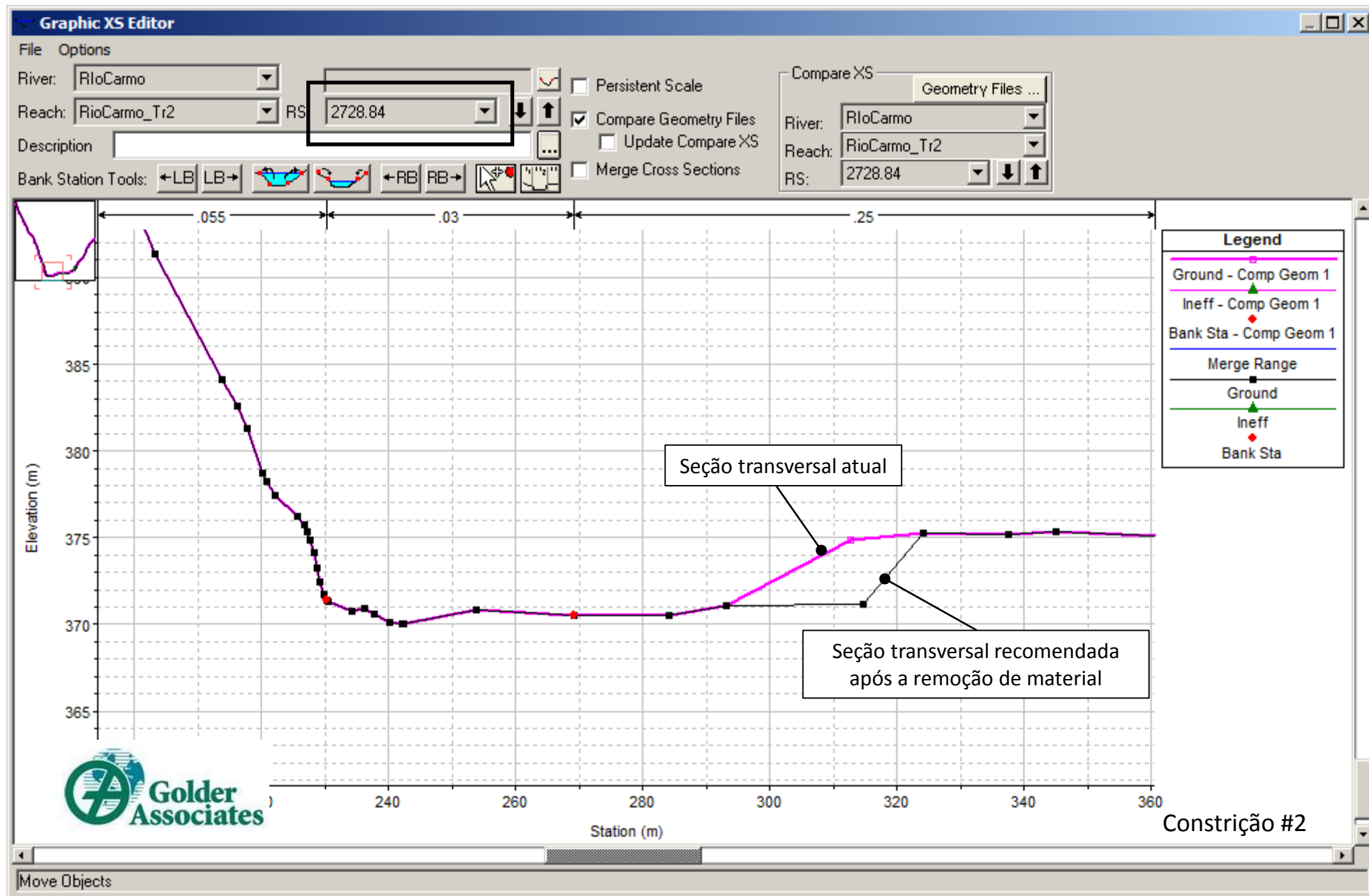
### **Mudanças na Seção Transversal (Remoção de Constrições a Jusante)**

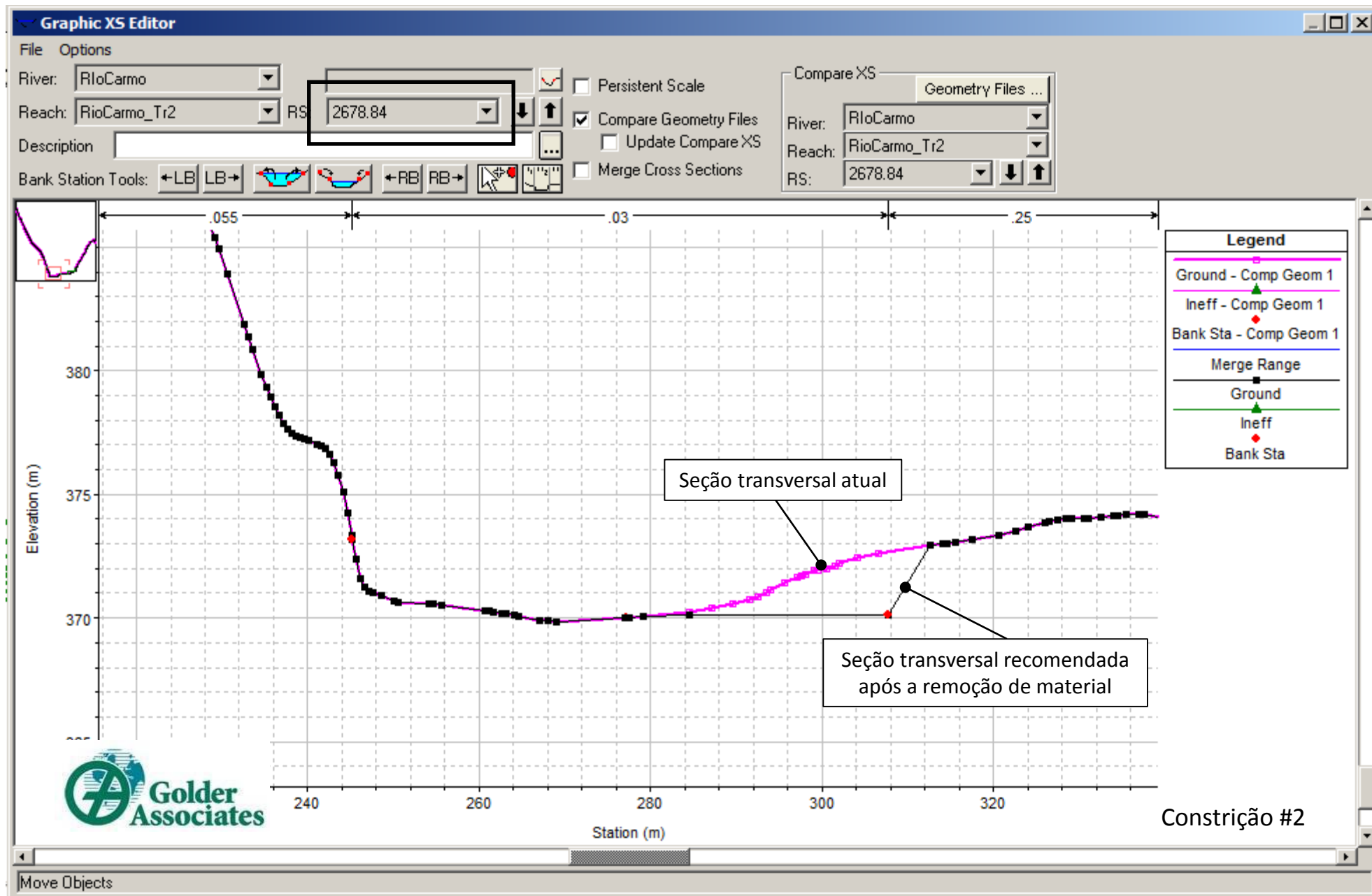


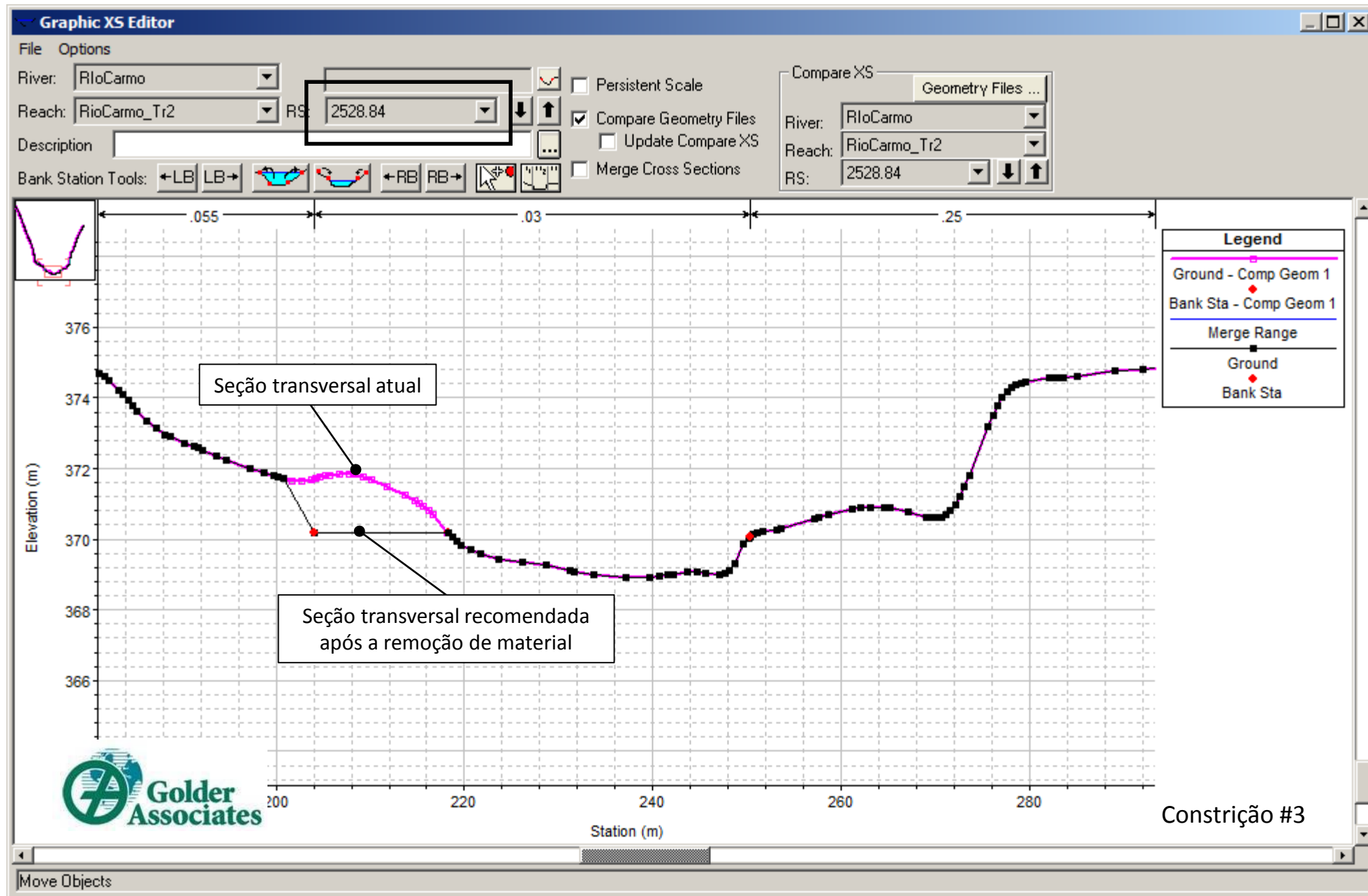


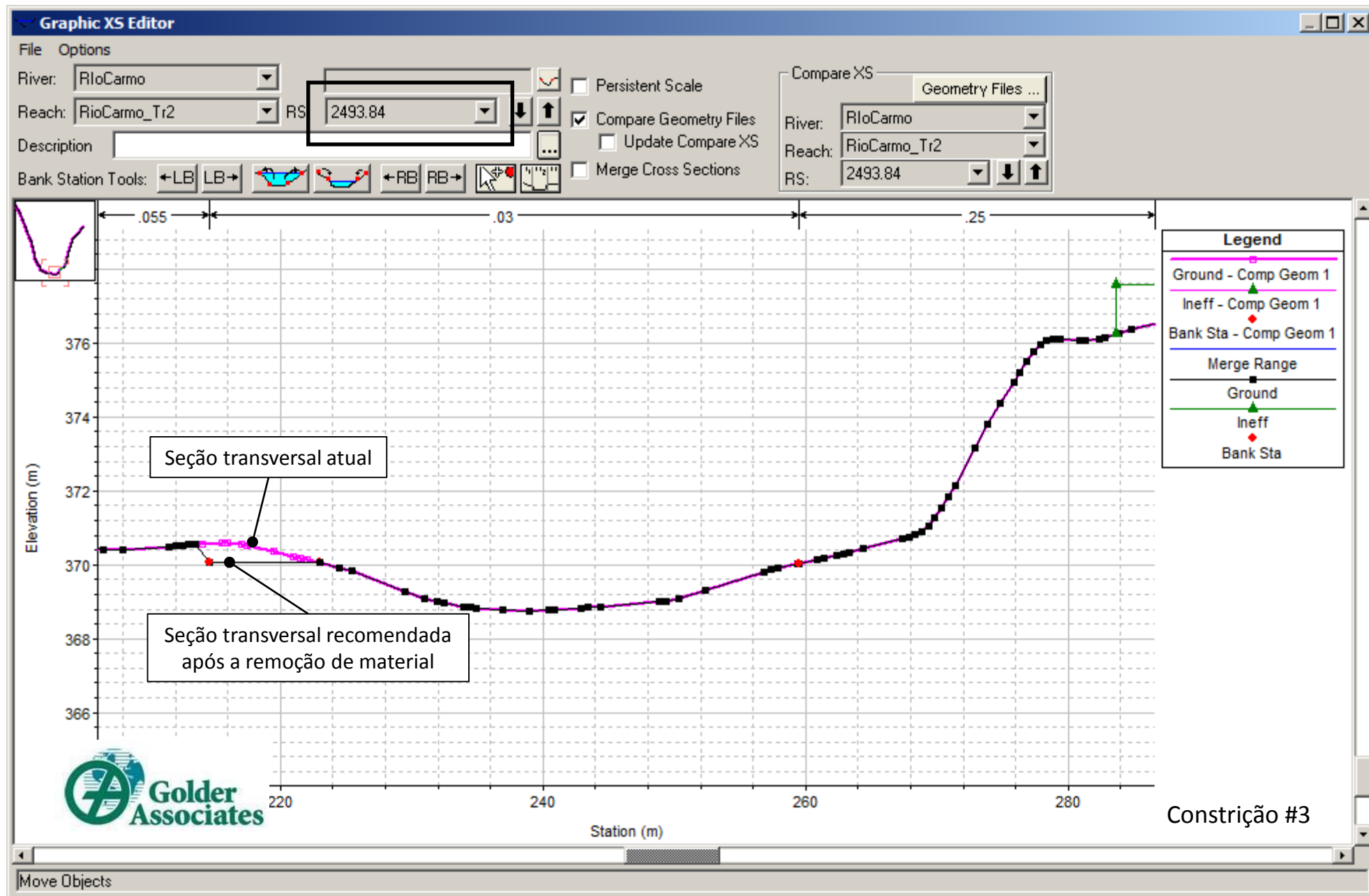




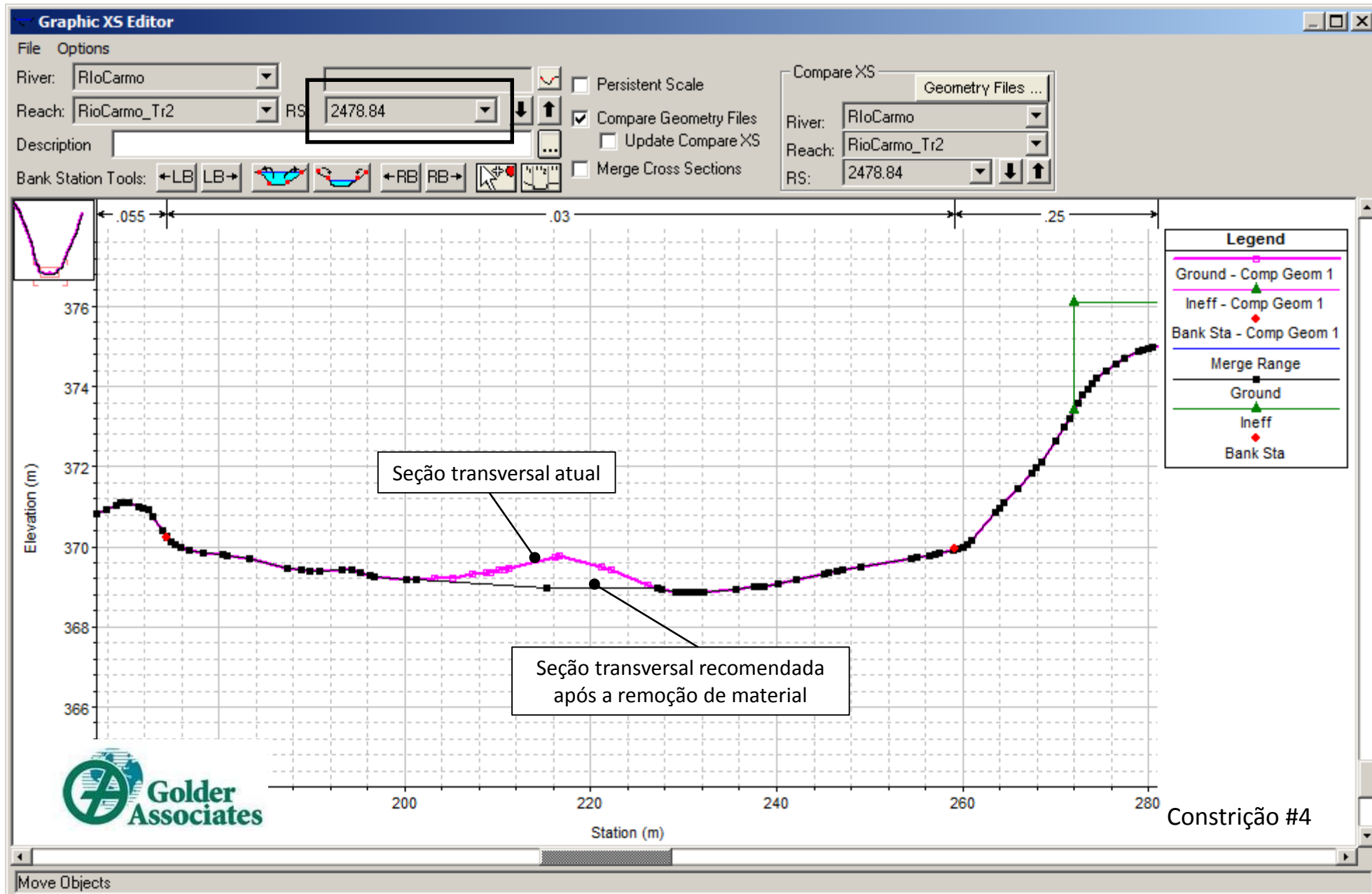


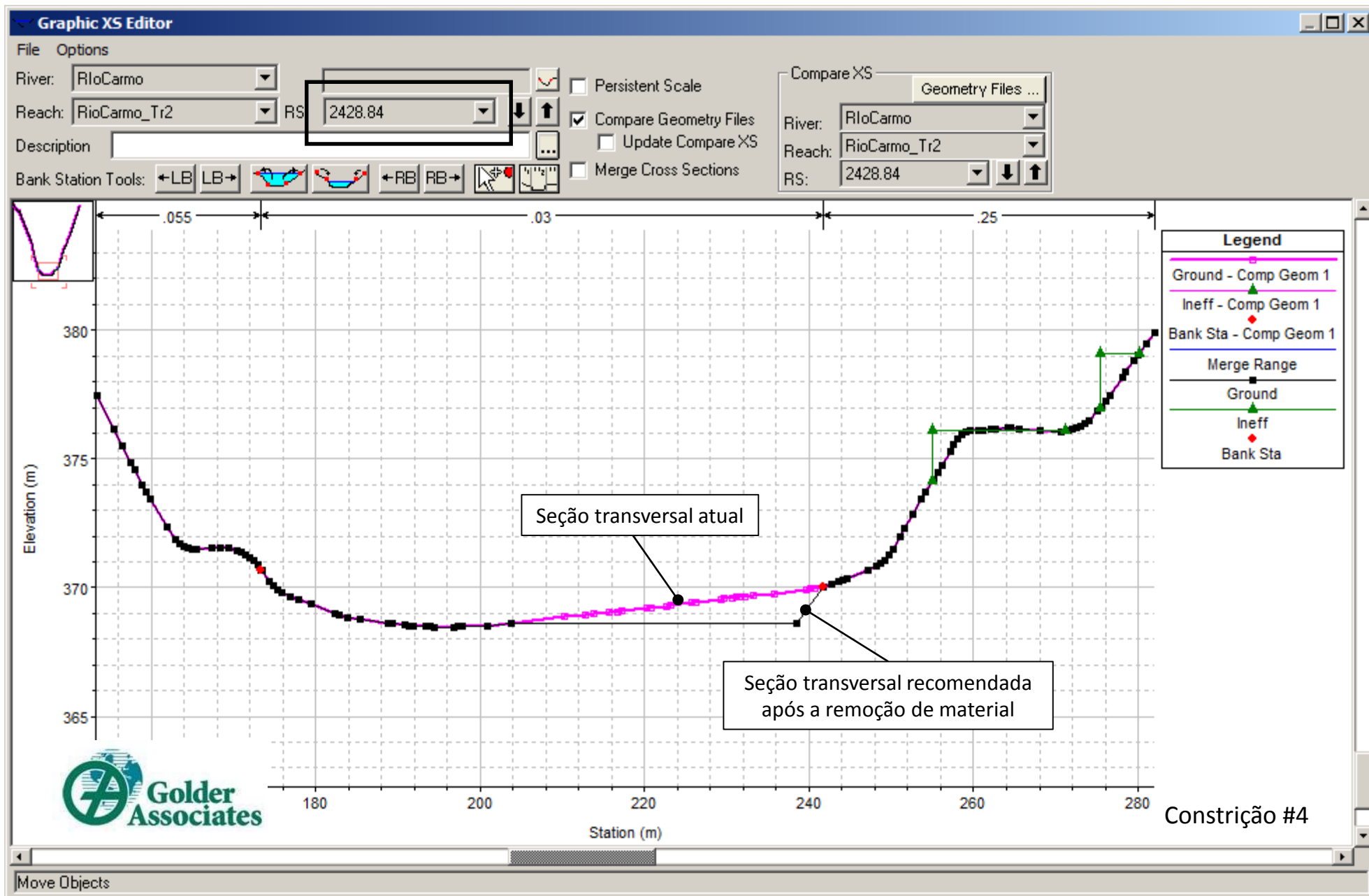


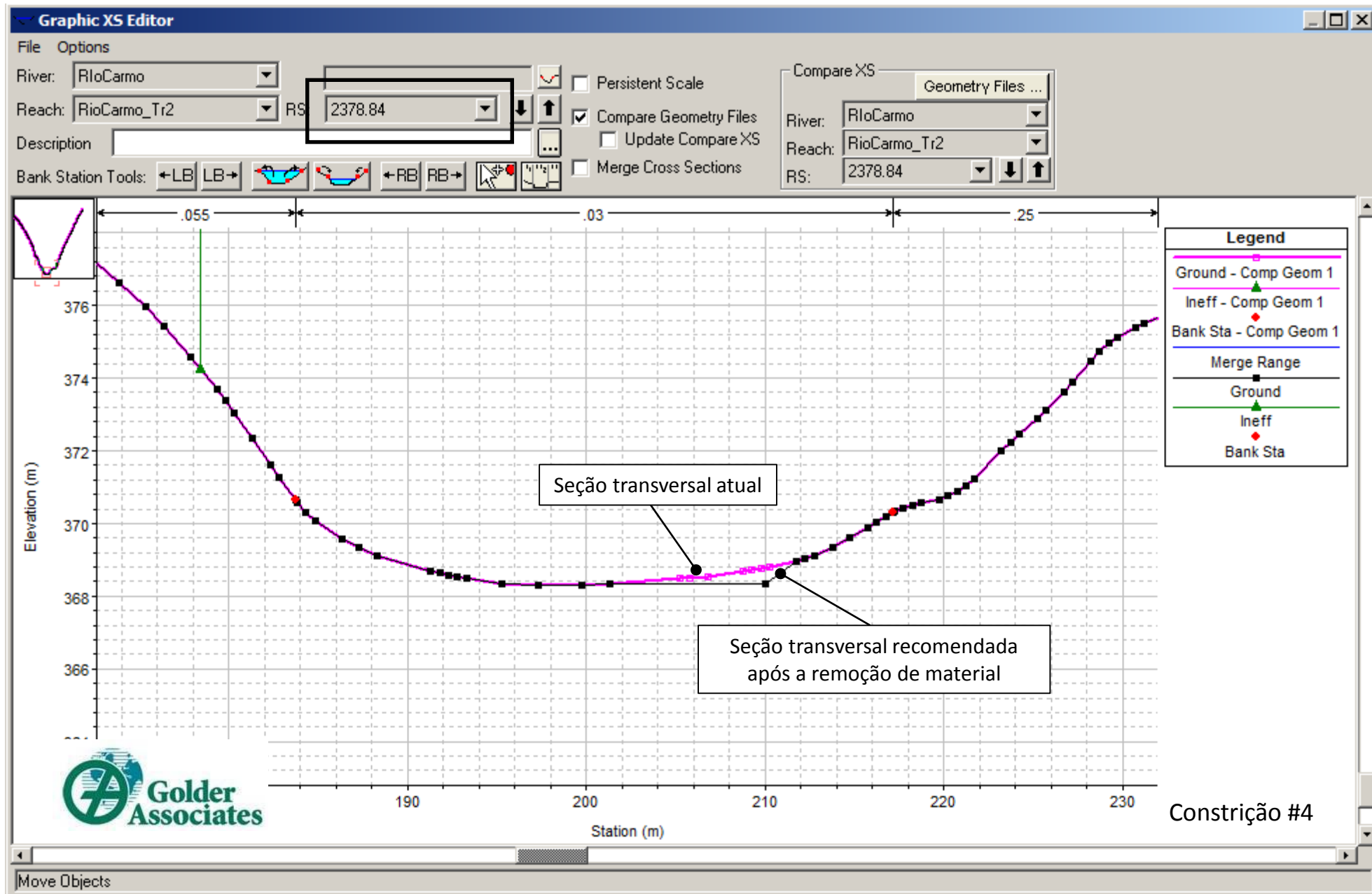


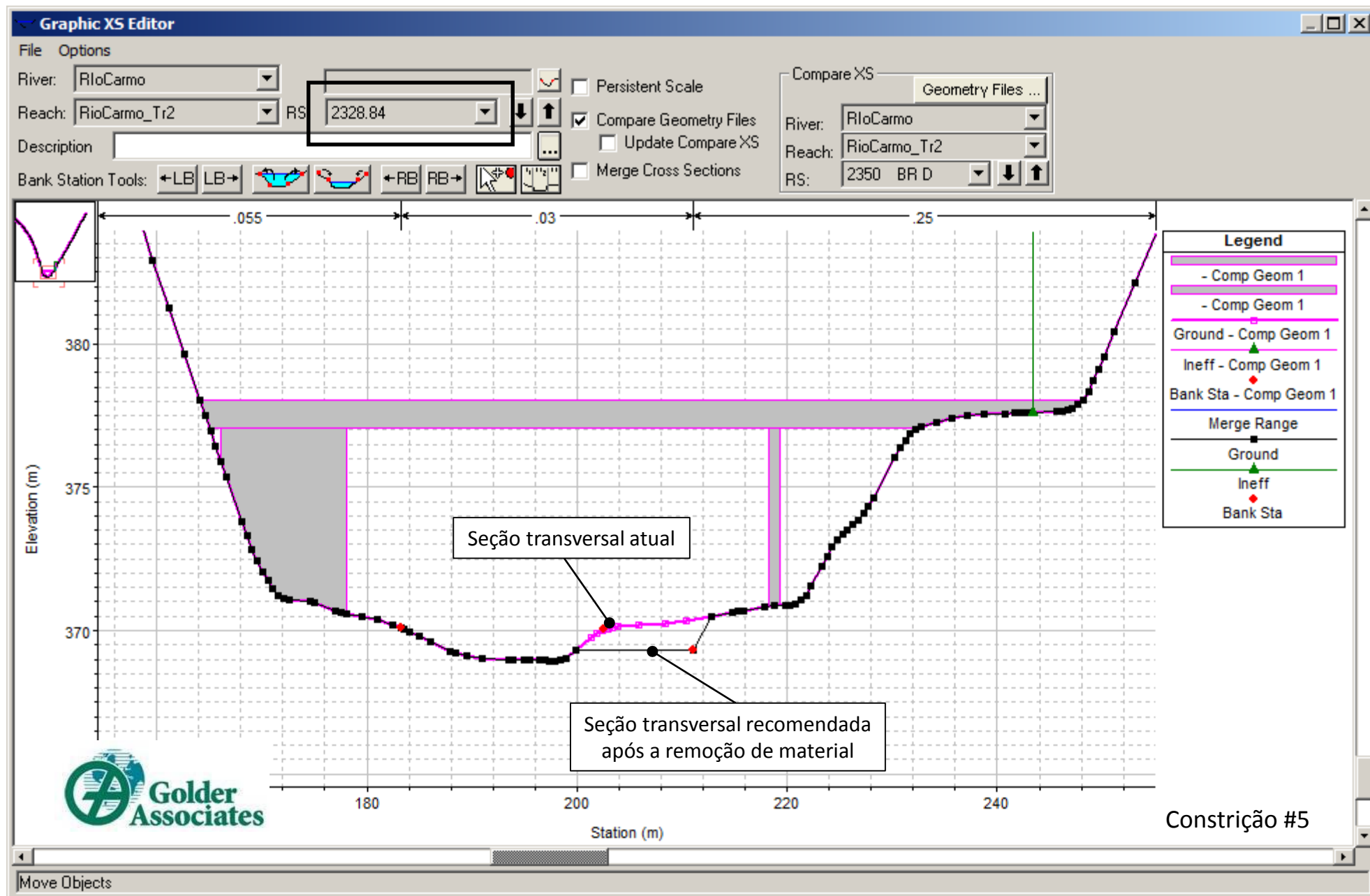


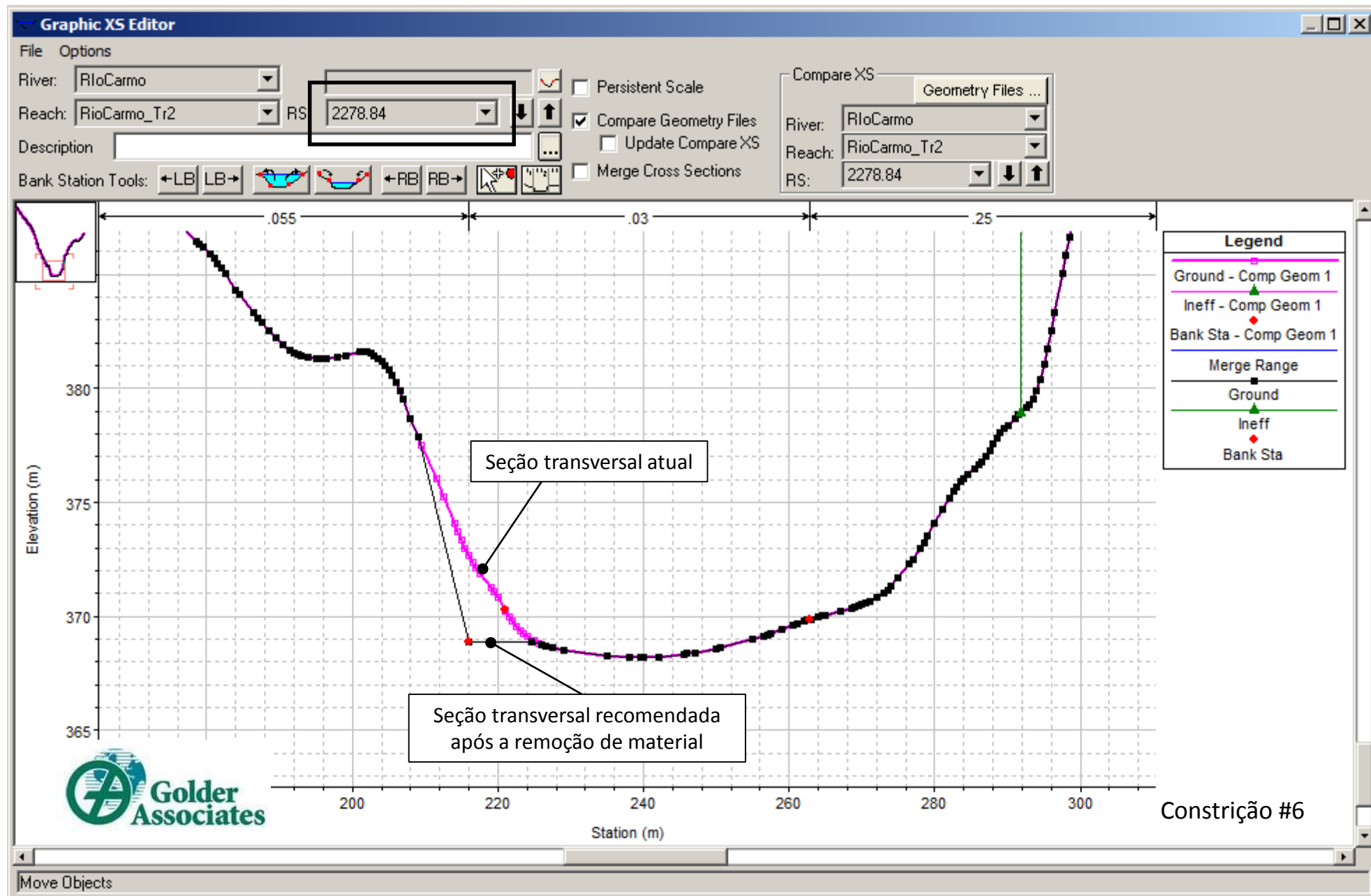
















# **ANEXO C**

## **Manchas de Inundação**



- 
- The map displays an aerial view of a landscape with a river or stream flowing through it. A large area is shaded with a yellow dot pattern, representing the 'Natural Scenario (Pre rupture)'. This area is bounded by a solid blue line, representing the 'Affected Scenario (Post rupture)'. A dashed green line, representing the 'Post Mitigation Scenario (removal of structures downstream)', follows the inner edge of the yellow-shaded area. The map shows a residential area with many small buildings in the lower-left and middle-right sections, and a larger open area with some structures in the upper-right. A small pond is visible in the upper-right. The legend in the top-left corner provides the key for the different scenarios.
- Cenário Natural (Pré ruptura)
  - Cenário Afetado (Pós ruptura)
  - Cenário Pós Mitigação  
(remoção das construções a jusante)











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](http://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](mailto:solutions@golder.com)  
[www.golder.com](http://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**

