



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO COM O USO DE MODELAGEM
HIDRÁULICO-HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA DE SUBSÍDIO PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUE LINEAR

CLÁUDIA CAMPOS DE ALBUQUERQUE

BELO HORIZONTE

2021

CLÁUDIA CAMPOS DE ALBUQUERQUE

DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO COM O USO DE MODELAGEM
HIDRÁULICO-HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA DE SUBSÍDIO PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUE LINEAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Peixoto Amaral

BELO HORIZONTE

2021

22/01/2021

https://sig.cefetmg.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao.jsf?IdDoc=651656

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL - NS



ATA N 1 / 2021 - DCTA (11.55.03)

N do Protocolo: 23062.002181/2021-12

Belo Horizonte-MG, 15 de janeiro de 2021.

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

CLÁUDIA CAMPOS DE ALBUQUERQUE

TÍTULO DO TRABALHO:
DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO COM O USO DE MODELAGEM
HIDRÁULICO-HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA DE SUBSÍDIO PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUE LINEAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 15 de janeiro de 2021.

Banca examinadora:

Luciana Peixoto Amaral

Profa. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Frederico Keizo Odan

Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Vandeir Robson da Silva Matias

Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

(Assinado digitalmente em 15/01/2021 13:49)
FREDERICO KEIZO ODAN
PROFESSOR ENS BÁSICO TECN TECNOLÓGICO
Matricula: 2092847

(Assinado digitalmente em 17/01/2021 14:20)
LUCIANA PEIXOTO AMARAL
PROFESSOR ENS BÁSICO TECN TECNOLÓGICO
Matricula: 1808233

(Assinado digitalmente em 16/01/2021 11:02)
VANDEIR ROBSON DA SILVA MATIAS
PROFESSOR ENS BÁSICO TECN TECNOLÓGICO
Matricula: 1565121

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 1, ano: 2021, tipo: ATA, data de emissão: 15/01/2021 e o código de verificação: 4361c30baf

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | OBJETIVO | 13 |
| 2.1. | Objetivo geral | 13 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 13 |
| 3. | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 3.1. | Urbanização | 14 |
| 3.1.1. | <i>A urbanização no Brasil</i> | <i>14</i> |
| 3.2. | Bacia hidrográfica..... | 16 |
| 3.3. | Drenagem urbana..... | 17 |
| 3.3.1. | <i>Drenagem urbana sustentável</i> | <i>18</i> |
| 3.4. | Inundações urbanas..... | 20 |
| 3.4.1. | <i>Alternativas para minimização dos impactos das inundações</i> | <i>21</i> |
| 3.5. | Gestão hídrica | 23 |
| 3.5.1. | <i>Gestão pluvial da cidade de Belo Horizonte</i> | <i>24</i> |
| 3.6. | Aspectos legais | 29 |
| 3.6.1. | <i>Projeto de Lei PL 119/2017: Dispõe sobre a cobertura de ribeirões e córregos no município de Belo Horizonte.</i> | <i>30</i> |
| 3.6.2. | <i>Lei 7.165/1996: Institui o Plano Diretor do município de Belo Horizonte</i> | <i>31</i> |
| 3.6.3. | <i>Lei 11.445/2007 e Lei 13.308/2016: Estabelecem as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico</i> | <i>35</i> |
| 3.7. | Estudos Hidrológicos..... | 37 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.8. | Estudos Hidráulicos | 45 |
| 3.9. | Modelos Hidráulicos e Hidrológicos | 46 |
| 3.9.1. | <i>Modelo HEC-HMS</i> | 46 |
| 3.9.2. | <i>Modelo HEC-RAS</i> | 47 |
| 3.10. | Quantum GIS | 47 |
| 4. | METODOLOGIA..... | 49 |
| 4.1. | Escolha e caracterização da área de estudo | 49 |
| 4.2. | Coleta, tratamento e análise dos dados de entrada dos modelos | 63 |
| 4.3. | Modelagem Hidrológico-Hidráulica..... | 74 |
| 4.4. | Compilação e Análise dos Resultados | 76 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 78 |
| 5.1 | Modelagem Hidrológica | 83 |
| 5.2 | Modelagem Hidráulica | 89 |
| 5.3 | Outras propostas de criação de áreas verdes na bacia em estudo | 99 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 113 |
| 7 | PROPOSTA DE CONTINUIDADE | 116 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 117 |

AGRADECIMENTOS

O sonho de ser Engenheira Ambiental e Sanitarista se concretiza, e é uma conquista que sei que é celebrada não só por mim, mas também por todos à minha volta, que torceram e viveram intensamente este sonho, tanto nos momentos de celebração quanto nas dificuldades.

Agradeço inicialmente a toda minha família, que desde o início do curso me incentivou e me apoiou. Sem vocês eu não seria capaz de nada, vocês são incríveis e eu não poderia escolher pessoas melhores para estar ao meu lado nesta jornada da vida.

Agradeço ao CEFET-MG pela oportunidade de vivenciar experiências maravilhosas que levarei para minha vida, e por me tornar a profissional capacitada que me sinto. Agradeço a todos os professores por todos os ensinamentos, podem ter certeza que cada um é parte fundamental desta minha conquista.

Agradeço a Deus por me guiar e ser a luz nos momentos difíceis.

Agradeço ao Pedro, meu companheiro que esteve ao meu lado também cursando Engenharia Ambiental e Sanitária e sempre me incentivou a ser melhor a cada dia.

Agradeço à equipe da SUDECAP pela atenção e por se mostrarem disponíveis no fornecimento dos dados necessários ao trabalho.

É difícil citar todos que sei que compartilham desta conquista comigo, mas sei que cada um sabe o quanto foi fundamental nesta jornada ainda que eu não cite cada nome.

Finalizo esta etapa da minha vida com a certeza de que vivi este curso intensamente, aproveitando todas as oportunidades. Sei que mesmo as dificuldades me fizeram crescer muito, e as vivências práticas me deram a oportunidade de perceber o quanto tive uma boa base de conhecimento, o qual tenho colocado em prática. Me formo com a certeza de que tenho muito a contribuir para a sociedade com esta formação.

Agradeço por fim à Luciana, que foi uma professora incrível e orientadora melhor ainda durante o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

ALBUQUERQUE, delimitação da área de inundação com o uso de modelagem hidráulico-hidrológica como ferramenta de subsídio para implementação de parque linear. 2021. 228f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

A implementação de técnicas que visem atenuar os efeitos da falta de planejamento urbano se faz cada vez mais necessária, visto que os impactos das intervenções antrópicas no meio ambiente estão sendo cada vez mais foco de notícias que envolvem desastres ambientais com perdas, como é o caso das inundações urbanas. Visando atenuar os eventos de inundação com perdas socioambientais, o presente estudo objetiva delimitar a área de inundação de um trecho do Córrego Cachoeirinha, localizado na região Nordeste de Belo Horizonte, de forma a subsidiar a análise de implementação de um parque linear. Para isto, foram associados modelos hidrológico e hidráulico com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permitiram a caracterização e obtenção de dados da bacia hidrográfica para avaliar a viabilidade e os efeitos da implementação do projeto proposto. A utilização dos modelos com auxílio de ferramentas do SIG se mostrou eficiente para analisar os fenômenos hidrológicos da bacia estudada e verificar os efeitos da intervenção proposta no sentido de se aumentar o tempo de concentração da bacia a partir do aumento da área infiltrável. Como propostas para isto, os parques lineares se mostraram versáteis por permitirem a adaptação do ambiente já existente na bacia. O trabalho realizado mostrou que a permeabilidade da bacia de estudo é baixa, sendo que as propostas de intervenção apresentadas no trabalho teriam potencial de aumentar esta taxa. Contudo, a implementação de parques lineares não se mostrou suficiente para que os eventos de inundação não ocorram no trecho crítico do Córrego Cachoeirinha.

Palavras-Chave: Inundações, Planejamento Urbano, Parque Linear, Modelagem Hidrodinâmica, Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Delimitation of the flooding area using hydraulic-hydrological modeling as a subsidy tool for the implementation of a linear park. 2021. 228p. Monography (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

The implementation of techniques that aim to mitigate the effects of the lack of urban planning is becoming more and more necessary, since the impacts of anthropic interventions on the environment are increasingly being the focus of news involving environmental disasters with losses, as is the case of. Urban flooding aiming to mitigate flood events with socio-environmental losses, the present study aims to propose a linear park project to minimize the peak flow of the Córrego Cachoeirinha, located in the Northeast region of Belo Horizonte. For this, hydraulic hydrological models were associated with a Geographic Information System (GIS), which allowed the characterization and data collection of the hydrographic basin to assess the feasibility and the effects of the implementation of the proposed project. The use of the models with the help of GIS tools proved to be efficient to analyze the hydrological phenomena of the basin and to verify the effects of the proposed intervention in order to increase the time of concentration of the basin from the increase of the infiltrable area. As proposals for this, the linear parks proved to be versatile because they allow the adaptation of the existing environment in the basin. The research carried out showed that the permeability of the study basin is low, and the intervention proposals presented in the work would have the potential to increase this rate. However, the implementation of linear parks has not proved to be sufficient for flooding events not to occur in the critical section of channel.

Keywords: Floods, Urban Planning, Linear Park, Hydrodynamic Modeling, Geographic Information System.

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada e intensa tem sido responsável por muitos efeitos adversos nos grandes centros urbanos, dentre os quais se destacam impactos ambientais como poluição de rios e afluentes, aumento das inundações, crescimento da taxa de desmatamento com conseqüente redução da biodiversidade local, maior ocorrência de desabamentos e poluição atmosférica (TUCCI, 2017).

Essa chamada desordem do processo de urbanização está associada ao processo de urbanização que ocorre de forma acelerada, onde não há tempo para que o ocorra o devido planejamento urbano e gestão das ocupações onde o ambiente existente seja considerado.

Castro (2007) expõe que as transformações ambientais resultantes do processo de urbanização têm resultado em alterações do ciclo hidrológico, modificando tanto a qualidade e quantidade das águas quanto os regimes dos corpos hídricos. Cidade (2013) reforça essa ideia, afirmando que o uso e ocupação do solo decorrente da urbanização têm alta capacidade de intensificar os impactos de eventos naturais, como as inundações.

As inundações consistem nos eventos onde o nível d'água dos canais ultrapassam sua cota máxima, fazendo com que as águas pluviais passem a ocupar as planícies de inundação, ou seja, as áreas de várzea dos corpos hídricos.

A frequente ocorrência de inundações urbanas tem chamado a atenção para a necessidade da busca por soluções modernas e eficientes nesse contexto. Segundo Canholi (2014), essas soluções estão relacionadas à mudança na ideologia de pensamento da Drenagem Urbana Higienista, que defende a canalização de cursos d'água em áreas urbanas. Dessa forma, os conceitos e ideias tratados na Drenagem Urbana Sustentável, que tem por objetivo a diminuição do escoamento superficial resultante da urbanização, têm tido destaque.

As medidas adotadas no âmbito da Drenagem Urbana Sustentável visam diminuir a vazão de escoamento superficial nos centros urbanos a partir de técnicas (de macro ou microdrenagem) a partir das quais seja possível a integração com o ambiente preexistente.

Dentro desta temática, os parques lineares surgem como uma alternativa para amortecimento de cheias, integrando-se ao ambiente urbano, protegendo as áreas ribeirinhas e diminuindo os riscos para a população que esteja ocupando áreas de inundação (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Os parques lineares são intervenções de cunho urbanístico que tem por objetivo a criação ou recuperação de áreas verdes que se relacionem com a rede hídrica local, sendo também instrumentos de programas ambientais urbanos que visem ao planejamento e à gestão de áreas degradadas (MARTINS, 2015).

Esses parques urbanos são, segundo Tucci (2005), uma importante ferramenta na busca pelo equilíbrio entre a urbanização moderna e a preservação ambiental, uma vez que a versatilidade de medidas para aumento das taxas de infiltração nas zonas urbanas a partir da implementação de parques é muito vantajosa.

Os parques lineares já existentes têm se mostrado uma ferramenta efetiva na diminuição do escoamento superficial com conseqüente atenuação das inundações em sua região de implantação, como destaca o Projeto Técnico desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2013), na cidade de São Paulo.

Além disso, as vantagens dos parques lineares estão associadas à questões como ambiente de lazer urbano para a comunidade, melhoria do microclima e da qualidade do ar e possibilidade de contato com fauna e flora nativas dentro do meio urbano.

No âmbito do planejamento e do estudo da viabilidade da implantação de um parque linear, faz-se necessário o conhecimento das áreas inundáveis de um corpo hídrico, uma vez que o mapeamento dessas áreas é o que permitirá a identificação dos pontos críticos que serão foco do projeto.

A identificação dos locais onde os eventos de inundação correspondem a um impacto negativo pode se dar a partir do histórico do local, sendo que na maioria das vezes existem dados e reportagens que apontam a criticidade com que tais eventos afetam a população local. Esses registros podem ser facilmente identificados em matérias e reportagens que tratam das inundações ocorridas após eventos de precipitação intensa.

Para desenvolver estudos de viabilidade na implantação de parques lineares como medida para o amortecimento de cheias de cursos d'água urbanos, a associação de modelos hidráulico-hidrológicos a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) têm se apresentado eficiente. O trabalho desenvolvido por Chargel e Hora (2014) reforça que integrar modelos como HEC-HMS e HEC-RAS e ferramentas do SIG são eficientes para delimitar as zonas de inundação críticas de canais.

De acordo com Friedrich (2007), a implantação de parques lineares urbanos pode se dar em duas vertentes, uma mais recorrente, onde são construídas áreas livres para lazer com grande área inundável e outra mais emergente, onde há a recuperação, manutenção e regeneração dos

meios físicos e bióticos.

As medidas consideradas emergentes estão relacionadas à restauração do ambiente urbanizado para que este se aproxime o máximo possível ao que era antes do processo, principalmente com relação à sua biodiversidade.

Quando os eventos de inundação se tornam críticos a ponto de que há iminência na adoção de medidas, a regeneração dos ambientes para o que havia pré-urbanização deve ser considerada, e os parques lineares, devido à sua versatilidade, podem consistir no conjunto de medidas de controle de drenagem urbana na fonte para minimização das vazões que chegam aos córregos urbanos (FRIECRICH, 2007).

Na cidade de Belo Horizonte já existem parques lineares implantados, e estes têm apresentado bons resultados, segundo a prefeitura, tanto do ponto de vista ambiental, auxiliando no amortecimento das cheias, quanto do ponto de vista ecológico (já que esses parques trazem para o meio urbano várias espécies de árvores e de aves que se abrigam nessas árvores), bem como do ponto de vista paisagístico, trazendo conforto visual, locais de lazer e integração ao ambiente.

A questão social também deve ser analisada nos projetos de implementação dos parques lineares, uma vez que qualquer intervenção estrutural no meio urbano envolve diretamente a população que ocupa estes locais. A Constituição Federal Brasileira, de 1988, prevê a função social da propriedade, cabendo ao poder público gerenciar o espaço disponível nas cidades, priorizando sempre o bem coletivo e não as individualidades dos proprietários.

Contudo, segundo Lefebvre (2000), é de extrema importância no âmbito da análise do espaço e sua utilização no meio urbano e proposição de intervenções de cunho estrutural, que a relação de apropriação e identificação dos espaços por meio de uma perspectiva afetiva seja considerada. Isso porque muitas vezes projetos que estão relacionados a desapropriações de moradores e demolição de moradias geram conflitos entre as prefeituras e a população, a qual estabeleceu uma relação com o lugar que ocupa.

Dentre os parques lineares que já estão implantados em Belo Horizonte, de acordo com o site da prefeitura, destacam-se o parque linear da Avenida José Cândido da Silveira, no Bairro Cidade Nova, região Nordeste de Belo Horizonte, e o parque linear do Vale do Arrudas, no bairro Vera Cruz, região Leste da capital.

Segundo o Art. 2º, do Projeto de Lei PL 119/2017, “o poder público deverá buscar alternativas para revitalizar áreas verdes remanescentes e parques lineares, com o propósito de favorecer a recuperação dos cursos hídricos do município de Belo Horizonte”. A proposição

trazida por esse Projeto reforça a necessidade de estudos como os que serão desenvolvidos no presente trabalho.

Ou seja, a questão da não capacidade dos córregos urbanos com relação ao aporte do volume escoado superficialmente é um problema atual, já que o processo de urbanização que se deu em alguns países tende a aumentar cada vez mais esses volumes. Os efeitos desta situação vêm sendo observados na maior parte das metrópoles, o que torna essa questão um problema de escala global.

Devido à esta proporção, a problemática apresentada possui grande relevância, sendo um desafio a busca por soluções e tecnologias que sejam capazes de aportar os volumes excedentes (evitando sobrecarga de vazões nos cursos d'água) e, ao mesmo tempo, integrar-se com as ocupações já existentes nas áreas ribeirinhas.

A alternativa da implantação de parques lineares se mostra uma proposta viável nesse sentido, resultando em diminuição do volume escoado superficialmente a partir de técnicas que aumentem infiltração, armazenamento e retardamento de descarga hídrica urbana. Esses parques possuem ainda a capacidade de se integrar ao ambiente preexistente e ainda oferecer conforto visual, opções de lazer para a população e melhoria do microclima local.

Assim, a alternativa de implementação de parques lineares como forma de atenuação do volume escoado superficialmente nas cidades e que chega aos córregos urbanos se apresenta como uma boa opção.

Porém, para que essa medida seja efetiva, é necessário o mapeamento das áreas que estão susceptíveis à inundação nos cursos d'água foco deste tipo de projeto, e os modelos hidrológicos-hidráulicos associados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm se mostrado eficazes nesse sentido.

2 OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal delimitar as áreas inundáveis de um trecho do Córrego Cachoeirinha, localizado na região Nordeste da cidade de Belo Horizonte (MG), utilizando modelagem hidrológico-hidráulica associada ao SIG, de forma a subsidiar o projeto de viabilidade técnica da implantação de parque linear para atenuação das cheias do canal.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, têm-se:

- Identificar e caracterizar uma área de estudo que seja susceptível a inundações para verificar a viabilidade de implantação de um parque linear, com base no histórico observado da área de estudo;
- Analisar a aplicação de modelos hidráulicos e hidrológicos conjuntamente com SIG para determinação de áreas inundáveis;
- Avaliar o desempenho da proposição de um parque linear no que concerne ao amortecimento de cheias; e
- Realizar uma pesquisa bibliográfica com relação ao uso de modelagem matemática como subsídio de propostas de projetos para intervenção urbanística.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Urbanização

A urbanização pode ser definida como o processo de formação de uma sociedade que não tenha características rurais. Segundo Monte-Mór (2006), dificilmente é possível desassociar, em toda a história humana, a relação entre a cidade e o campo, na qual as cidades sempre estiveram em posição de domínio com relação aos ambientes rurais.

Porém, como exposto por Lefebvre (2008), mesmo que a correlação em si seja antiga, apenas após certo tempo os conceitos de *urbano* e *rural* foram efetivamente definidos e, dessa forma, foi possível estabelecer que sua caracterização engloba as esferas cultural e socioeconômica.

Por mais que conceitualmente essas áreas sejam delimitadas e diferentes, atualmente percebe-se que, principalmente devido à expansão urbana, essas regiões estão tornando-se cada vez mais difusas, sendo a concentração populacional a forma mais eficaz de discerni-las.

O processo de urbanização em si está relacionado à ocupação de pessoas em um espaço limitado (a cidade) e a execução de atividades industriais e comerciais ao invés de agropecuárias (SILVA et al., 2014). E, sendo um processo, a urbanização se dá de diversas formas de acordo com as particularidades de cada caso.

Analisando os processos de urbanização, é possível observar que nos países subdesenvolvidos, como é o caso do Brasil, houve uma urbanização de forma rápida, o que se deve a esse evento ter acontecido tardiamente e de forma acelerada (MORAIS, 2006).

Segundo Abelém (2018), a urbanização acelerada é decorrente do aumento da demanda por serviços urbanos, cabendo ao Estado lidar com os impactos decorrentes do processo. Nesse âmbito, é perceptível a relação entre a intensificação da urbanização e a industrialização, sendo que um marco deste segundo acontecimento foi o êxodo rural.

3.1.1. A urbanização no Brasil

O processo de urbanização foi intensificado no Brasil a partir do século XX, quando o capitalismo industrial se intensificou, havendo a implantação de indústrias no país e então a necessidade de formação dos centros industriais (MONTE-MÓR, 2006).

Com isso, o Brasil teve uma transformação gradual de sua economia, com o crescimento

do setor industrial e diminuição da hegemonia do setor agropecuário. A expansão do setor industrial, segundo Monte-Mór (2006), atraiu a população para as áreas industriais, iniciando assim a formação das cidades.

O crescimento urbano no Brasil tem sido acelerado desde a década de 70, com características de ocupações irregulares e não seguimento de Planos Diretores (quando estes existem) ou normas de loteamento, o que compromete o gerenciamento hídrico dos centros urbanos (TUCCI, 2002).

Isso porque as ocupações irregulares e instalações de empreendimentos de grande porte (como condomínios e mineradoras) não são planejadas, o que prejudica os serviços de saneamento básico, aumentando a susceptibilidade às doenças de veiculação hídrica e levando à disposição inadequada de resíduos sólidos (POMPÊO, 2000).

Com o êxodo rural advindo da busca por oportunidades nos novos setores empregatícios, houve a formação dos centros urbanos que se expandiram e formaram uma sociedade. Todo esse processo se deu de forma acelerada, pois o Brasil se industrializou visando seguir a tendência dos países desenvolvidos, que já estavam mais avançados no processo (MARTINE *et al.*, 2016).

Tendo todo o processo ocorrido de forma rápida, não houve um planejamento com relação que levasse em consideração as questões ambientais como prioridade, foram consideradas questões econômicas majoritariamente para as ocupações (CASTRO, 2007).

Dessa forma, os impactos da ocupação das áreas urbanas não foram considerados, tampouco os cenários de expansão e possíveis consequências. Isso é reforçado por Mello (2002), que estabelece a relação direta entre as expansões municipais e a degradação ambiental num cenário de falta de planejamento urbano.

Atualmente, já é possível observar os impactos negativos resultantes do tipo de urbanização brasileira, principalmente com relação aos problemas ambientais. Esses impactos vêm se agravando e tendo destaque nos últimos anos, já que as consequências estão afetando diretamente a população, em grande parte através das inundações (SILVA *et al.*, 2014).

De acordo com Tucci (2002), as inundações também são um impacto resultante da urbanização, mas devem ser divididas entre: inundações ribeirinhas, que são um processo natural onde as cheias fazem com que o rio passe a ocupar não só seu leito menor, mas também o leito maior, e as inundações decorrentes da urbanização, que são resultantes do aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização, à ocupação do solo e à canalização de cursos d'água.

As inundações ribeirinhas também se relacionam com a urbanização, já que a falta de planejamento leva a população a ocupar as áreas ribeirinhas e, quando acontecem as cheias, essa população é atingida.

Segundo Boldrin (2005), a urbanização também está diretamente relacionada à elevação das temperaturas e ao aumento da presença de materiais sedimentáveis e de erosões. O aumento da temperatura está relacionado principalmente à escassez de áreas verdes nos centros urbanos e aos materiais utilizados nas construções das cidades.

3.2. Bacia hidrográfica

Segundo Tucci (1997), bacia hidrográfica pode ser definida como um local de captação natural das águas pluviais que converge o escoamento para um ponto de saída, sendo, dessa forma, composta por superfícies de uma rede de drenagem (cursos d'água) que confluem até resultar em um leito único chamado de exutório.

Assim, pode-se considerar a bacia como um sistema, que possui um balanço de entradas e saídas, os quais permitem que seja feita a divisão entre bacias e sub-bacias, conectadas pelos sistemas hídricos. Sendo possível estabelecer essas divisões, trabalhar com bacias em sua totalidade ou com as sub bacias depende do objetivo em questão (PORTO e PORTO, 2008).

Isso porque muitas vezes as bacias possuem grande extensão e se torna mais fácil atingir o objetivo, seja relacionado a trabalhos e pesquisas, a resolução de problemas ou estabelecimento de políticas públicas, trabalhando com menores extensões de área. A possibilidade de subdividir as bacias é uma importante ferramenta, especialmente porque existem bacias hidrográficas que ultrapassam territórios, seja de municípios, estados ou mesmo países.

Assim, para que o poder público possa atuar dentro de sua jurisdição e de forma efetiva, torna-se necessário dividir o sistema hidrográfico. Segundo Porto e Porto (2008), o tamanho ideal para uma bacia irá depender da abrangência problemática de interesse, ressaltando-se que o território de uma bacia compreende também todas as atividades ali desenvolvidas (comércios, moradias, indústria, agropecuária, áreas verdes etc.), sendo de fato um sistema, onde o que acontece na bacia hidrográfica é reflexo do uso e ocupação de seu território e dos usos da água naquele local.

No sentido de gestão e planejamento com relação aos recursos hídricos, a subdivisão das bacias hidrográficas em bacias elementares surge como uma ferramenta. As bacias

elementares são, segundo Paiva e Paiva (2001), bacias de pequena ordem (geralmente com área de até 5 km²) onde ocorrem todos os processos elementares do ciclo hidrológico.

Na cidade de Belo Horizonte, a prefeitura utiliza as bacias elementares para sua gestão, sendo estas delimitadas em função dos principais córregos da cidade. Essa subdivisão é adotada no município pois as bacias as quais pertencem esses córregos tem extensão muito grande, possuindo assim uma área heterogênea, tanto em aspectos físicos e geomorfológicos quanto sociais, relativos ao uso e ocupação do solo.

No total, Belo Horizonte possui 111 bacias elementares, monitoradas e geridas pela prefeitura, que considera as particularidades de cada uma delas para a adoção de medidas e para o gerenciamento adequado (BELO HORIZONTE, 2009).

3.3. Drenagem urbana

A drenagem urbana está relacionada às medidas públicas de saneamento e tem por objetivo escoar as águas pluviais do ambiente urbano para cursos d'água (SÃO PAULO, 1999).

Atualmente, as principais obras relacionadas à drenagem urbana são canalizações e cobertura dos canais, que já mostraram efeitos adversos com relação ao aumento de escoamento superficial (TUCCI, 2012).

Cardoso Neto (2014) defende que o sucesso dos sistemas de drenagem está associado não apenas a técnicas de engenharia, mas também ao apoio da sociedade envolvida, que deve ser conscientizada e, dessa forma, colaborar para o funcionamento efetivo destes sistemas.

Os sistemas de drenagem urbana atuais são elaborados de acordo com a ótica higienista, onde as águas pluviais são direcionadas para as sarjetas, que as transportam para as galerias, sendo que para isso essas águas passam pelas bocas de lobo, que são os meios de coleta.

Esses sistemas têm por objetivo coletar as águas pluviais e drená-las para a disposição final da forma mais rápida possível, o que gera um aumento pontual do volume dos receptores durante e logo após as chuvas, podendo assim gerar diversos impactos (KIPPER, 2015). Dentre esses impactos, as inundações são os mais perceptivos e com potencial de ocasionar consequências mais graves.

Atualmente, existem técnicas de drenagem urbana que se baseiam no controle na fonte, devido ao entendimento da importância da infiltração e da necessidade de armazenamento da água pluvial no local em que ela foi gerada (POMPÊO, 2000). Essa linha de estudo é chamada de drenagem urbana sustentável.

3.3.1. *Drenagem urbana sustentável*

Visando amenizar as altas taxas de volume escoado superficialmente resultantes da alta taxa de impermeabilização do solo nos centros urbanos, surgem as técnicas compensatórias que compõem os sistemas de drenagem urbana sustentável.

Segundo Canholi (2014), o conceito de drenagem urbana sustentável é resultante da necessidade de fazer com que as águas drenadas permaneçam por mais tempo nas bacias através da recuperação das taxas de infiltração que existiam antes da ocorrência da urbanização.

O controle do escoamento se torna necessário quando a urbanização sem planejamento resulta em impermeabilização, desmatamento, ocupações irregulares, assoreamento dos cursos d'água e canalização de rios (POMPÊO, 2000).

Essas questões geram impactos que ocasionam na necessidade de medidas sustentáveis, que visem à proteção dos cursos (manutenção da qualidade e da quantidade das águas), estabelecimento de áreas verdes e prevenção de inundações através do controle do escoamento superficial, tudo isso aliado ao Plano Diretor das cidades para uma gestão urbana eficiente (KOBAYASHI *et al.*, 2008).

Buscando esse tipo de solução, as premissas adotadas na drenagem urbana sustentável resultam nas Técnicas Compensatórias (TCs). Essas TCs consideram os impactos da urbanização em sua concepção e devem ser combinadas dentro do sistema de drenagem para propiciar a infiltração e/ou armazenamento das águas pluviais, aumentando o tempo de permanência na bacia e, assim, atenuando as vazões de pico e o volume de escoamento superficial (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2005).

Para que os sistemas de drenagem baseados em técnicas compensatórias sejam eficientes, essas técnicas se dividem entre: Técnicas de Controle na Fonte, Técnicas Lineares de Controle no Sistema Viário e Técnicas de Controle a Jusante (CANHOLI, 2014. No Quadro 3.1 é apresentada uma breve descrição e exemplos de cada tipo de técnica, assim como vantagens e desvantagens de sua adoção.

Quadro 3.1 – Tipos de Técnicas Compensatórias.

| | Técnicas de Controle na Fonte | Técnicas Lineares de Controle no Sistema Viário | Técnicas de Controle a Jusante |
|---------------------|--|---|---|
| Descrição | São técnicas de micro drenagem para infiltração das águas pluviais no próprio local onde estas foram geradas, sendo estruturas que ocupam pequenas áreas e visam infiltração vertical. | São técnicas de micro drenagem para infiltração das águas pluviais nos sistemas de infraestrutura viária existente, sendo estruturas mais extensa que visam a infiltração de forma horizontal. | São técnicas de macrodrenagem que têm por objetivo acumulação temporária e/ou infiltração. São grandes estruturas que têm capacidade de aportar águas pluviais de grandes áreas, permitindo controle centralizado do escoamento superficial. |
| Exemplos | Valas de infiltração, trincheiras de infiltração, telhados verdes, poços e reservatórios domiciliares. | Pavimentos permeáveis (asfalto ou concreto), pavimentos de blocos vazados, pavimentos intertravados e pavimentos de alvenaria poliédrica | Bacias de detenção (gramadas, em concreto e enterradas) e bacias de infiltração. Para apenas o armazenamento, as estruturas são denominadas bacias de retenção. |
| Vantagens | Redução dos volumes a serem drenados, capacidade de integração ao meio urbano, economia devido à menores dimensões da tubulação da rede de drenagem convencional, redução dos riscos de inundações, possibilita recarga do aquífero subterrâneo, não há restrições com relação à topografia e não requiere exutório. | Redução das vazões de pico pelo armazenamento temporário, redução do ruído dos pneus, redução de poças, economia devido à menores dimensões da tubulação da rede de drenagem convencional, melhor aderência na circulação de veículos, redução na acumulação de poluentes por decantação e possibilita recarga do aquífero subterrâneo. | Efeitos paisagísticos por serem áreas verdes, armazenamento de grandes volumes que podem ser utilizados para outros fins, no caso de infiltração pode haver recarga do aquífero e não necessita de exutório, quando secas as bacias são locais de lazer, e podem servir como reserva ecológica e a decantação que ocorre nas bacias geram retenção de partículas sólidas. |
| Desvantagens | Pode haver colmatação das superfícies de infiltração, necessidade de constante manutenção, risco de poluição do lençol freático e baixa capacidade de armazenamento. | Pode haver colmatação das superfícies de infiltração, para pavimentos permeáveis há necessidade de constante manutenção, risco de poluição do lençol freático em caso de infiltração e necessidade de estudos exatos para certificar-se de que a estrutura suporta o tráfego local. | Risco para a população que ocupa o entorno das estruturas, ocupa extensas áreas, risco de poluição dos aquíferos em caso de infiltração e risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por estes em locais próximos às bacias. |

Fonte: Adaptado de Baptista, Nascimento e Barraud (2005).

Os parques lineares, medida foco do presente trabalho, são consideradas medidas de controle a jusante, uma vez que essas estruturas têm por objetivo fornecer condições de infiltração a jusante de onde o volume escoado foi gerado, além de ser uma área verde extensa para amortecimento, aportando o escoamento gerado em grandes áreas, como será abordado no item a seguir.

A implantação de parques lineares tem sido uma alternativa na minimização de cheias nos canais urbanos por apresentar versatilidade. Isso porque, segundo Friedrich (2007), a concepção de um parque linear pode associar diversas medidas de controle das vazões precipitadas nas cidades.

Dessa forma, ao ser verificada a necessidade de medidas para atenuar os eventos de inundação em canais urbanos, o projeto do parque linear pode associar medidas compensatórias de controle na fonte, técnicas lineares e controle à jusante. Ou seja, o poder público municipal pode impor obrigatoriedade com relação à porcentagem de área infiltrável dos lotes de áreas críticas a partir do disciplinamento do uso e ocupação do solo de acordo com o Plano Diretor.

Assim, as ferramentas exemplificadas no Quadro 3.1 poderiam ser utilizadas pelos moradores locais, com o devido subsídio da prefeitura para as adequações e, nos espaços públicos, as prefeituras se tornam responsáveis por fazer as adequações estruturais necessárias para a drenagem urbana local ser eficiente.

Tucci (2005) descreve que, com relação aos espaços públicos nas regiões de criticidade com relação à drenagem urbana, cabe à prefeitura adotar medidas para aumentar a área infiltrável, seja adequando locais já existentes (como vias, praças, parques), ou construindo novas estruturas para o aporte das vazões precipitadas, como bacias de retenção ou detenção.

Porém, quando se considera os locais que já estão ocupados nas metrópoles, propor medidas estruturais pode estar relacionado a desapropriações, e, neste caso, a viabilidade do projeto proposto deve levar em consideração qual o melhor uso do local para que este exerça da melhor forma a função social da propriedade, prevista na Constituição Federal Brasileira de 1988.

3.4. Inundações urbanas

A definição de inundação está diretamente relacionada a sua dissociação do termo enchente, já que estes muitas vezes são utilizados como sinônimos. Porém, em uma análise mais profunda do tema, observa-se que as enchentes ocorrem quando o nível d'água de um rio

está no limite máximo das margens, enquanto as inundações estão relacionadas ao transbordamento em si das águas do rio (MENDES, 2005).

As chamadas inundações urbanas ocorrem devido à associação das enchentes naturais com o fenômeno de aumento do escoamento superficial consequente da urbanização (TUCCI, 2017). Isso porque quando a urbanização acontece sem o devido planejamento com relação ao uso e ocupação do solo nas cidades, é usual que as áreas verdes preservadas não sejam muito presentes nas metrópoles.

De acordo com Tucci (2017), o processo de urbanização na maior parte do Brasil fez com que as áreas construídas ocupassem a maior parte das cidades, e, isto, associado à canalização dos córregos urbanos (também característica da urbanização não planejada), intensifica as cheias dos canais, especialmente nos períodos de precipitações intensas.

As inundações nos centros urbanos geralmente estão associadas a severos impactos sociais na população ribeirinha, sendo que os danos podem ser leves ou graves, dependendo da intensidade das chuvas (TUCCI, 2002).

3.4.1. Alternativas para minimização dos impactos das inundações

Sendo as inundações um sério problema atual nos centros urbanos brasileiros, são necessárias medidas que visem atenuar os impactos associados; e essas medidas são subdivididas em *extensivas* e *intensivas*.

As medidas extensivas são aquelas que têm por objetivo atuar diretamente na bacia para diminuição das vazões no âmbito da precipitação, como o aumento da área de cobertura vegetal. Já as medidas intensivas são aquelas que atuam diretamente nos rios, como diques, reservatórios de amortecimento e canais de desvio (SIMONS et al., 1977 *apud* TUCCI, 2012).

Essas medidas têm sido mais discutidas e elaboradas na atualidade, principalmente devido à recorrência das inundações nas cidades, que têm como consequências perdas sociais, ambientais e econômicas.

Nas discussões e na busca por medidas sustentáveis para diminuir o volume de escoamento que chega aos cursos d'água, surgem as alternativas que visam aumentar as taxas de infiltração, principalmente através da adoção de uma postura tecnológica que resulte em ocupações em acordo com os Planos Diretores, que sejam sistemáticas e possibilitem a redução do volume escoado (POMPÊO, 2000).

Nesse contexto, os parques lineares surgem como uma alternativa moderna e eficiente

de intervenção, sendo uma ferramenta de manejo das águas pluviais nos centros urbanos. De acordo com Martins (2015), esses parques são implementados nos locais que tendem a ter inundações como efeito da urbanização e atuam aumentando as áreas de várzea dos córregos, já que aumentam as áreas infiltráveis e ainda desaceleram as vazões.

Além disso, a implantação de parques lineares pode evitar que ocupações irregulares aconteçam. Uma vantagem da utilização desse instrumento é a sua versatilidade, já que os parques podem ser constituídos por praças, canteiros, áreas de lazer e espaços de convivência. Essa característica ainda é vantajosa com relação à receptividade da população com esse tipo de projeto.

Por serem áreas verdes incorporadas nos centros urbanos, os parques lineares ainda podem contribuir na melhora do microclima local (diminuindo as ilhas de calor) e da qualidade do ar, equilibrando a umidade e capturando poeiras e gases em suspensão (MARTINS, 2015).

Dessa forma, observa-se mais uma vantagem desse tipo de projeto, que não só se integra ao ambiente, mas também tem o potencial de melhorar o meio ambiente urbano. A versatilidade dos projetos de parques lineares é uma vantagem com relação a outras medidas de intervenção, uma vez que é possível dentro da concepção dos parques a adaptação de acordo com o uso e ocupação do solo já existente no local.

Nesse sentido, é importante ressaltar que em todo projeto relacionado à implementação de parques lineares para atenuação dos picos de vazão nos córregos urbanos, deve-se haver o envolvimento da população atingida pelo projeto. A aceitação da população é importante pois esta já está estabelecida no local e possui uma relação com o espaço que ocupa. Segundo Santos (2006), esta relação deve ser considerada sempre que houverem alterações estruturais no espaço urbano.

Para que a população tenha aceitação de propostas de intervenção municipais para minimização dos impactos decorrentes das inundações dos canais urbanos, é interessante que as prefeituras realizem Programas de Educação Ambiental (PEAs) reforçando a necessidade das intervenções a serem realizadas e os benefícios decorrentes do projeto.

Na cidade de Belo Horizonte já existem parques lineares, como o da Avenida José Cândido da Silveira, localizado na região Nordeste da capital. De acordo com as informações disponíveis no site da prefeitura, o parque, que possui uma área de 51.500 m², tendo sido implantado em 2006, é utilizado pela população para lazer, além de vantagens ambientais.

A Associação Brasileira de Cimento Portland- ABCP (2013) aborda que as etapas de um projeto de parque linear se dividem em: estudo de viabilidade, projeto técnico (realizado

com uma equipe multidisciplinar e com participação da sociedade civil), licenciamento ambiental, execução e manutenção.

3.5. Gestão hídrica

Segundo Tucci (2005), a gestão eficiente das águas pluviais no ambiente urbano é essencial, uma vez que todos os componentes dos sistemas hídricos estão inseridos neste ambiente.

A importância desta gestão tem sido reforçada pelos eventos cada vez mais recorrentes de escassez hídrica nos centros urbanos nos períodos de seca (VIOLA, 2008), enquanto nas épocas de cheia e chuvas intensas os eventos de alagamentos e inundações são frequentes e causam diversos danos nestes locais (TUCCI, 2017).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNHRH, instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (instituída pela Lei nº 4.933/1997), reforça a importância do gerenciamento dos recursos hídricos e se apresenta como uma ferramenta para que o uso destes recursos seja sustentável, sendo a água um bem comum (BRASIL, 1997).

Diante deste cenário, onde se observa escassez de água e problemas de saneamento com relação à drenagem das águas pluviais, torna-se necessário gerir os recursos de forma integrada e participativa, viabilizando soluções sustentáveis para a eficiência da drenagem pluvial e para a disponibilidade hídrica (VIOLA, 2008).

A gestão dos recursos deve se iniciar com o planejamento, onde todos os possíveis usos devem ser considerados, e se necessária deve haver a priorização destes. É de extrema importância que haja precisão no levantamento de todas as entradas e saídas de recursos hídricos, com previsões de cenários futuros para garantir otimização da utilização (BRASIL, 1997).

Assegurar que os recursos hídricos sejam distribuídos e utilizados da melhor e mais justa forma tem difícil aplicabilidade no cenário real, principalmente devido à maneira com que o fenômeno de urbanização se deu no Brasil (TUCCI, 2012).

No que concerne à gestão dos recursos hídricos no âmbito das águas pluviais no meio urbano, o entendimento da dinâmica local a partir do ciclo hidrológico é essencial; sendo importantes ferramentas, nesse sentido, o monitoramento das chuvas e do microclima local e o conhecimento de todo o caminho das águas precipitadas até o destino final (VIOLA, 2008).

Na etapa de destinação das águas pluviais é importante que se busque minimizar os efeitos gerados pela urbanização e, sempre que possível, aproveitar essas águas para usos racionais possibilitados por sua qualidade. O manejo do escoamento pluvial nas áreas urbanas brasileiras é de responsabilidade dos municípios, que devem assegurar o monitoramento hidrológico e ações que garantam eficiência de gestão.

3.5.1. Gestão pluvial da cidade de Belo Horizonte

Na cidade de Belo Horizonte, a gestão das águas pluviais está inserida no Plano Diretor, fato que se deu a partir do aumento na frequência dos eventos de inundações dos canais da cidade.

A maneira como a urbanização se deu no município fez com que a população ocupasse locais com infraestrutura inadequada, especialmente no que diz respeito ao saneamento (abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem pluvial) (BELO HORIZONTE, 2000). Além disso, as ocupações das planícies de inundação de canais são um risco, uma vez que o ideal é que esses locais sejam Áreas de Preservação Permanente (APPs), para que o volume dos cursos d'água nas épocas de cheia não cause impactos negativos.

Visando gerir de forma adequada a relação entre as águas pluviais e o meio urbano, foi implementado no ano 2000 o Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte – PDDBH. Segundo Tucci (2005), os planos municipais para lidar com a adequação dos sistemas de drenagem ao meio em que estão inseridos são um importante instrumento político de gestão.

O PDDBH tem o objetivo de estabelecer medidas para o funcionamento real dos sistemas, causando o menor dano possível ao meio ambiente, e estabelecendo um planejamento de tomada de ações corretivas, juntamente com ações preventivas, que evitem falhas futuras dos sistemas de drenagem (BELO HORIZONTE, 2000).

Para que o PDDBH fosse eficiente em seu objetivo, a prefeitura realizou inicialmente um diagnóstico sobre a situação dos sistemas existentes para drenar as águas precipitadas na cidade. Como o PDDBH deve ser periodicamente atualizado, sua eficiência e pontos de melhoria são avaliados no diagnóstico posterior, segundo a prefeitura.

Um dos primeiros resultados deste diagnóstico foram as cartas de inundação da cidade de Belo Horizonte, elaboradas para todas as bacias hidrográficas contidas no município e que visam identificar todas as áreas vulneráveis aos eventos de inundação.

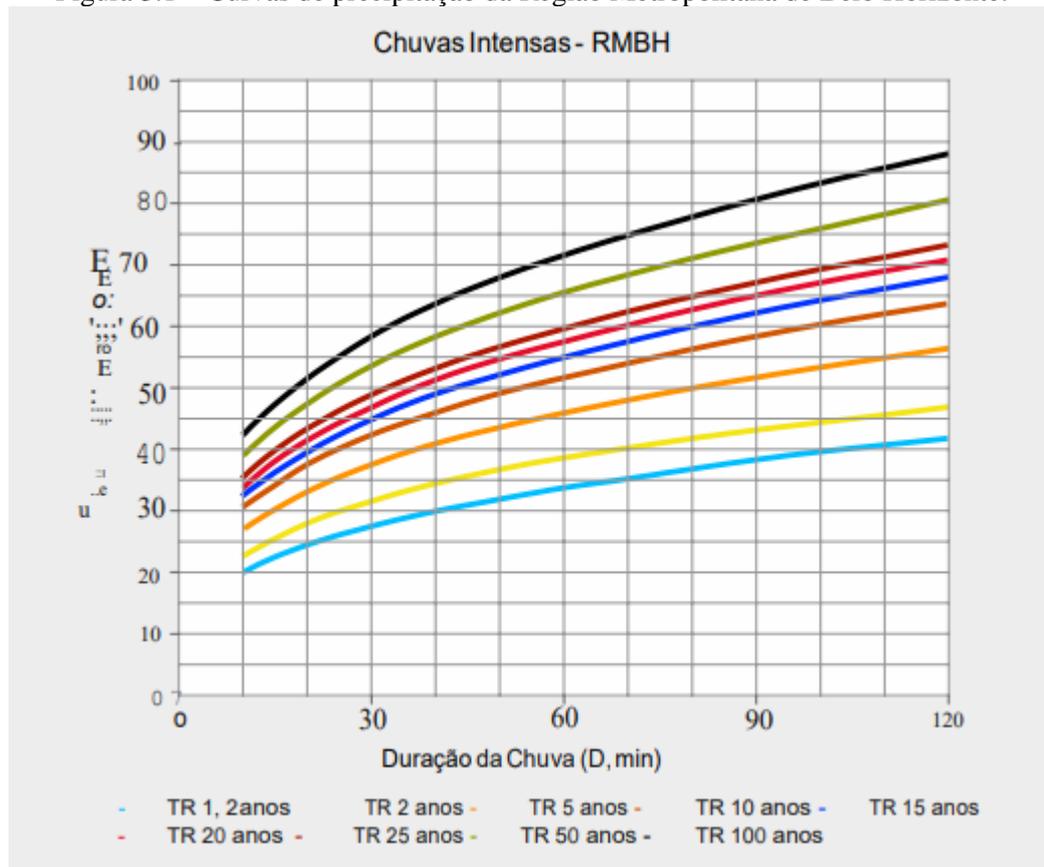
De acordo com a prefeitura, as cartas de inundação do município são elaboradas a partir de modelos matemáticos, hidrológicos e hidráulicos cujos dados de entrada são aqueles coletados no diagnóstico local dos sistemas de macrodrenagem (BELO HORIZONTE, 2009).

Segundo a prefeitura, durante a etapa de diagnóstico da infraestrutura municipal, as deficiências do sistema hidráulico são identificadas e utilizadas para indicar a probabilidade de ocorrência de vazões que levem a eventos de inundação (BELO HORIZONTE, 2009).

O resultado final, as cartas de inundação de cada curso d'água da cidade, exhibe as manchas de inundação dos locais, além do seu Gráfico de Risco de Inundação, resultante das curvas IDF (Intensidade, Duração e Frequência) dos cursos.

As curvas IDF para as chuvas da cidade de Belo Horizonte foram elaboradas a partir da equação IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1998) para precipitações intensas. As curvas resultantes após a aplicação da equação IDF para Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) são observadas na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Curvas de precipitação da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

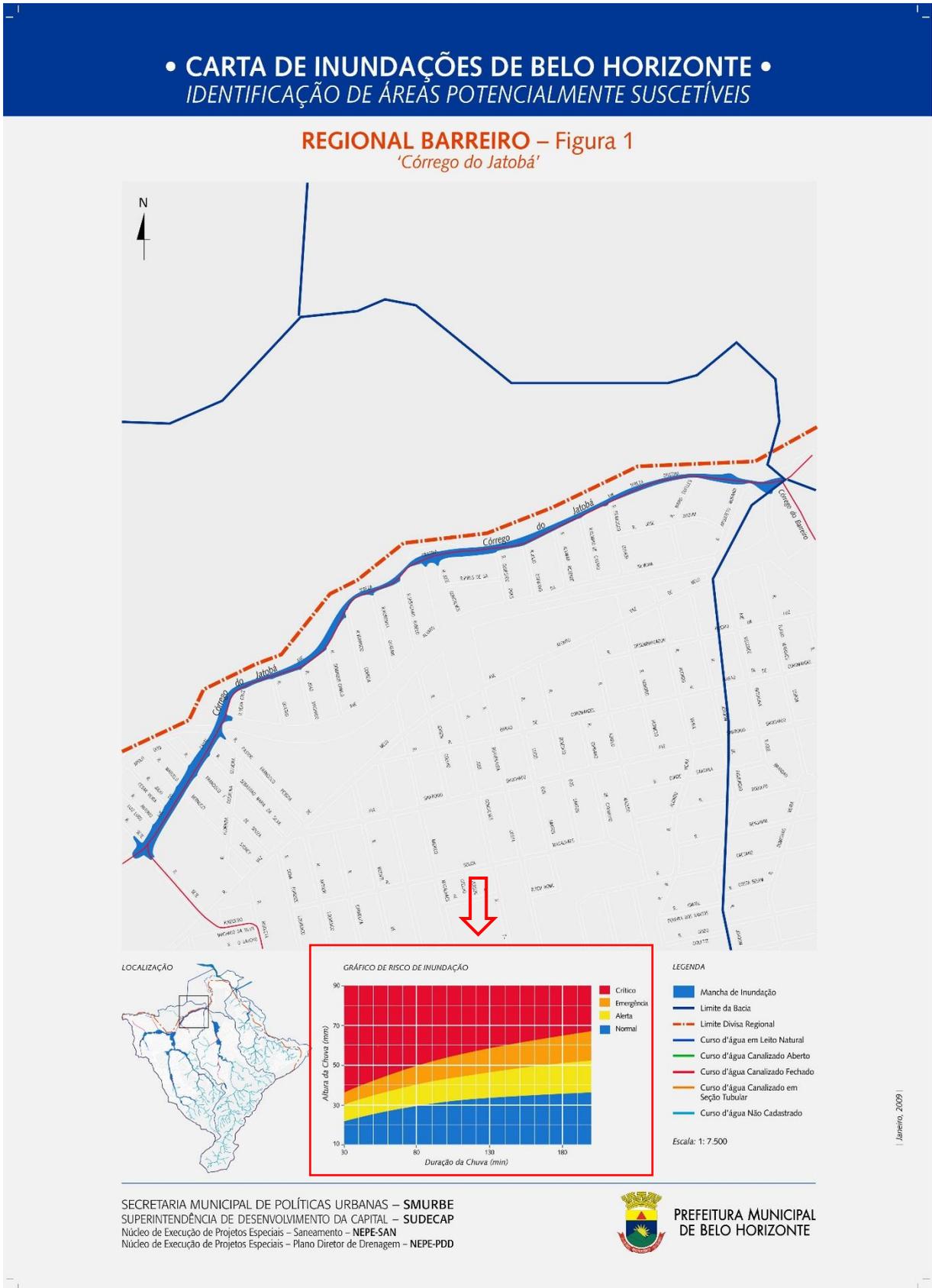


Fonte: Belo Horizonte (2009).

Essas curvas se referem a diferentes períodos de retorno (TR's), objetivando-se verificar quando o risco de inundação do canal é alto. De acordo com Tucci (1993), a elaboração de curvas de intensidade, duração e frequência para uma localidade consiste em uma importante ferramenta na concepção de projetos de drenagem urbana.

Na Figura 3.2 é possível observar uma das cartas de inundação elaboradas pela prefeitura de Belo Horizonte. Nessa carta, o gráfico resultante da curva IDF do local da carta e que expõe o risco de inundação no córrego está destacado.

Figura 3.2 – Modelo de carta de inundação de um córrego de Belo Horizonte, localizado na Regional Barreiro.



Fonte: Belo Horizonte, 2009 (Adaptado).

O gráfico destacado na Figura 3.2 tem o objetivo de definir os níveis com relação ao risco de inundação. Esses níveis são resultantes da relação entre a duração e altura da chuva com o tempo de retorno das curvas IDF (a partir de modelagem matemática), e servem de subsídio na definição de ações de resposta para determinadas chuvas.

Para a cidade de Belo Horizonte foram então definidos 4 níveis: Normal, Alerta, Emergencial e Crítico. O nível Crítico é definido de acordo com o Período de Retorno (TR) a partir do qual o modelo matemático indicou que haveria extravasamento no canal, enquanto os demais níveis foram associados à TRs inferiores ao de extravasamento (BELO HORIZONTE, 2009).

Outra medida relacionada à gestão pluvial resultante do PDDBH foi o sistema de monitoramento hidrológico da cidade de Belo Horizonte. Este sistema foi implantado em outubro de 2011 para observar as precipitações e comportamentos dos níveis d'água nos principais córregos da capital.

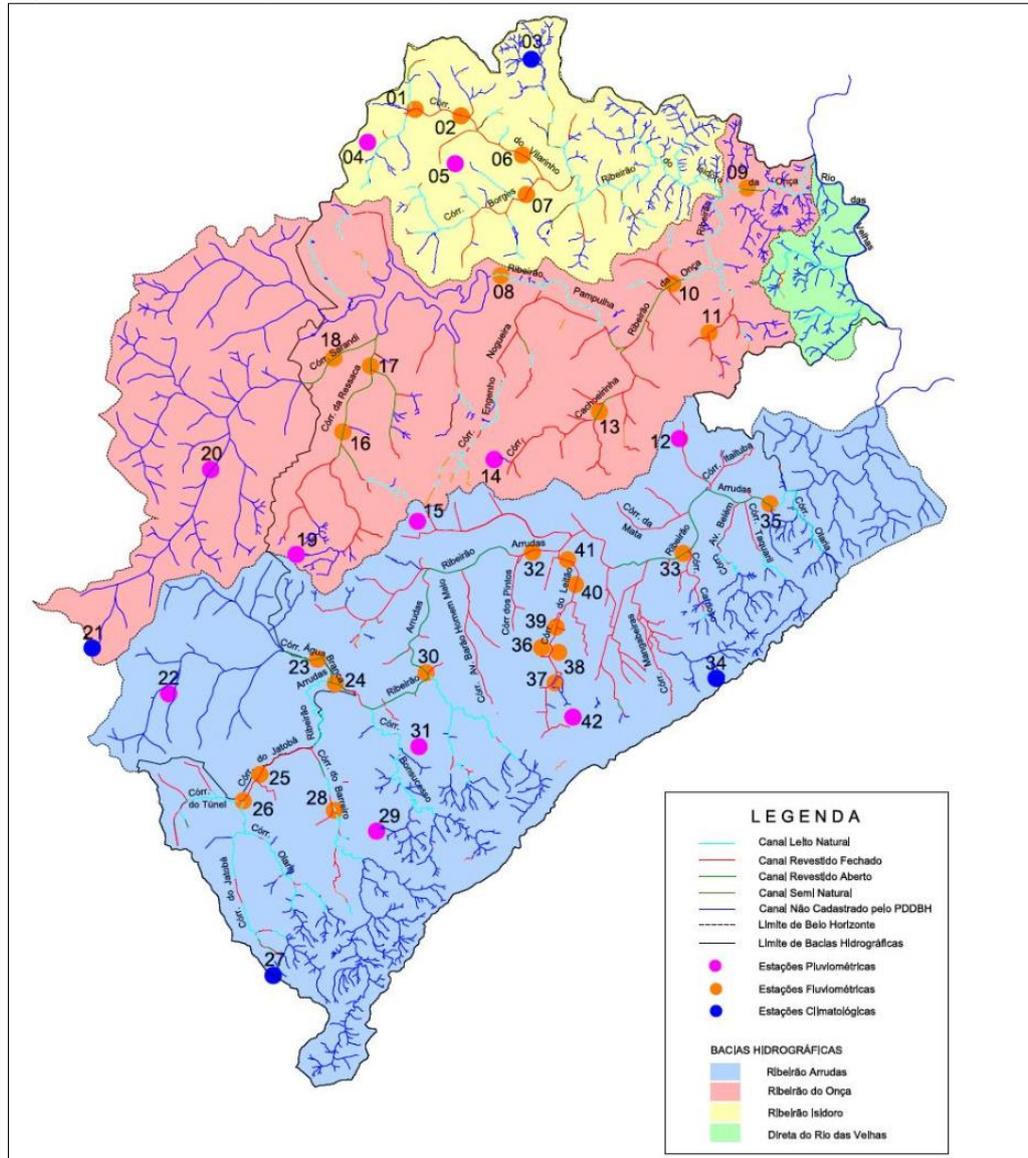
O monitoramento dos dados das estações de monitoramento é de responsabilidade da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), que utiliza estes dados para realizar diagnósticos dos sistemas de drenagem de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2011). Os dados coletados servem de subsídio para a elaboração de projetos e para auxiliar nos alertas e avisos à população em caso de iminência de inundações, sendo a Defesa Civil responsável pelos alertas.

Todos os dados municipais referentes ao monitoramento hidráulico e hidrológico de Belo Horizonte podem ser solicitados junto à SUDECAP, desde que a solicitação seja justificada, conforme a Lei Federal nº 12.527 de 2011 que dispõe sobre o acesso às informações públicas.

No âmbito dos alertas, o monitoramento hidrológico associado aos gráficos de risco de inundação, tratados anteriormente, são importantes ferramentas que permitem que os órgãos responsáveis se mobilizem antes da ocorrência de eventos críticos para evitar danos socioambientais.

No total, o sistema de monitoramento hidrológico da SUDECAP é composto por 42 estações, sendo 22 plu-fluviométricas, 11 pluviométricas, 5 fluviométricas, e 4 climatológicas. A localização destas estações foi definida de forma estratégica pela SUDECAP, de acordo com as cartas de inundação dos córregos e dados referentes ao diagnóstico realizado na cidade, conforme observado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Localização das 42 estações de monitoramento de Belo Horizonte.



Fonte: SUDECAP (2020).

3.6. Aspectos legais

As questões legais que se relacionam ao tema são de grande importância no embasamento de estudos científicos, pois, segundo Tucci (1997), tratar das questões hidrológicas associadas ao meio urbano requer atuação intensa do Estado, o qual deve se responsabilizar pelas propostas de intervenção necessárias às adequações dos sistemas de drenagem pluvial. E esta atuação se dá na forma de regulamentação e fiscalização.

3.6.1. Projeto de Lei PL 119/2017: Dispõe sobre a cobertura de ribeirões e córregos no município de Belo Horizonte.

O Projeto de Lei (PL) 119/2017, da cidade de Belo Horizonte, surgiu na câmara dos vereadores com objetivo da melhoria na gestão dos recursos hídricos na cidade e minimização de eventos de inundação nos córregos e rios da cidade, dispondo sobre a cobertura de ribeirões e córregos do município.

Esse projeto é baseado no entendimento de que a canalização dos corpos hídricos no meio urbano gera impactos negativos e, dessa forma, a proibição dessa prática permite a integração dos cursos naturais à paisagem urbana em seu meio já consolidado, tornando o ambiente mais agradável e humanizado.

Com a proibição da canalização dos cursos na cidade, o Parágrafo Único do Artigo 2º dispõe que:

“O poder público buscará alternativas na revitalização de áreas verdes remanescentes e parques lineares que favoreçam a recuperação dos cursos hídricos do município” (BELO HORIZONTE, 2017).

A partir da publicação do PL, os estudos de viabilidade de revitalização e de implementação dos parques lineares têm sido necessários para a efetivação dessas medidas, que no caso da aprovação do PL seriam obrigatórias e atenuariam as alterações hidrológicas resultantes do processo de urbanização.

O PL 119/2017 foi aprovado em primeiro turno no mês de março de 2019 e reprovado em março de 2020 em segundo turno. Porém, ainda sim verifica-se a necessidade de medidas para atenuação das cheias nos canais em Belo Horizonte.

A matéria publicada no site G1 em 29/01/2020 reforça essa necessidade no que concerne a projetos de caráter estrutural no sistema de drenagem urbana da capital mineira para minimizar os efeitos dos eventos de precipitação intensa. Observa-se na reportagem, que em um período de 6 dias com chuvas intensas, além de diversas perdas econômicas (referentes a veículos, moradias, estruturas públicas, vias de tráfego) houve neste período 55 mortes na cidade de Belo Horizonte.

Esse cenário, que é observado em todos os períodos de precipitações intensas na cidade, reforça a emergência em projetos por parte do poder público para adequar as estruturas de drenagem pluvial existentes ou projetar novas estruturas para o aumento do percentual de áreas infiltráveis no perímetro urbano, com conseqüente atenuação das vazões que chegam aos canais.

Dessa forma, ainda que o Projeto de Lei tenha sido reprovado, percebe-se a necessidade de atuação na prefeitura para minimizar os impactos negativos decorrentes das inundações urbanas.

3.6.2. *Lei 7.165/1996: Institui o Plano Diretor do município de Belo Horizonte*

Os Planos Diretores são, segundo Tucci (1997), a ferramenta de implementação do planejamento urbano, abordando questões de densidade populacional nas áreas urbanas e de disciplinamento do uso e ocupação do solo, de acordo com as particularidades das áreas pertencentes ao município.

Meirelles (2017) define o Plano Diretor como sendo o mecanismo de desenvolvimento dos municípios nas esferas física, social, econômica e administrativa, através do estabelecimento de normas e técnicas.

Cabe ao município elaborar e executar as políticas urbanas em acordo com o Plano Diretor e o Estatuto da Cidade, assim como a própria elaboração destes documentos (GASPARINI, 2004).

Para cidade de Belo Horizonte, o Plano Diretor foi instituído pela Lei 7.165/1996, sendo que, em vários artigos cita questões de preservação ambiental e utilização racional dos recursos naturais, o que ressalta que é de suma importância para o município o desenvolvimento sustentável, onde deve haver o equilíbrio entre a urbanização e conservação do meio ambiente em sua forma natural.

Para a elaboração do plano foi realizado um diagnóstico completo e abrangente de toda a cidade, incluindo pesquisas com a comunidade, o que embasou o próprio Plano Diretor e também permitiu o planejamento da gestão responsável para a adoção de medidas futuras. Esse diagnóstico é atualizado sempre que o plano é atualizado.

É importante que sempre que se verifique a necessidade de alterações no Plano Diretor haja a participação popular em todo o processo, uma vez que esta é diretamente afetada quando há qualquer modificação do disciplinamento do uso e ocupação do solo. Isso porque a população que ocupa as cidades estabelece, segundo Jácome (2020), uma relação afetiva com o lugar que ocupa e qualquer intervenção neste espaço por parte do poder público deve ser abordada levando em consideração essas questões.

De acordo com a prefeitura, as regionais são convocadas após o diagnóstico para discussões com relação aos pontos críticos observados e oportunidades de melhoria, e os

avanços e retrocessos observados com relação ao diagnóstico anterior também são tratados (BELO HORIZONTE, 2018).

Percebe-se no Plano Diretor a necessidade da existência de áreas verdes, mas, na prática, não são observados incentivos e ações para isto, principalmente considerando-se que a ocupação do município aconteceu desordenadamente e com processos de favelização em diversas regiões.

O cenário atual da cidade de Belo Horizonte com relação às áreas verdes da cidade indica que a disposição da maior parcela destas está alocada nos bairros ocupados pela população de alta renda.

Segundo Fernandes e Caldeira (2016), ainda há a questão da fragmentação das áreas verdes dentro da cidade, pois, segundo os autores, as áreas verdes de Belo Horizonte têm uma área considerada pequena quando comparada às áreas construídas. No levantamento realizado pelos autores, constatou-se que as áreas verdes da cidade correspondem em sua maioria à parques municipais administrados pela prefeitura.

Dessa forma, caso haja identificação por parte da administração pública da necessidade de aumento do percentual de áreas verdes na capital visando à minimização dos impactos gerados pela falta de planejamento urbano, é viável que os projetos envolvam a ampliação das áreas verdes já existentes, a partir da restauração ambiental do que já existe e de seu entorno.

Como citado, o estudo elaborado por Fernandes e Caldeira (2016) apontou que a maior parte das áreas verdes de Belo Horizonte correspondem a parques municipais e, segundo Buccheri Filho e Nucci (2006), áreas verdes podem ser definidas como espaços sem construções cujo elemento principal consiste em vegetação e que têm como atributos principais a ecologia, a estética e o lazer, não sendo consideradas áreas verdes urbanas elementos como canteiros, pequenos jardins, rotatórias e arborização.

Friedrich (2007) reforça a importância de áreas verdes urbanas para a manutenção dos ecossistemas e preservação da biodiversidade local a partir da presença do meio ambiente natural (pré urbanização). Sousa e Mota (2006) reforçam esta ideia, apontando que a existência de parques no meio urbano traz, além dos benefícios ambientais da preservação, benefícios de cunho social, uma vez que a população das áreas do entorno cria relações afetivas com o espaço, principalmente com as espécies da fauna nativa.

Um exemplo importante de parques municipais e seus benefícios resultantes da preservação ambiental é observado nas cidades de São Lourenço e Caxambu, em Minas Gerais. Nestes municípios, existem parques onde a população possui acesso gratuito às águas

subterrâneas, cujas propriedades medicinais são comprovadas.

A hidrogeologia destes municípios fez com que estas águas subterrâneas contassem com diversos componentes químicos e propriedades que, por sua vez, têm o potencial de agir de forma benéfica no organismo humano. E a população local valoriza a presença deste bem, fazendo uso dos recursos naturais para benefício próprio e entendendo a importância da preservação ambiental (ANDRADE *et al.*, 2014).

Segundo Gomes (2005), o índice de áreas verdes em Belo Horizonte apresenta um valor satisfatório. Entretanto, a distribuição dessas áreas pela cidade não é uniforme, apresentando maior concentração em locais com maior IDH (Índice de Desenvolvimento Humano). Essa falta de uniformidade faz com que apenas uma parcela da população seja contemplada com os benefícios já citados da presença de áreas preservadas no meio urbano, o que reforça a necessidade do aumento do percentual de Áreas de Preservação Permanentes (APPs).

No estudo de Fernandes e Caldeira (2016), foi apontado como possibilidade para a maior uniformidade no que concerne à distribuição de áreas verdes pela cidade de Belo Horizonte, a expansão de parques municipais já existentes, uma vez que os parques atuais ocupam áreas pouco significativas. A expansão dos parques existentes faz com que se aumente o percentual de áreas infiltráveis na cidade e tem o potencial de minimizar as inundações urbanas.

Para incorporar áreas verdes a locais já urbanizados, principalmente quando esse processo se deu de forma desordenada, é necessário um trabalho coletivo e participativo, cujos resultados não tendem a ser imediatos e requerem esforços de todos os envolvidos (CIDADE, 2013).

De acordo com Tucci (1997), sempre que necessário as prefeituras podem realizar alterações em seus Planos Diretores, visando à adequação da cidade para o aporte das vazões precipitadas e à adaptação do disciplinamento de uso e ocupação de regiões de acordo com os cenários observados nos períodos de cheia.

Tal cenário é de fato observado na prática, com constantes alterações nos textos do plano para que o uso e ocupação do solo nas cidades esteja condizente com o volume de águas pluviais precipitadas, de forma que os canais urbanos não sejam sobrecarregados a ponto de ocorrerem eventos de inundação, principalmente com perdas socioambientais.

Porém, nos casos de alterações do disciplinamento de uso e ocupação do solo, principalmente quando se opta por medidas estruturais, há necessidade de subsídios por parte do poder público para adequação dos ambientes ocupados, uma vez que, como citado, no caso de Belo Horizonte, os locais com menor IDH são aqueles que representam os menores

percentuais de áreas de preservação ambiental.

Qualquer proposta de intervenção que afete a população no âmbito dos planos municipais de controle de enchentes que visem aumentar os tempos de concentração das bacias deve ser realizado em etapas. Estas etapas, segundo Canholi (2014) devem associar as medidas de maior tecnologia disponíveis, com projetos sustentáveis e envolvimento da população em todas as etapas, garantindo assim a efetividade das medidas e realizando simultaneamente a educação ambiental da população afetada diretamente pelos projetos propostos.

Canholi (2014) também aponta que projetos efetivos no sentido da melhoria da drenagem urbana e sua sustentabilidade dentro do meio urbano já consolidado são aqueles que associam medidas de controle na fonte de geração das águas pluviais, técnicas de armazenamento no âmbito da macrodrenagem e infiltração, realizando também a recarga dos aquíferos subterrâneos.

Quando a proposta é armazenar as águas pluviais para minimizar os volumes escoados, ainda há a possibilidade de tratamento destas águas para reuso, o que torna os projetos ainda mais sustentáveis. O Plano Municipal de Saneamento do município de São Carlos já prevê este tipo de tratativa no sentido de minimizar as vazões de pico dos canais urbanos e consequentemente os efeitos adversos das inundações.

Este plano municipal reforça a adoção de medidas que possam associar as técnicas disponíveis para a drenagem urbana sustentável e que possam se adequar ao ambiente já existente, fazendo o mínimo de alterações estruturais possíveis, visando assim que os impactos socioambientais sejam os mínimos possíveis em projetos de melhoria dos sistemas.

Para a efetividade dos projetos de adequação dos sistemas de drenagem quando se observa no período de cheias o transbordamento dos canais urbanos, é importante que o poder público realize o financiamento, que pode ser a partir de parcerias público-privadas e investimento nos projetos gerados no meio acadêmico para tecnologias atuais de controle dos volumes precipitados.

A tomada de ações por parte do poder público deve, segundo Friedrich (2007), ser de caráter emergencial após a constatação do risco socioambiental quando ocorrem precipitações intensas, com medidas de curto prazo, mas também de longo prazo, com projetos realizados em etapas, com participação popular e realizando-se a educação ambiental da população envolvida.

As medidas de longo prazo correspondem aos projetos de adequação dos sistemas de drenagem para o aporte das vazões precipitadas. A adequação dos sistemas já existentes e consolidados se faz necessária devido à falta de planejamento urbano característica da forma

com que os municípios se desenvolveram (CANHOLI, 2014).

Em todo o Brasil, observa-se atualmente que há necessidade de intervenções por parte do poder público nos sistemas de Drenagem Pluvial e, para garantir a efetividade das propostas, principalmente aquelas que estão relacionadas a alterações estruturais, é importante que se pense em soluções tecnológicas e que a população afetada com os projetos esteja preparada para as alterações que serão realizadas.

Os projetos desenvolvidos no meio acadêmico têm sido muito relevantes nesse sentido, por associarem as tecnologias mais atuais existentes a partir de levantamentos e pesquisas. A academia é, nesse sentido, uma importante ferramenta na geração de propostas de intervenção que podem ser colocadas em prática pelo poder público visando atenuar os impactos da falta de planejamento urbano característica dos municípios brasileiros.

O trabalho desenvolvido por Jácome (2020) aborda esta temática, descrevendo que, quando não há o envolvimento direto da população na tomada de medidas por parte da administração pública, os conflitos gerados entre a comunidade e o poder público podem inviabilizar a efetividade dos projetos necessários à melhoria do planejamento urbano.

3.6.3. Lei 11.445/2007 e Lei 13.308/2016: Estabelecem as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico

São legislações de âmbito federal que têm por objetivo estabelecer as diretrizes para o saneamento básico, sendo que a Lei nº 13.308/2016 traz uma complementação da Lei 11.445/2007. Para que tais diretrizes sejam estabelecidas, a lei determina que deve haver uma manutenção preventiva dos sistemas de drenagem pluvial.

Para isso, as legislações citadas dispõem que todas as áreas urbanas devem ser providas de sistemas de drenagem pluvial nos quais sejam asseguradas a saúde pública e manutenção do patrimônio.

Além disso, o parágrafo I do Art. 3º da Lei nº 13.308/2016 dispõe:

“...d) drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas; ...” (BRASIL, 2016).

Dessa forma, a legislação federal prevê a necessidade de tratar a drenagem urbana de

forma eficaz, amortecendo as cheias para garantia de qualidade de vida da população, assegurando também a qualidade ambiental.

Essas leis abordam a questão ambiental também no âmbito da salubridade, onde para garantia dessa salubridade ambiental urbana, os sistemas de drenagem urbana devem ser fiscalizados e deve haver a cobrança pela manutenção destes, segundo o Art. 36 da Lei nº 13.308/2016. Essa cobrança deve ser realizada com base no percentual de impermeabilização dos lotes e presença de medidas de amortecimento ou retenção de águas pluviais.

Ou seja, percebe-se, a partir do artigo citado, que há o incentivo por parte do governo federal para a implantação de medidas de controle nas fontes geradoras de escoamento superficial, evitando assim a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana e, conseqüentemente, a ocorrência de eventos de inundações urbanas com impactos negativos.

Os impactos decorrentes das inundações urbanas também se tornam questões de saúde pública quando a população não tem acesso ao saneamento básico. Isso porque, segundo Canholi (2014), na maioria das vezes as águas que transbordam dos canais urbanos nos eventos de inundação estão contaminadas com efluentes e podem conter vetores.

Assim, quando há eventos de precipitações intensas que resultam em transbordamento de canais urbanos, a população ribeirinha ainda sofre com o risco de doenças, além das possíveis perdas econômicas de seus bens.

A atuação da administração pública nesse sentido se torna essencial, havendo, segundo Tucci (1997), a necessidade de atuação em caráter emergencial para minimização dos impactos das inundações em curto prazo ao se observar que existe um risco social, mas também de medidas a longo prazo.

As medidas a serem tomadas a longo prazo por parte do poder público devem envolver projetos e adequações estruturais a serem realizados em diversas etapas, envolvendo parcerias público privadas no sentido de incentivo de financiamento e parcerias também com o meio acadêmico (que é uma ferramenta de mão de obra para o desenvolvimento de projetos tecnológicos para intervenções urbanísticas e minimização dos impactos do desenvolvimento sem o devido planejamento urbano).

Canholi (2014) reforça esta ideia, apontando a necessidade de investimento por parte do poder público em medidas para atenuação das vazões de pico dos canais urbanos a partir de medidas técnico-estruturais para aumento dos tempos de concentração das bacias com conseqüente atenuação dos volumes que chegam aos cursos d'água.

O acesso ao saneamento básico mínimo (coleta de resíduos sólidos, esgotamento

sanitário, drenagem pluvial e tratamento de águas) é um direito da população previsto na legislação brasileira. Contudo, o cenário atual indica que apenas uma parcela da população tem acesso a estes serviços, geralmente a população com maior IDH, como indica o último censo de IBGE de 2010.

Dessa forma, observa-se, a nível federal, a existência da necessidade de projetos que minimizem os impactos provenientes da urbanização no que concerne às vazões precipitadas que chegam aos canais e geram inundações no meio urbano.

3.7. Estudos Hidrológicos

De acordo com Porto, Zahed Filho e Marcellini (1999), os escoamentos se dividem entre escoamento superficial, que é um processo do ciclo hidrológico das águas superficiais; escoamento subsuperficial, que consiste no fluxo de água logo abaixo da superfície; e escoamento subterrâneo, que representa a contribuição dos aquíferos aos cursos d'água superficiais.

Segundo Tucci (1993), o entendimento na dinâmica das bacias hidrográficas com relação aos escoamentos e às precipitações pode se dar através dos hidrogramas, que expressam as respostas das bacias em função de suas características fisiográficas, e os escoamentos resultantes de uma determinada precipitação.

Os hidrogramas típicos que representam precipitações intensas geralmente apresentam um pico único de vazões. Entretanto, esses picos podem ser múltiplos caso haja variações na intensidade das chuvas, precipitações em sequência ou eventos de não contribuição de vazão por parte dos aquíferos (PORTO, ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1999). Também ocorre nos hidrogramas a representação do escoamento que acontece após a precipitação, ou seja, após o pico de vazão.

Dentre os hidrogramas, existem os unitários (HU), que permitem a análise das cheias através da representação do escoamento direto resultante de uma precipitação efetiva e unitária (1 mm, 1 cm ou 1 in), de intensidade constante e num tempo pré-determinado. Esse gráfico permite a comparação entre as respostas de diferentes bacias a uma chuva, além do estabelecimento do hidrograma de cheia de determinada bacia (QUINTELA, 1996).

A determinação de um hidrograma unitário permite a observação da relação direta entre a precipitação e o hidrograma resultante, ou seja, o comportamento do escoamento da bacia ao longo do tempo, sendo que os resultados obtidos com o método do HU servem de subsídio para

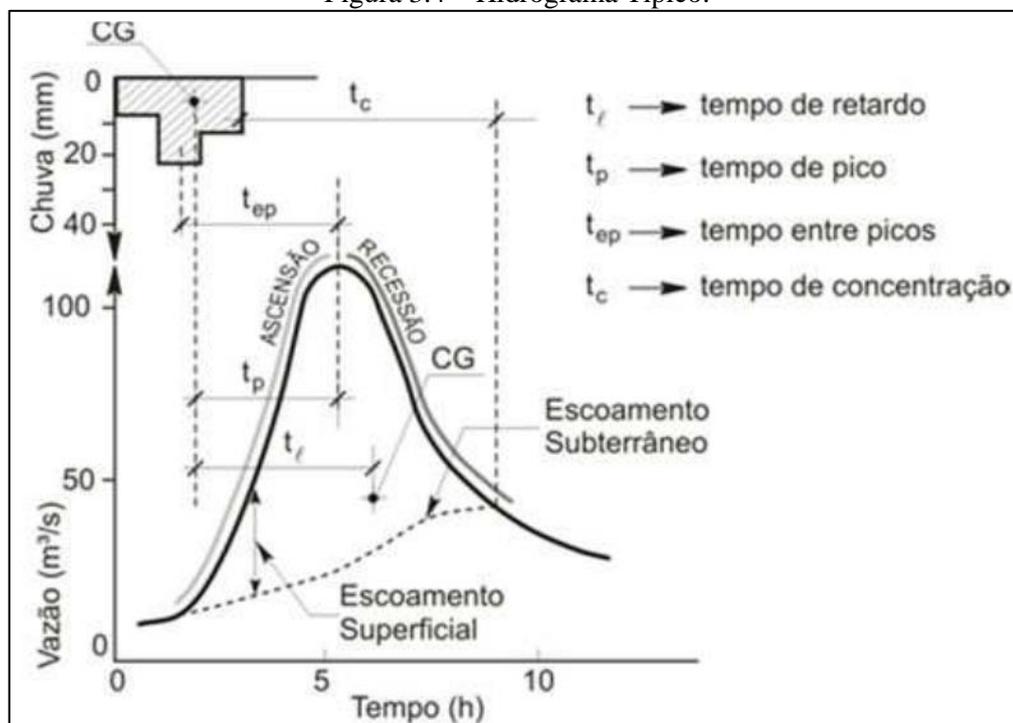
o dimensionamento de estruturas de drenagem.

Para que seja possível a determinação de um HU, o método é baseado em três princípios: constância no tempo base de escoamento, proporcionalidade entre as descargas de escoamento e aditividade entre hidrogramas (PORTO, ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1999). Esses princípios permitem que os hidrogramas unitários gerados sejam comparados entre si.

De acordo com Quintela (1996), os hidrogramas podem ser construídos através da compilação dos dados da série histórica da bacia, utilizando-se equações hidrológicas ou a ferramenta *solver*, ou, em caso de indisponibilidade dos dados históricos, através de modelos hidrológicos.

Na Figura 3.4 está representado um hidrograma típico. Observa-se no referido gráfico, um parâmetro de grande importância no âmbito dos estudos hidrológicos, o tempo de concentração (t_c), que pode ser definido como o tempo gasto para que a água da chuva chegue do ponto mais distante da bacia até a seção principal. É definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma (TUCCI, 1993).

Figura 3.4 – Hidrograma Típico.



Fonte: Collischonn e Tassi (2008).

O cálculo do tempo de concentração é muito importante dentro dos estudos hidrológicos, sendo que muitas equações empíricas são apresentadas na literatura para este cálculo. Algumas dessas equações são apresentadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Equações empíricas para cálculo do tempo de concentração.

| NOME | EQUAÇÃO ⁽¹⁾ |
|-----------------------|---|
| Izzard | $t_c = 85,5 \left(\frac{i}{36286 + C_r} \right) i^{0,667} L^{0,33} S^{-0,333}$ |
| Kerby-Hathaway | $t_c = 0,619 N^{0,47} L^{0,47} S^{-0,235}$ |
| Onda Cinem | $t_c = 7,35 n^{0,6} i^{-0,4} L^{0,6} S^{-0,3}$ |
| FAA | $t_c = 0,37 (1,1 - C) L^{0,5} S^{-0,333}$ |
| Kirpich | $t_c = 0,0663 L^{0,77} S^{-0,385}$ |
| SCS Lag | $t_c = 0,057 \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} L^{0,8} S^{-0,5}$ |
| Simas-Hawkins | $t_c = 0,322 A^{0,594} L^{-0,594} S^{-0,150} S_{SCS}^{0,313}$ |
| Ven te Chow | $t_c = 0,160 L^{0,64} S^{-0,32}$ |
| Dooge | $t_c = 0,365 A^{0,41} S^{-0,17}$ |
| Jhonstone | $t_c = 0,462 L^{0,5} S^{-0,25}$ |
| Corps Engineers | $t_c = 0,191 L^{0,76} S^{-0,19}$ |
| Giandotti | $t_c = 0,0559 (4,0 A^{0,5} + 1,5 L) L^{-0,5} S^{-0,5}$ |
| Pasini | $t_c = 0,107 A^{0,333} L^{0,333} S^{-0,5}$ |
| Ventura | $t_c = 0,127 A^{0,5} S^{-0,5}$ |
| Picking | $t_c = 0,0883 L^{0,667} S^{-0,333}$ |
| DNOS | $t_c = 0,419 k^{-1} A^{0,3} L^{0,2} S^{-0,4}$ |
| George Ribeiro | $t_c = 0,222 (1,05 - 0,2p)^{-1} L S^{-0,04}$ |
| Schaake <i>et al.</i> | $t_c = 0,0828 L^{0,24} S^{-0,16} A_{imp}^{-0,26}$ |
| McCuen <i>et al.</i> | $t_c = 2,25 i^{-0,7164} L^{0,5552} S^{-0,2070}$ |
| Carter | $t_c = 0,0977 L^{0,6} S^{-0,3}$ |
| Eagleson | $t_c = 0,274 n R^{-0,67} L S^{-0,5}$ |
| Desbordes | $t_c = 0,0869 A^{0,3039} S^{-0,3832} A_{imp}^{-0,4523}$ |
| Espey-Winslow | $t_c = 0,343 \phi L^{0,29} S^{-0,145} A_{imp}^{-0,6}$ |

Fonte: Adaptado de Lopes da Silveira (2005).

⁽¹⁾ Onde t_c é o tempo de concentração em h, A é a área da bacia em km, L é o comprimento do rio principal em km, S é a declividade média do rio principal em m/m, C_r é o coeficiente de Izzard, i é a intensidade da chuva em mm/h, N é um fator de retardo que varia em função da rugosidade, n é o coeficiente de rugosidade de Manning, C é o parâmetro originado do método racional, CN é o parâmetro originado do método do número da curva do SCS, S_{scs} representa o armazenamento e é dado por $(25400/CN)-254$, k é um fator do método DNOS e é tabelado, p representa a fração de área com mata, A_{imp} é a fração de área impermeável, R é o raio hidráulico em m e ϕ é o fator de condutância adimensional.

O tempo de retardamento (ou *lag time*), t_p , também é um parâmetro importante quando se trata de hidrogramas unitários, sendo este o tempo entre o centro de massa da precipitação efetiva e do hidrograma, representando dessa forma o tempo de resposta da bacia à uma chuva unitária (PORTO, ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1999).

No método desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), o *lag time* corresponde à 60% do tempo de concentração (t_c) (SCS, 1986). Essa correlação permite o cálculo do *lag time* a partir do resultado obtido para o t_c na fórmula do método SCS Lag exposta no Quadro 2.

Após a definição do hidrograma unitário de escoamento direto, é possível calcular o volume de escoamento a partir de uma altura equivalente expressa de forma gráfica. Essa representação consiste no hietograma, que é resultado da integração entre os pontos de início e término do escoamento superficial e a área de bacia hidrográfica (TUCCI, 1993).

O hietograma permite a visualização da distribuição de volume de escoamento ao longo da precipitação e possibilita a análise da chuva excedente. O hietograma de chuva excedente representa a parcela do hietograma total gerado que contribui de forma direta ao escoamento superficial na bacia, ou seja, não abrange a parcela de água que infiltra (PORTO, ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1999).

Para a obtenção desse hietograma, deve ser realizado o cálculo do volume infiltrado, sendo que a capacidade de infiltração tem relação direta com as características locais, tais como: uso e ocupação do solo e características do solo (porosidade, umidade e presença de cobertura vegetal (QUINTELA, 1996). Fatores como a temperatura da água e grau de compactação do solo também têm influência direta na capacidade de infiltração.

Um método muito utilizado no âmbito de cálculo da infiltração é o método do número da curva (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) dos Estados Unidos. Esse método de baseia na geração do parâmetro CN, um coeficiente que abrange as características do solo de acordo com a regionalidade e uso, e a capacidade mínima de infiltração (PORTO, ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1999).

O método divide os solos em quatro categorias (A, B, C e D), de acordo com o potencial de infiltração. Essas categorias são resultado de pesquisas e a definição de cada categoria para fins de classificação deve ser regional, sendo que a categoria A representa solos com alta taxa de infiltração e baixa de escoamento e a D o inverso. As categorias B e C são intermediárias, em que B possui mais similaridades com A, porém menos permeável, e C se aproxima mais de D, com escoamento superficial acima da média e infiltração abaixo da média (TUCCI, 1993).

No Quadro 3.3 são descritas as 4 categorias de solo do Método CN.

Quadro 3.3 – Categorias de solo do método do Número da Curva

| Grupo | Descrição |
|--------------|---|
| A | Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%. |
| B | Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial. |
| C | Solos barrentos com teor de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade. |
| D | Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados. |

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Após o enquadramento da área de estudo em uma das classificações descritas acima, deve ser definido o valor do CN (número da curva) de acordo com o uso do solo no local. Na Tabela 3.1 são apresentados os valores usuais de CN de acordo com os usos mais comuns de solo.

Tabela 3.1 – Valores de CN de acordo com usos do solo.

| Uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas | | Grupo hidrológico de solos | | | |
|--|------------------|----------------------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| Uso residencial | | | | | |
| Tamanho médio do lote | % Impermeável | | | | |
| até 500 m ² | 65 | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1000 m ² | 38 | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1500 m ² | 30 | 57 | 72 | 81 | 86 |
| Estacionamentos pavimentados, telhados | | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Ruas e estradas: | | | | | |
| pavimentadas, com guias e drenagens | | 98 | 98 | 98 | 98 |
| com cascalho | | 76 | 85 | 89 | 91 |
| de terra | | 72 | 82 | 87 | 89 |
| Áreas comerciais (85% de impermeabilização) | | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Distritos industriais (72% de impermeabilização) | | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Espaços abertos, parques, jardins: | | | | | |
| boas condições, cobertura de grama > 75% | | 39 | 61 | 74 | 80 |
| condições médias, cobertura de grama > 50% | | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Terreno preparado para plantio, descoberto | | | | | |
| plantio em linha reta | | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Culturas em fileira | | | | | |
| linha reta | condições ruins | 72 | 81 | 88 | 91 |
| | condições boas | 67 | 78 | 85 | 89 |
| curva de nível | condições ruins | 70 | 79 | 84 | 88 |
| | condições boas | 65 | 75 | 82 | 86 |
| Cultura de grãos | | | | | |
| linha reta | condições ruins | 65 | 76 | 84 | 88 |
| | condições boas | 63 | 75 | 83 | 87 |
| curva de nível | condições ruins | 63 | 74 | 82 | 85 |
| | condições boas | 61 | 73 | 81 | 84 |
| Pasto | | | | | |
| linha reta | condições ruins | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | condições médias | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | condições boas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| curva de nível | condições ruins | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | condições médias | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | condições boas | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Campos | condições boas | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Florestas | condições ruins | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | condições médias | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | condições boas | 25 | 55 | 70 | 77 |

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Assim, a associação do tipo de solo definido de acordo com o Quadro .33 e o uso do solo (Tabela 3.1) permitem a definição de um valor de CN.

De acordo com Tucci, Porto e Barros (1995), é possível definir um único valor para o número da curva (CN) em uma área de estudo que possua dois ou mais tipos de uso do solo. Segundo os autores, para que este cálculo seja possível, é necessário o conhecimento da parcela de área correspondente a cada uso.

Tendo posse deste conhecimento, é possível estabelecer uma proporção do CN de cada uso (multiplicar o valor de CN de um determinado uso pela porcentagem referente à área que este uso ocupa) e somar esses valores proporcionais para obter o valor de CN final para o local (TUCCI, PORTO e BARROS, 1995).

Segundo Tucci (1993), a definição do número da curva a partir do uso do solo visa estabelecer o grau de infiltração que a precipitação pode atingir no local, uma vez que o uso está relacionado com o tipo de tratamento sob o qual a superfície da área foi submetida.

Os valores obtidos para o Número de Curva na Tabela 3.1 ou em literaturas disponíveis são referentes à condição de umidade média (chamada de AMC II). Portanto, é necessário verificar em qual condição de umidade da área de estudo se enquadra, de acordo com Quadro 3.4, e normalizar o valor encontrado para o CN, em caso de necessidade.

Quadro 3.4 – Condições de umidade do solo do método SCS.

| Condição | Descrição |
|----------|--|
| I | Solos secos: as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm. |
| II | Situação média na época das cheias: as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm. |
| III | Solo úmido (próximo da saturação): as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação. |

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Caso a condição de umidade da área de estudo não seja a condição II, Tucci, Porto e Barros (1995) reforçam que há necessidade de conversão do valor para se obter valores mais condizentes com o local e resultados mais reais nos cálculos. Na Tabela 3.2 são mostrados os valores de correção, conforme a umidade do solo.

Tabela 3.2 – Conversão dos valores de CN de acordo com a condição de umidade.

| Condições de umidade | | |
|----------------------|-----|-----|
| I | II | III |
| 100 | 100 | 100 |
| 87 | 95 | 99 |
| 78 | 90 | 98 |
| 70 | 85 | 97 |
| 63 | 80 | 94 |
| 57 | 75 | 91 |
| 51 | 70 | 87 |
| 45 | 65 | 83 |
| 40 | 60 | 79 |
| 35 | 55 | 75 |
| 31 | 50 | 70 |
| 27 | 45 | 65 |
| 23 | 40 | 60 |
| 19 | 35 | 55 |
| 15 | 30 | 50 |

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Caso o valor obtido para o CN na etapa de utilização da Tabela 3.2 não conste na tabela acima, é necessário que se faça uma interpolação com os valores disponíveis para a obtenção

do CN final.

O método elaborado pelo SCS tem se mostrado útil no âmbito dos estudos hidrológicos, devido à sua versatilidade e abrangência. Para McCuen (1998), a aplicação deste modelo de chuva-vazão é ampla por se tratar de um método simplificado cujos dados de entrada podem ser facilmente obtidos.

Após a aplicação do método, tem-se um valor de CN, que, ao ser considerado no hietograma, permite o cálculo da infiltração, que é subtraída do volume precipitado, restando então apenas a chuva excedente, que representa o volume a ser escoado superficialmente (TUCCI, 1993). Ao obter-se apenas o volume escoado superficialmente podem ser desenvolvidos estudos para controle desse escoamento e atenuação do pico de vazão.

Dentre as fórmulas disponíveis no modelo do Número da Curva do SCS, o valor de CN é também utilizado para o cálculo do tempo de concentração (t_c), como pode ser observado no Quadro 3.2.

Ainda no campo dos estudos hidrológicos, os estudos acerca da variação temporal das chuvas são de extrema importância, uma vez que caracterizar a variabilidade das chuvas intensas no tempo permite a quantificação adequada dos efeitos resultantes das mesmas (CRUCIANI, MACHADO e SENTELHAS, 2002).

Existem na hidrologia ferramentas que possibilitam a análise da distribuição temporal de precipitações intensas, através de hidrógrafas que correlacionam os volumes descarregados e o tempo. Auxiliada por modelos matemáticos empíricos ou modelos conceituais, essa análise permite a caracterização e quantificação do escoamento superficial gerado com as chuvas, através de métodos hidrológicos e hidráulicos que utilizam variáveis globais e distribuídas de forma espacial (POMPÊO, 2000).

O desafio da engenharia atual nesse âmbito não é a quantificação dos efeitos do evento hidrológico, e sim a previsão da ocorrência de eventos extremos e seus efeitos, sendo que a associação de modelos matemáticos com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se mostrado eficiente por permitir uma caracterização detalhada da área de projeto (CRUCIANI, MACHADO e SENTELHAS, 2002).

A modelagem matemática que objetiva prever eventos hidrológicos extremos e suas consequências é uma ferramenta fundamental no subsídio de projetos hidráulicos de engenharia. Isso porque, segundo Silva et al. (2014), a estimativa da vazão máxima de projeto é fundamental no dimensionamento dessas obras, e esta vazão pode ser determinada, entre outros métodos, por modelos hidrológicos e hidráulicos.

Esses modelos utilizam como dados de entrada a probabilidade de ocorrência de um evento extremo, como já mencionado, assim como o Tempo (ou Período) de Retorno (T_R) deste evento, dados da série histórica acerca da precipitação e características da área de contribuição, tendo como dado de saída a vazão máxima associada à ocorrência de um evento extremo, a qual será utilizada como vazão de projeto (CANHOLI, 2014).

A utilização da vazão máxima como a vazão considerada para o dimensionamento hidráulico das obras representa uma segurança no sentido de se projetar os componentes para o cenário mais crítico da região. Segundo Tucci (1993), o T_R também é importante nesse sentido, pois estima o tempo previsto para a ocorrência de um evento de igual ou superior magnitude levando-se em consideração a probabilidade relacionada.

A definição do período de retorno deve então equilibrar o quesito segurança sem que seja superestimado. Isso porque quanto maior o T_R maiores serão os dispositivos dimensionados a partir dele, e não se deve correr o risco de superdimensionamento.

3.8. Estudos Hidráulicos

No âmbito das questões hidráulicas pertinentes ao presente estudo, tem-se a Equação de Manning, que é a base de diversos modelos hidrológicos e hidráulicos por sua simplicidade simultânea à apresentação de resultados satisfatórios no âmbito dos cálculos envolvendo escoamentos em canais abertos (AB. GHANI *et al.*, 2007).

Essa equação pode ser expressa de diversas formas, sendo que para fins de cálculo da vazão em condutos livres ela se apresenta da seguinte forma (PORTO, 2006):

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} I^{1/2} \quad \text{Eq. (3.1)}$$

Onde:

Q é a vazão no conduto livre em m^3/s ;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning, que depende do material de revestimento das paredes e fundo do canal;

A é a área molhada da seção em m^2 ;

R_h é o raio hidráulico da seção em m ; e

I é a declividade do fundo do canal em m/m .

Essa equação como base de modelos matemáticos tem se mostrado eficiente, sendo o coeficiente de rugosidade de Manning “ n ” fundamental na determinação precisa da vazão sobre

uma superfície (AB. GHANI et al., 2007). Isso porque esse coeficiente, cujos valores são calculados empiricamente, podem ser encontrados em diversas tabelas para diversos materiais, levando em consideração a rugosidade da superfície sobre a qual a água escoará, fazendo com que os valores de vazão calculados sejam mais próximos aos reais (PORTO, 2006).

O coeficiente de rugosidade de Manning também pode ser medido em campo ou determinado através de ensaios laboratoriais, sendo que quanto mais precisos os valores inseridos no modelo hidrodinâmico maior a precisão da vazão estimada para fins de projeto (CHARGEL e HORA, 2014).

3.9. Modelos Hidráulicos e Hidrológicos

Os modelos hidráulicos e hidrológicos têm como objetivo interpretar fisicamente os processos hidrológicos com base em equações consolidadas de conservação de massa e quantidade de movimento (CADIER et al., 1987). A utilização destes modelos tem se mostrado eficiente nas análises e soluções de problemas quando se possui uma base de dados confiável.

3.9.1. Modelo HEC-HMS

É um modelo hidrológico desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* que é constituído por diversos módulos, os quais têm por objetivo a simulação do ciclo hidrológico dentro de uma bacia hidrográfica (SANTOS, 2017).

De acordo com Souza, Crispim e Formiga (2012), esse *software* foi desenvolvido para ser aplicado em bacias hidrográficas com condições geográficas variadas, e os dados de entrada devem se referir às características do local para que o esquema hidrológico seja replicado no modelo e os dados gerados com a simulação dos processos de precipitação-escoamento possuam confiabilidade.

Dentro do *software* é possível realizar a modelagem de precipitações, separações dos tipos de escoamento, taxa de escoamento superficial, amortecimento do escoamento em canais, recessão de escoamento, amortecimento em reservatórios, derivações de vazões e calibração dos parâmetros do modelo, sendo que todas as simulações são baseadas em equações hidrológicas reconhecidas (GRACIOSA, 2010).

No âmbito da integração do HEC-HMS com o HEC-RAS e o ArcGIS na delimitação de

áreas de inundação para subsidiar projeto de implantação de parque linear, o HEC-HMS tem mostrado funcionalidade no que concerne à simulação hidrológica da bacia.

No trabalho desenvolvido por Cabral et al. (2016), observa-se o sucesso desta integração, sendo que o HEC-HMS se mostrou adequado na obtenção das vazões máximas, as quais são dados de entrada necessários para aplicação do modelo HEC-RAS.

3.9.2. Modelo HEC-RAS

É um modelo hidrológico-hidráulico desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* que simula escoamentos uniformes ou não uniformes, em uma ou duas dimensões, onde em cada uma de suas iterações as equações de continuidade e conservação de *momentum*, ou seja, as equações de Saint-Venant são resolvidas (QUEDI, CAMPOS e FAN, 2018).

Como nos escoamentos acontecem transições entre os regimes e perturbações ao longo do fluxo, os modelos hidrodinâmicos devem ser capazes de abranger esse tipo de situação.

Porém, ainda que o HEC-RAS seja baseado em modelos numéricos que são eficazes na resolução das equações de Saint-Venant, mesmo em situações complexas, ocorrem aproximações devido à dificuldade de simular exatamente as situações reais, e isso pode ser considerada uma limitação do modelo (TOOMBES e CHANSON, 2011).

No que concerne a aplicação do HEC-RAS para determinação das áreas de inundação de córregos, diversos autores encontraram bons resultados, principalmente quando o modelo é associado a um software de SIG (Sistema de Informações Geográficas). A eficácia de resultados nessa utilização é observada nos estudos de Oliveira et al. (2016), Chargel e Hora (2014), Abdelbasset et al. (2015), Fernandez, Mourato e Moreira (2013) e Beltaos, Tang e Rowsell (2012).

3.10. Quantum GIS

O Quantum GIS (ou QGIS) é um *software* que consiste em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esse tipo de sistema, segundo Câmara et al. (1996), permite a integração de informações geográficas obtidas a partir de diversos meios (imagens de satélite, dados cartográficos e cadastros diversos) em uma base unificada.

O termo SIG é utilizado para definir os sistemas que compilam informações não apenas

de acordo com a localização espacial, mas também coleta todas as informações disponíveis sobre uma área, com base em suas características alfanuméricas (DAVIS e CÂMARA, 2001).

O QGIS é um Sistema de Informações Geográficas usualmente utilizado para criar, analisar, administrar e compartilhar dados espaciais. Dentro do *software*, existem diversas ferramentas para que se possa trabalhar com os dados disponíveis.

As maiores aplicações do QGIS estão relacionadas à elaboração e utilização de mapas, análise e compilação de informações geográficas, busca e compartilhamento de novos dados e gestão das informações (RUBERT, 2011).

Os mapas elaborados através do programa são atualmente utilizados para diversas aplicações acadêmicas e profissionais, devido à versatilidade de suas ferramentas, que permitem resultados bem elaborados.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa é do tipo descritivo-exploratória e quantitativa, constituindo-se em um estudo de caso, buscando a descrição de características dos fenômenos envolvidos e de correlação entre variáveis.

A metodologia do trabalho está dividida em quatro etapas: a) escolha e caracterização de área para implantação de parque linear na cidade de Belo Horizonte, b) coleta e tratamento de dados e informações de entrada nos modelos; c) aplicação das ferramentas de modelagem hidrológico-hidráulica; d) delimitação da área de inundação do parque linear; e e) análise de cenários de implantação de um parque linear na área de estudo.

4.1. Escolha e caracterização da área de estudo

Inicialmente foram levantados os canais da cidade de Belo Horizonte afetados por inundações, com base nas Cartas de Inundação da cidade, bem como em notícias e reportagens relacionadas a este tipo de evento. Dentre estas possíveis regiões de estudo, levou-se em consideração onde seria possível a integração de um parque linear ao ambiente urbano já existente.

Uma pesquisa bibliográfica também foi realizada para selecionar os córregos da cidade de Belo Horizonte que são recorrente foco de eventos de inundação e os quais já foram objeto de estudos ou levantamentos (seja da prefeitura ou acadêmicos) e, dessa forma, dados e informações estariam disponíveis para auxiliar na caracterização da área para o presente estudo.

Essa seleção inicial indicou como possíveis locais de estudo: Córrego Barreiro, Córrego do Onça, Córrego Cachoeirinha, Córrego Arrudas, Córrego Ressaca, Córrego Cercadinho, Córrego Vilarinho e Córrego Gameleira.

Após definição das bacias compatíveis com o estudo, a escolha da área de estudo baseou-se na disponibilidade de dados e informações obtidos junto à Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP).

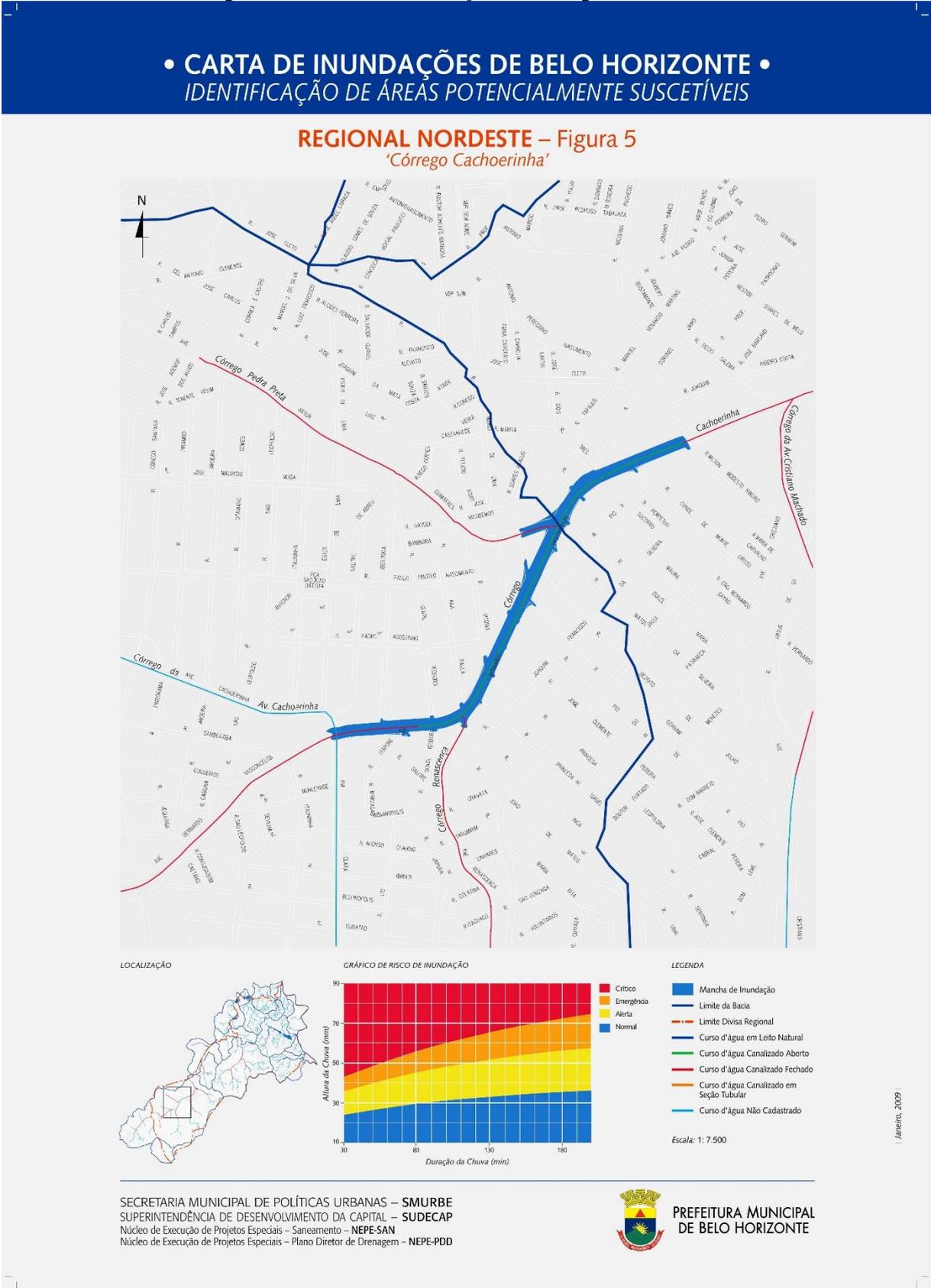
Dessa forma, os dados disponibilizados pela SUDECAP possibilitaram a escolha do Córrego Cachoeirinha como área de estudo.

A seleção deste curso d'água se deu pelos seguintes fatores: susceptibilidade às inundações, uma vez que em notícias e reportagens referentes a eventos de inundações em Belo Horizonte observa-se que o canal sofre com alta frequência desse tipo de evento; conhecimento

prévio da área e localização, já que em caso de necessidade de visitação haveria viabilidade; área de estudo compatível com a implantação de parque linear no que concerne   disponibilidade de área; existência de boa base de dados bibliográficos para subsidiar o estudo; e existência de potenciais áreas próximas   região crítica de inundações para implementação do parque.

Os eventos de inundações no Córrego Cachoeirinha são recorrentemente noticiados, sendo um dos pontos críticos de cidade de Belo Horizonte, como reforça a reportagem de Oliveira (2019) sobre o trecho do Córrego Cachoeirinha localizado na Avenida Bernardo Vasconcelos. Na Figura 4.1 está destacada a Bacia do Córrego Cachoeirinha na Carta de Inundação da cidade de Belo Horizonte.

Figura 4.1 – Carta de Inundação do Córrego Cachoerinha.



Fonte: Belo Horizonte (2009).

O Córrego Cachoeirinha fica localizado majoritariamente na Região Nordeste de Belo Horizonte. Essa região possui área total de 40,97 km², com altitudes variando entre 675 m e 931 m, o que, segundo Vasconcelos (2016), representam características físicas territoriais que conferem à região alta susceptibilidade a eventos de inundação.

Com relação ao uso do solo na Região Nordeste de Belo Horizonte, o diagnóstico do Plano Diretor da cidade revela que aproximadamente 72,5% da área é urbanizada e 27,5% corresponde à cobertura vegetal, sendo a população total da região de 294.246 habitantes (BELO HORIZONTE, 2013).

No que concerne às inundações, segundo dados da Defesa Civil de Belo Horizonte, no período de 1995 a 2016, a Região Nordeste registou o maior número de eventos de alagamentos e inundações dentre as regionais, totalizando 19% do total de eventos (BELO HORIZONTE, 2016).

O Córrego Cachoeirinha possui ainda uma pequena parte localizada na Região Noroeste de Belo Horizonte. Contudo, segundo o Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte (PDDBH), a parcela do Córrego que fica localizada nesta região não é afetada pelas inundações (BELO HORIZONTE, 2000).

O canal analisado no presente estudo pertence à Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha, a qual, por sua vez, pertence à bacia principal do Ribeirão do Onça. A Bacia Elementar ocupa as regionais Noroeste e Nordeste, porém predomina na região Nordeste (cerca de 75,4% da área total) (BELO HORIZONTE, 2009).

No total, a Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha abrange 48 bairros, sendo que, de acordo com o censo de 2010 realizado pelo IBGE, existem 487 bairros na cidade de Belo Horizonte. O mesmo censo constatou que toda a planície de inundação da bacia se encontra urbanizada.

Para o presente estudo, foi realizado um levantamento de dados visando caracterizar a Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha, sendo que as principais fontes de dados foram: o Plano Diretor atual da cidade de Belo Horizonte, resultados de cálculos e análises realizados dentro do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e dados secundários provenientes de bibliografias de referência com relação à temática do trabalho. Os dados base de entrada para a elaboração dos mapas no software de SIG foram obtidos a partir da base de dados do BHMAP.

O BHMAP consiste em um projeto da prefeitura de Belo Horizonte que tem o objetivo de disponibilizar dados geográficos da cidade para uso geral dos cidadãos, fornecendo uma base completa de dados dentro de um Sistema de Referência Espacial (SRID) (BELO HORIZONTE,

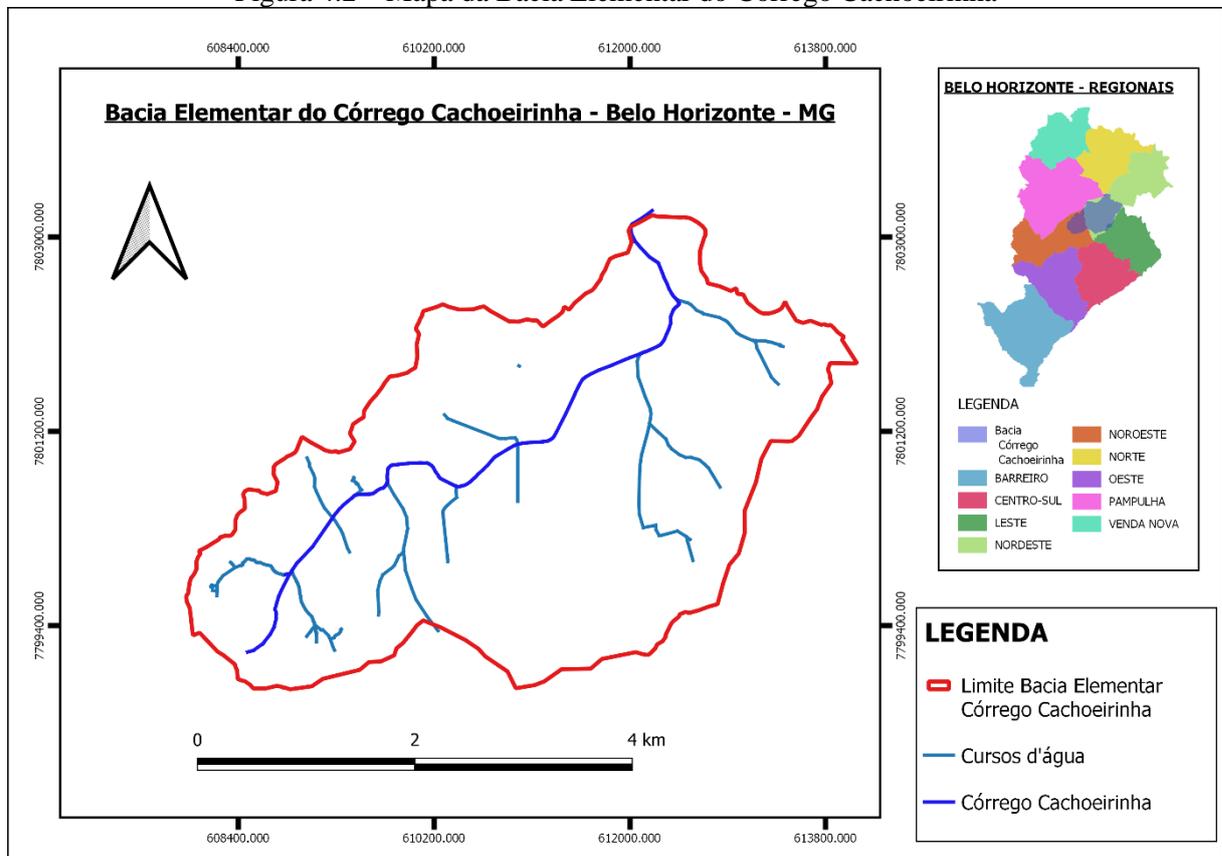
2016).

Nesta plataforma é possível obter dados de diferentes segmentos, tais como: assistência social, economia, cultura, demografia, territorialidade, energia, lazer, habitação, limpeza urbana, saúde, meio ambiente, tecnologia, transporte, uso e ocupação do solo e outros.

Dessa forma, foi possível compilar dados da área de estudo, gerar novos dados e análises e elaborar mapas para auxiliar na etapa de caracterização.

A hidrografia e localização da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Mapa da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha



Fonte: Elaborada pela autora.

A bacia possui uma área total de 15,79 km², sendo que o curso principal (o Córrego Cachoeirinha), possui um comprimento total de 7.012 m, dos quais, segundo o Plano Diretor, Belo Horizonte (2009), 5.810 m correspondem ao curso d'água revestido aberto e 1.202 m a fechado. A canalização dos cursos d'água é comum nos processos de formação das cidades sem o devido planejamento urbano, como reforça Canholi (2014).

O Córrego Cachoeirinha é em sua totalidade revestido, ou seja, sua topografia natural

foi alterada. Segundo Tucci (2012), o revestimento de canais está diretamente relacionado ao aumento da vazão e diminuição (ou mesmo anulação) da taxa de permeabilidade da água nesses canais, sendo um dos importantes fatores contribuintes nos eventos de inundações urbanas.

Na Tabela 4.1 são apresenta alguns dados referentes à Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha, extraídos do Plano Diretor da cidade de Belo Horizonte e a partir do mapeamento da região realizado no Quantum GIS (QGIS).

Tabela 4.1 – Dados da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

| Descrição | Dados | Unidade |
|--|--------------|----------------|
| Comprimento do Talvegue | 7.790 | m |
| Precipitação Média Anual | 1.450 | mm |
| Diferença de cota entre o ponto mais a montante e o exutório | 149 | m |
| Declividade Total | 0,0191 | m |
| Taxa Média de Permeabilidade | 36,6883 | % |
| Cobertura do Principal Curso D'água | 82,86 | % |

Fonte: Belo Horizonte, 2009; Belo Horizonte, 2002 e autoria própria.

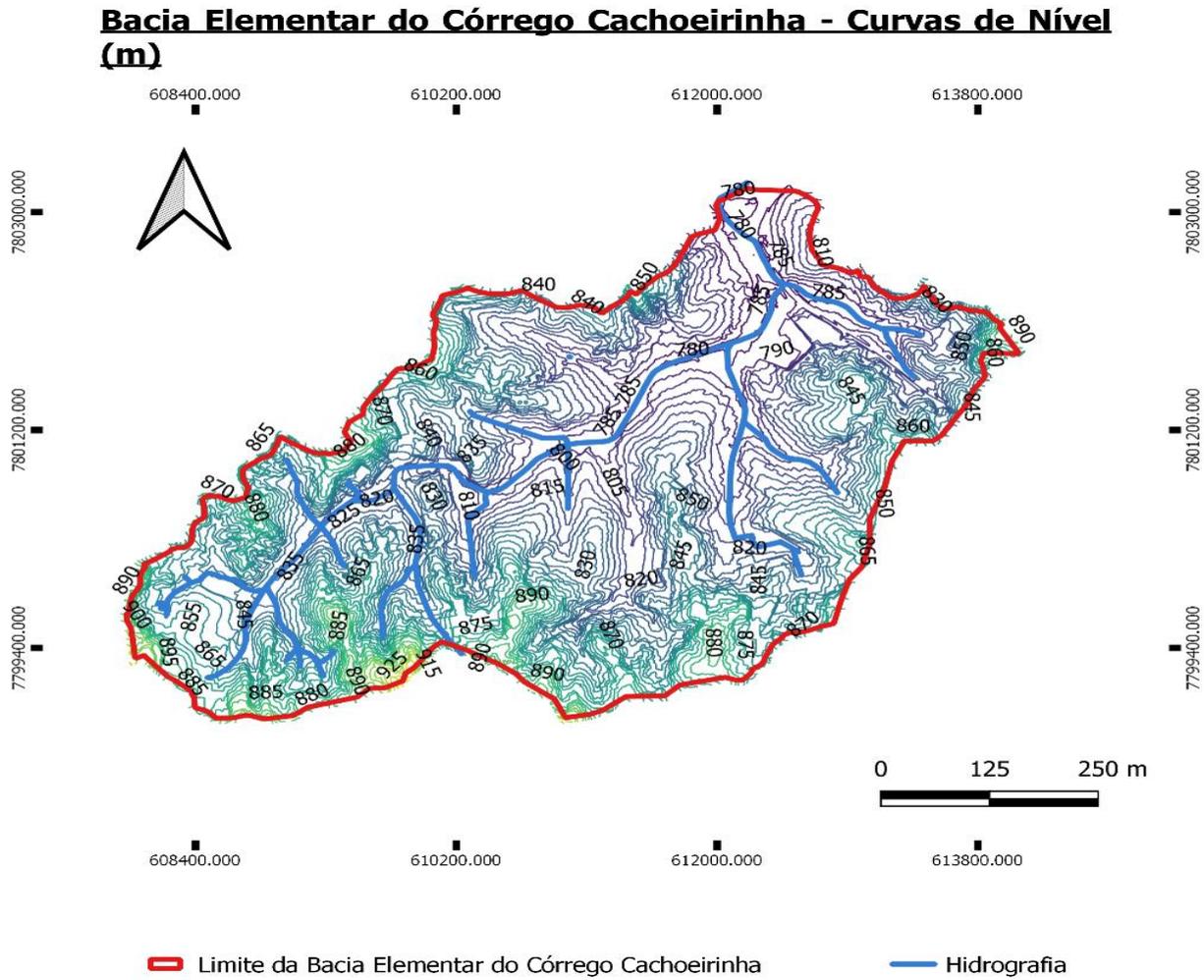
Com relação ao esgotamento sanitário, segundo diagnóstico do Plano Diretor, existe rede coletora na bacia, porém a cobertura desta rede coletora não é total, fazendo com que ainda haja o lançamento de esgoto na rede de drenagem pluvial (BELO HORIZONTE, 2009).

O mesmo diagnóstico expõe que o Índice de Salubridade Ambiental (ISA) da bacia é de 99%, mesmo valor referente ao Indicador de Cobertura por Coleta de Resíduos Sólidos (ICL). O ISA foi o índice utilizado pela Prefeitura que quantifica a cobertura por serviços de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos) das bacias e sub bacias do município (BELO HORIZONTE, 2009).

Portanto, o local oferece boas condições de vida do ponto de vista ambiental, e a alta abrangência do serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos indica que a questão da disposição inadequada destes não deve ser um agravante no que concerne aos eventos de inundação.

Com relação à planialtimetria do local, foi elaborado, utilizando o Quantum GIS e os dados levantados como entrada no *software*, o mapa das curvas de nível da bacia, indicando as altitudes e a declividade da região (Figura 4.3).

Figura 4.3 – Curvas de Nível da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

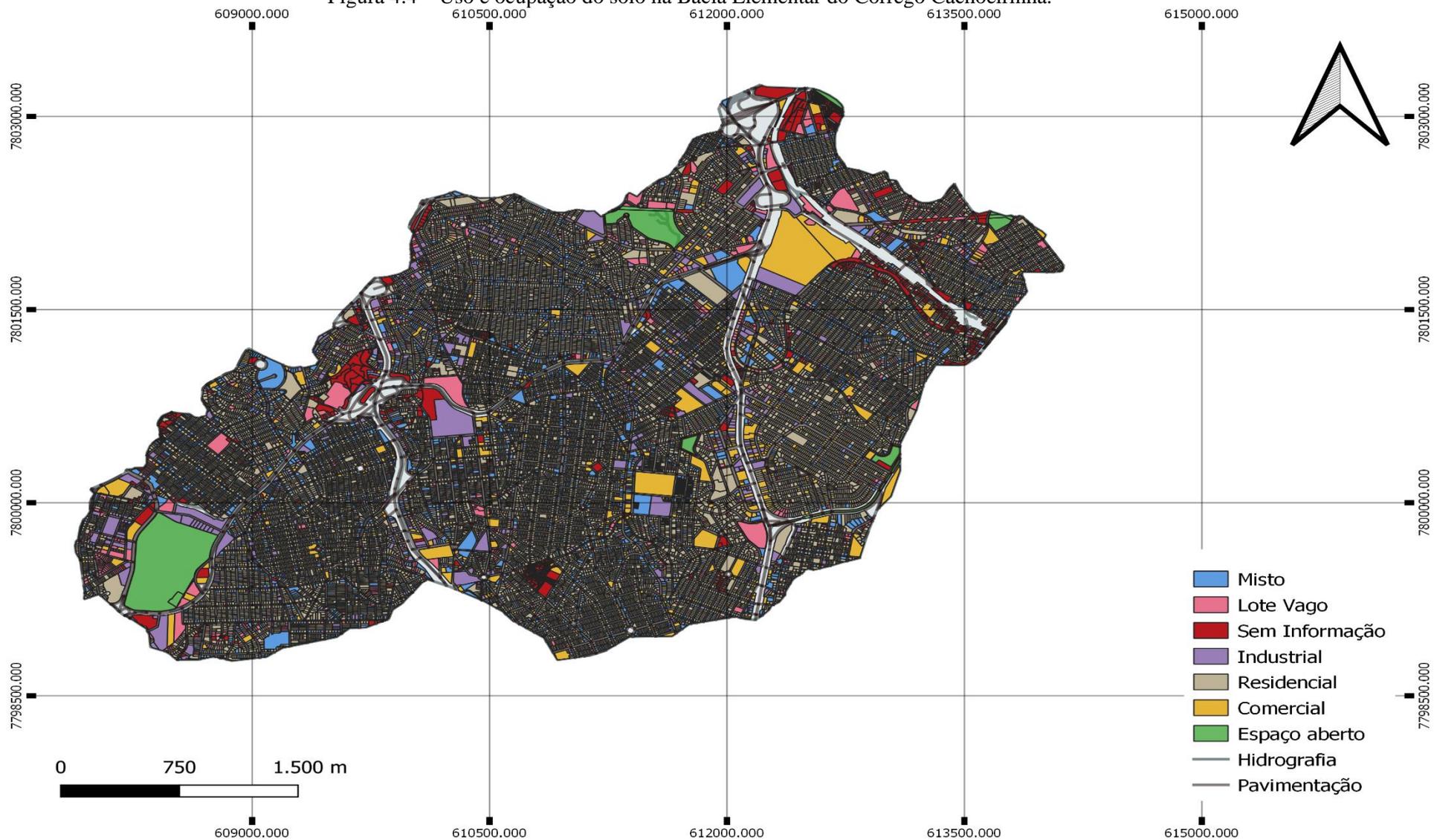


Fonte: Elaborado pela autora.

Como pode ser observado na Figura 4.3, as áreas de maior declividade são predominantes na bacia, outro fator que intensifica os eventos de inundação. Isso porque, em terrenos com maior declividade, as águas pluviais escoam com maior velocidade e tendem a se acumular nas regiões de menor declividade.

A Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha é uma área urbanizada, seguindo os padrões da região à qual pertence. O mapa de uso e ocupação do solo do local foi elaborado, conforme Figura 4.4, utilizando-se o Quantum GIS associado aos dados levantados no âmbito da caracterização da área de estudo.

Figura 4.4 – Uso e ocupação do solo na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir das informações da Figura 4.4 foi possível obter os seguintes dados do principais usos e ocupação do solo na bacia, bem como suas respectivas áreas (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Uso e ocupação do solo da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

| Uso | Área (km ²) | Área (%) |
|---------------------------------|-------------------------|------------|
| Misto (Residencial e Comercial) | 1,15 | 7,28 |
| Lote Vago | 0,65 | 4,09 |
| Industrial | 0,80 | 5,07 |
| Comercial | 1,01 | 6,39 |
| Residencial | 6,99 | 44,32 |
| Espaço Aberto | 0,47 | 2,98 |
| Asfalto e Passeios | 4,15 | 26,28 |
| Sem Informação | 0,57 | 3,59 |
| Total | 15,79 | 100 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, o local pode ser caracterizado como uma área urbanizada e com alta taxa de impermeabilização, uma vez que os espaços construídos e asfaltados predominam. Segundo Vasconcelos (2016), essa é a tendência da cidade de Belo Horizonte.

Além disso, os espaços abertos, que correspondem a parques, praças e afins (locais representativos no que concerne à taxa de permeabilidade das águas), correspondem à uma área muito pouco significativa da bacia, o que reforça a necessidade da implementação de mais áreas verdes no local.

Os tipos de ocupação do local, associados à planialtimetria local, permitem visualizar que de fato a ocupação da área se deu de forma desordenada e sem o devido planejamento urbano.

Segundo Silva *et al.* (2014), os eventos de urbanização que ocorrem de forma desordenada tendem a deixar poucas áreas verdes e baixas taxas de permeabilidade, impermeabilizando ainda locais com alta declividade a partir da ocupação. Na área de estudo ainda se constata a formação de bairros e zonas urbanizadas nas planícies de inundação do curso d'água.

A caracterização apresentada sobre a área de estudo corrobora com o histórico de eventos de inundações e catástrofes hidrológicas locais. Constantemente observa-se o Córrego Cachoeirinha como pauta de notícias e reportagens devido a este tipo de evento, trazendo à região danos sociais e ambientais.

Segundo Siqueira (2017), o trecho mais crítico referente aos eventos de inundação do Córrego Cachoeirinha se localiza na Avenida Bernardo Vasconcelos. Nesse local são

observados frequentemente fenômenos críticos, como o mostrado na Figura 4.5, na qual é possível observar uma cheia intensa do Córrego Cachoeirinha (em seu trecho na Avenida Bernardo Vasconcelos – Belo Horizonte):

Figura 4.5 – Evento de inundação na Avenida Bernardo Vasconcelos – Belo Horizonte – MG.



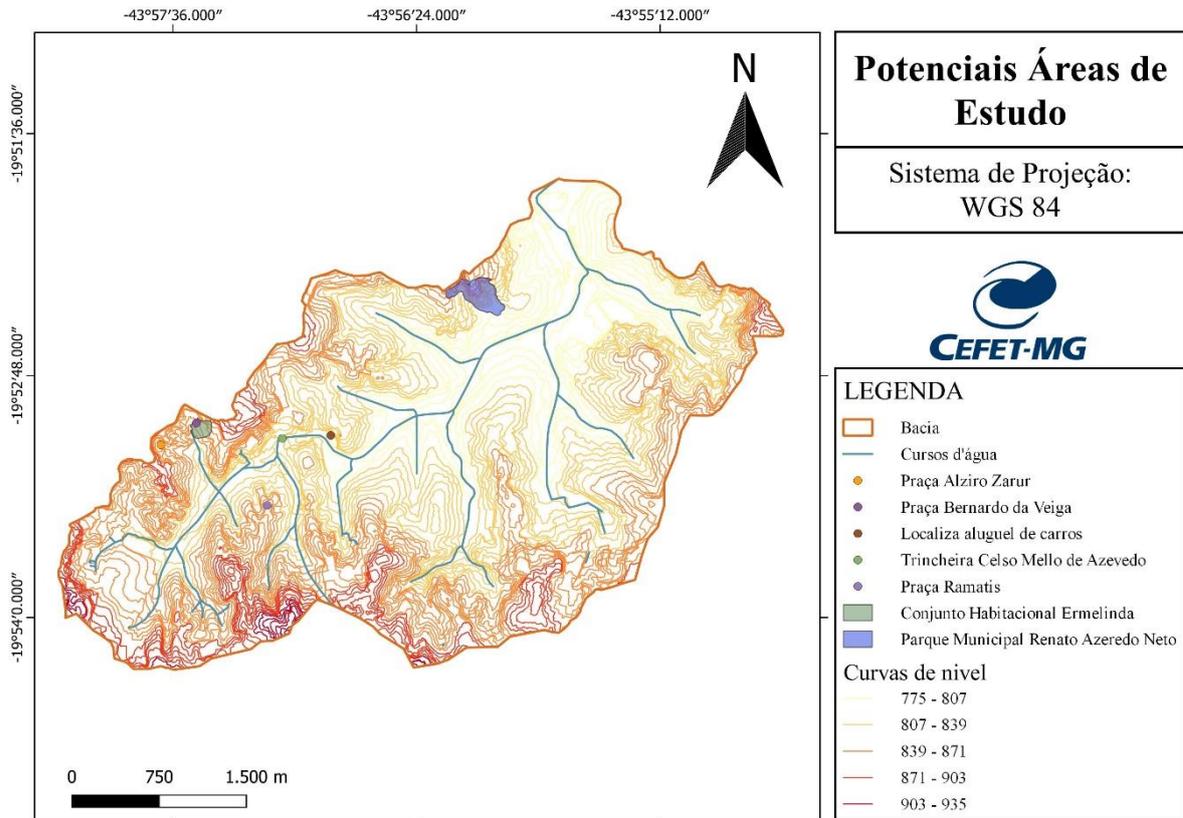
Fonte: Estado de Minas (2020).

O evento registrado na Figura 4.1.5 foi decorrente da precipitação ocorrida no dia 14 de janeiro de 2020, a qual, segundo a reportagem do Estado de Minas (2020), da ordem de 45 mm em 1 hora. De acordo com a curva de intensidade, duração e frequência (IDF) do Córrego Cachoeirinha (que pode ser observada na Figura 4.1.1), uma chuva de 45 mm/h é considerada intensa para o local, caracterizando risco crítico de inundação.

No dia 22/11/2020 foi realizada uma visita em áreas com potencial para o desenvolvimento do estudo, ou seja, locais localizados na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha onde haveria viabilidade para implementação de parque linear visando o aumento da área de infiltração na Bacia.

A Figura 4.6 mostra a localização dos locais visitados:

Figura 4.6 – Áreas visitadas com potencial para o projeto.



Fonte: Elaborado pela autora.

Estes locais se apresentaram com potencial para o estudo por já serem ambientes de uso da população com algum tipo de área verde ou com potencial para a criação de áreas preservadas ambientalmente, ou ainda por serem áreas com o potencial e necessidade de realização de restauração ambiental.

Observou-se na visita que a viabilidade de integração das Praças Alziro Zarur e Bernardo da Veiga, localizadas no bairro Ermelinda para a formação de um parque, com poucas desapropriações, conforme constatado na observação *in loco* e na visualização via satélite da região.

Neste caso, ainda haveria uma pequena praça entre os dois locais que também poderia integrar o parque, a Praça Dois. Um parque na região seria viável não apenas do ponto de vista ambiental, com aumento da taxa de infiltração e diminuição do escoamento superficial, mas também seria um importante ponto de lazer para os moradores locais.

Na visita observou-se que a população já faz uso das praças existentes para lazer ou práticas esportivas. Ainda, existe um conjunto habitacional (também visitado conforme Figura 4.6) que ocupa uma área significativa, se tratando de um conjunto de prédios. A população deste conjunto não apenas poderia usufruir dos benefícios do parque, como o próprio conjunto

poderia se integrar ao parque, podendo ainda adotar medidas para o aumento da permeabilidade na bacia.

Essas medidas, conforme descrito no 3.3.1 poderiam ser trincheiras de infiltração ou telhados verdes. De acordo com Canholi (2014), a adoção deste tipo de medida, as chamadas técnicas de controle na fonte, são muito importantes e eficientes no âmbito da gestão hídrica dos municípios, e, os subsídios por parte das prefeituras para o incentivo na adoção deste tipo de técnica têm mostrado bons resultados.

As técnicas que visam minimizar o escoamento pelo controle na fonte de geração têm como vantagem a manutenção da condição anterior à urbanização no local com relação aos volumes escoados, baixos custos envolvidos, integração estática ao ambiente existente e valorização do local (TUCCI, 1997). A implantação deste tipo de medida apresenta outros benefícios, tais como conforto térmico, acústico e visual e bem estar geral da população, que tem a possibilidade de contato com a meio ambiental natural dentro dos centros urbanos.

Outro ponto visitado em 22/11/2020, a Trincheira Celso Mello de Azevedo, fica localizada no cruzamento das Avenidas Américo Vespúcio e Bernardo Vasconcelos com a Avenida Presidente Antônio Carlos. Esta trincheira possui uma grande extensão (32.598 m²), com vários pontos onde seria viável o plantio de espécimes vegetais nativas visando a restauração ambiental e criação de áreas verdes com características ambientais similares ao que era antes da urbanização.

Ainda, existe no local um campo de futebol de terra utilizado pela população para lazer, além de um campo de cimento que poderia ser de grama para otimizar o espaço no sentido de aumento da área infiltrável. Caso houvesse a revitalização do local, o campo poderia ser de grama, o que aumentaria a taxa de infiltração no local, que contribui diretamente para o escoamento que chega ao Córrego Cachoeirinha.

Próximo à trincheira, existe o prédio da empresa Localiza, do ramo de aluguel de veículos. Se trata de um prédio novo, que, segundo o site Mercado & Eventos em reportagem de Anderson Masetto (2018), possui 30.000 m² de área construída. Ou seja, a edificação ocupa uma área significativa dentro da bacia.

Outro ponto visitado foi o Parque Renato Azeredo Neto, que corresponde a uma área verde de preservação ambiental na região nordeste de Belo Horizonte. Na visita foi possível observar que o local é utilizado pela população para lazer e práticas esportivas. Observou-se ainda alguns pontos de melhoria no sentido de revitalizar a área verde existente para otimizar as taxas de permeabilidade do local. Na Figura 4.7 observa-se um trecho do parque onde há

espaço e necessidade de recuperação ambiental com o plantio de espécimes vegetais nativos:

Figura 4.7 – Trecho com necessidade de intervenção no Parque Renato Azeredo Neto.



Fonte: Acervo pessoal.

O plantio de espécimes nativos está relacionado diretamente com o retorno de espécies da fauna aos locais preservados, conferindo ao ambiente características mais próximas quanto possível ao que era observado no período anterior à urbanização sem o devido planejamento (FRIEDRICH, 2007).

Ao visitar-se o entorno do parque também foi verificada a viabilidade de sua expansão, visto que existem áreas desocupadas ou com potencial de integração ao parque. Observou-se que no entorno existe uma área montanhosa com um pico que serve de ponto de encontro com viés religioso, sendo que no ato da visita havia um guia conduzindo moradores locais para visita a este ponto religioso.

Existe também no entorno uma subestação da concessionária CEMIG, que ocupa uma grande área com potencial para se tornar área de preservação nos espaços não ocupados pelas torres de energia. Foi observada também a presença de lotes vagos, como um com área extensa localizado na Rua Antônio Peregrino Nascimento em frente ao nº 22.

Além disso, segundo Oliveira (2015) a presença deste tipo de área no meio urbano tem um valor agregado imensurável do ponto de vista socioambiental, principalmente quando a população já tem o hábito de utilizar os espaços públicos, como é o caso do parque já existente.

Este tipo de área verde urbana também é, segundo Friedrich (2007) uma oportunidade para o desenvolvimento de Programas de Educação Ambiental (PEAs). Tais programas são essenciais para o desenvolvimento sustentável sendo de responsabilidade dos municípios a promoção da educação ambiental em todos os níveis, conforme a Lei nº 9.975 de 1999 que

instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental.

A interação da população com o ambiental natural é importante e vantajosa, pois, além da minimização dos impactos da urbanização a questão da qualidade de vida e bem estar são observados em moradores que habitam próximo a áreas verdes urbanas.

4.2. Coleta, tratamento e análise dos dados de entrada dos modelos

Após a definição e caracterização da área de estudo, iniciou-se a coleta, tratamento e análise de dados iniciais para a etapa de modelagem hidrológica e, posteriormente, modelagem hidráulica.

Para a realização da modelagem hidrológica, que tem por objetivo realizar simulações hidrológicas na bacia de forma a obter as vazões máximas, foi utilizado o modelo HEC-HMS.

Os dados básicos de entrada para este modelo foram seguindo o exposto por Souza, Crispim e Formiga (2012): área da bacia, Número da Curva (CN) do Método *Soil Conservation Service* (SCS), declividade total da bacia, comprimento do talvegue, *lag time* (tempo de retardo), % de impermeabilização da área e série histórica de precipitação do local.

A área da bacia, sua declividade total e comprimento do talvegue foram dados já obtidos e apresentados no âmbito da caracterização da área de estudo (Tabela 4.1).

Para a obtenção do CN (Número da Curva), o método utilizado foi baseado nos Estudos Hidrológicos (item 3.5). Dessa forma, foi inicialmente definido o grupo de solo da região, de acordo com as opções e características de cada grupo.

Silva *et al.* (1995) e Ramos (1998) realizaram estudos na cidade de Belo Horizonte e caracterizaram o solo do Complexo Belo Horizonte como pertencente ao grupo hidrológico B dentro da condição de umidade AMC II. Assim, a área de estudo se enquadra no grupo B, possuindo solo com característica arenosa.

Para a definição do valor final de CN da bacia elementar do Córrego Cachoeirinha, cada uso do solo local encontrado na Tabela 4.2 foi associado a um valor de Número de Curva encontrado em literatura (de acordo com a Tabela 3.1). Nesta etapa, algumas considerações tiveram que ser realizadas, conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Considerações para aplicação da Método do Número da Curva.

| Uso do solo na bacia (Tabela 4.2) | Uso do solo – Método SCS (Tabela 3.1) | Valor de CN tabelado (Tabela 3.1) | Valor de CN proporcional à área ⁽⁷⁾ |
|--|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Industrial | Distritos Industriais | 88 | 4,46 |
| Residencial ⁽¹⁾ | Uso Residencial | 85 | 37,67 |
| Comercial | Áreas Comerciais | 92 | 5,88 |
| Espaço Aberto ⁽²⁾ | Espaços abertos, parques e jardins | 69 | 2,05 |
| Asfalto e Passeios ⁽³⁾ | Ruas e estradas | 98 | 25,76 |
| Misto (Residencial e Comercial) ⁽⁴⁾ | - | 88,5 | 6,44 |
| Lote Vago ⁽⁵⁾ | - | 88,4 | 3,62 |
| Sem Informação ⁽⁶⁾ | - | 85,2 | 3,06 |

Fonte: Elaborado pela autora.

⁽¹⁾No âmbito da caracterização da área de estudo, a elaboração do mapa da Figura 4.1.4 permitiu a obtenção do tamanho médios dos lotes do local, que é de 392,52 m². Ou seja, o valor considerado de CN foi para tamanho médio do lote de até 500 m².

⁽²⁾Como no âmbito da caracterização da área observou-se que os cemitérios correspondem à 60% da área total de espaços abertos, considerou-se condições médias para este uso.

⁽³⁾Por se tratar de um local urbanizado e também de acordo com a caracterização, o valor de CN relacionado foi de ruas e estradas pavimentadas, com guias e drenagem.

⁽⁴⁾Valor de CN obtido a partir da média dos valores para uso Residencial e Comercial.

⁽⁵⁾Valor de CN obtido a partir da média dos valores para uso Misto, Industrial, Residencial e Comercial, que são os usos que o lote pode vir a ter na região.

⁽⁶⁾Valor de CN obtido a partir da média dos valores para uso Misto, Lote Vago, Industrial, Residencial e Comercial e Espaço Aberto, que são os possíveis usos do local.

⁽⁷⁾Os valores de CN proporcionais à área de cada uso foram calculados multiplicando-se a porcentagem da área total ocupada pelo respectivo uso (dados disponíveis na Tabela 3.1) pelo valor de CN tabelado encontrado, seguindo a metodologia proposta por Tucci, Porto e Barros (1995).

Como nos estudos hidrológicos desenvolvidos por Silva *et al.* (1995) e Ramos (1998), a condição de umidade antecedente do solo AMC foi considerada como a condição II (Quadro 3.4). Esta se trata de uma condição média de umidade.

A partir deste valor foi possível realizar o cálculo do *lag time* da bacia. Para isto, foi utilizada a equação desenvolvida pelo SCS que calcula o tempo de retardo em função do

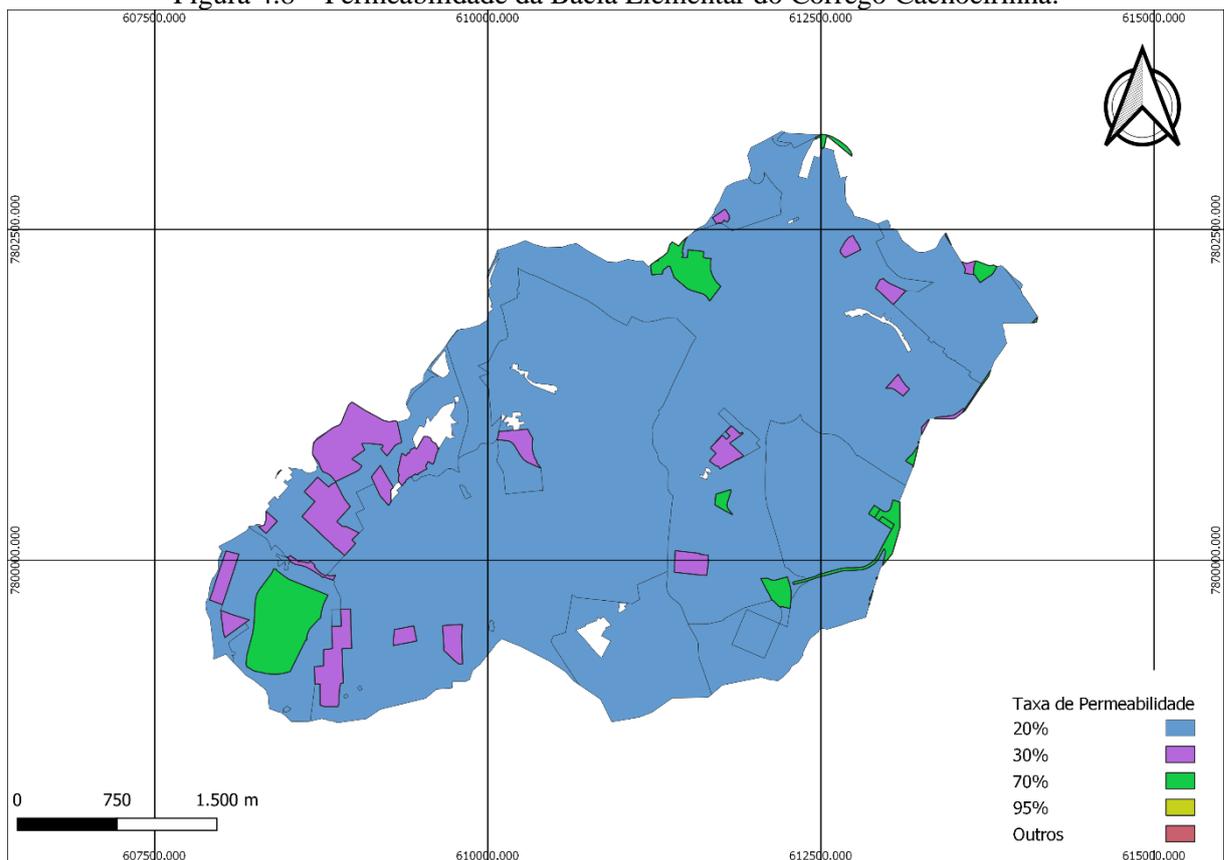
Número da Curva (SCS, 1986):

$$t_{lag} = \frac{2,587 \times L^{0,8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{1.900 \times i^{0,5}} \quad \text{Eq. (4.1)}$$

onde t_{lag} corresponde ao *lag time* em horas, L é o comprimento do talvegue em metros, i corresponde à declividade média da bacia [%] e CN é o número da curva da bacia. Ressalta-se que a aplicação desta fórmula considera que o tempo de retardo (t_{lag}) equivale a 60% do tempo de concentração.

Para o coeficiente de impermeabilização da bacia, os dados levantados na etapa de caracterização da área (item 4.1) serviram de base para a elaboração do mapa da Figura 4.8.

Figura 4.8 – Permeabilidade da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Uma das ferramentas da gestão municipal com relação aos cursos d'água de Belo Horizonte é o Sistema de Monitoramento Hidrológico, tratado no item 3.5.1. A bacia elementar do Córrego Cachoeirinha conta com duas estações de monitoramento, uma pluviométrica e

outra fluviométrica (estações número 14 e 13, respectivamente, como pode ser observado na Figura 3.3).

A Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) é responsável por estas estações e forneceu os dados de todas as estações de Belo Horizonte em uma série histórica, com dados de 29/09/2011 a 03/03/2020, em forma de planilha Excel, para o desenvolvimento do presente estudo.

Para a realização da etapa de modelagem hidrológica com a utilização do *software* HEC-HMS, utilizou-se a série histórica de dados de precipitação da Estação 14, estação pluviométrica localizada no Córrego Cachoeirinha. Esta estação transmite os dados do monitoramento, que têm uma frequência de 10 minutos para a medição de dados referentes à precipitação em *mm*.

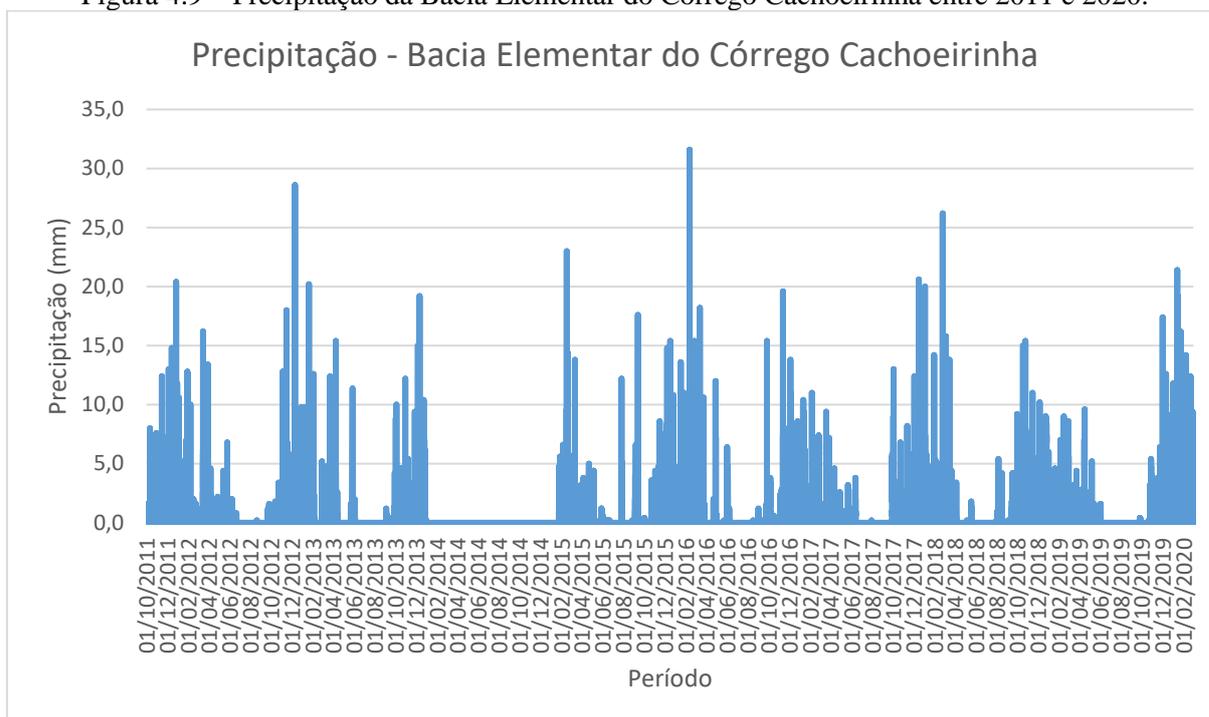
Considerando esta frequência, são coletados diariamente 144 dados pluviométricos. Em 2014, devido às questões administrativas municipais, houve paralisação no monitoramento, por isso nesse ano não houve coleta de dados.

Para viabilizar a inserção dos dados pluviométricos no HEC-HMS, foi necessário considerar todos os dados indisponíveis (células da planilha Excel fornecida que estavam em branco) como sendo 0 mm de precipitação. Isso porque o *software* solicita como informações iniciais de dados pluviométricos o intervalo de datas e o de tempo entre os dados, gerando uma planilha própria para inserção dos dados, que não permite a finalização do processo com células vazias. Essa consideração de valores nulos para dados indisponíveis também foi válida para os dados do ano de 2014.

Segundo Cabral et al. (2016), a análise da série histórica de precipitação de uma região é fundamental para o conhecimento da distribuição da precipitação e verificação da confiabilidade dos dados. Os dados fornecidos pela SUDECAP, com abrangência de 9 anos de monitoramento, permitiram o conhecimento e análise da distribuição e intensidade da precipitação na área de estudo, ainda que se tenha verificado que nem sempre existe uma tendência precisa.

Os dados disponíveis de precipitação dos anos de 2011 a 2020 são apresentados na Figura 4.9.

Figura 4.9 – Precipitação da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha entre 2011 e 2020.



Fonte: Elaborado pela autora.

Esses dados indicaram que o volume máximo precipitado foi de $31,6 \text{ mm}$, dado observado às 16:40 h do dia 12/02/2016, enquanto o maior volume mensal de precipitação se deu no mês de janeiro/2020, com $793,6 \text{ mm}$.

Essa série histórica ainda permitiu observar a tendência de ocorrência de mais precipitações entre os meses de novembro e março e volumes quase sempre próximos de zero nos meses de julho e agosto. Esse entendimento da hidrologia local e observação dos períodos onde as chuvas tendem a ser mais intensas e frequentes, permite constatar, segundo Cabral et al. (2016), quando há maior probabilidade da ocorrência de inundações em áreas susceptíveis a este evento.

A observação de reportagens acerca das inundações no Córrego Cachoeirinha confirma esse fato, já que esses eventos geralmente acontecem nos meses de dezembro e janeiro.

Os resultados da modelagem hidrológica serviram como dados de entrada do modelo HEC-RAS, juntamente com dados hidráulicos obtidos (rede de drenagem, seções transversais e comprimento da calha) junto à SUDECAP.

No Quadro 4.1 é apresentada a localização das seções do Córrego Cachoeirinha disponibilizadas para a etapa de modelagem hidráulica, cujos dados foram fornecidos pela SUCEDAP para o desenvolvimento do trabalho:

Quadro 4.1 – Seções do Córrego Cachoeirinha.

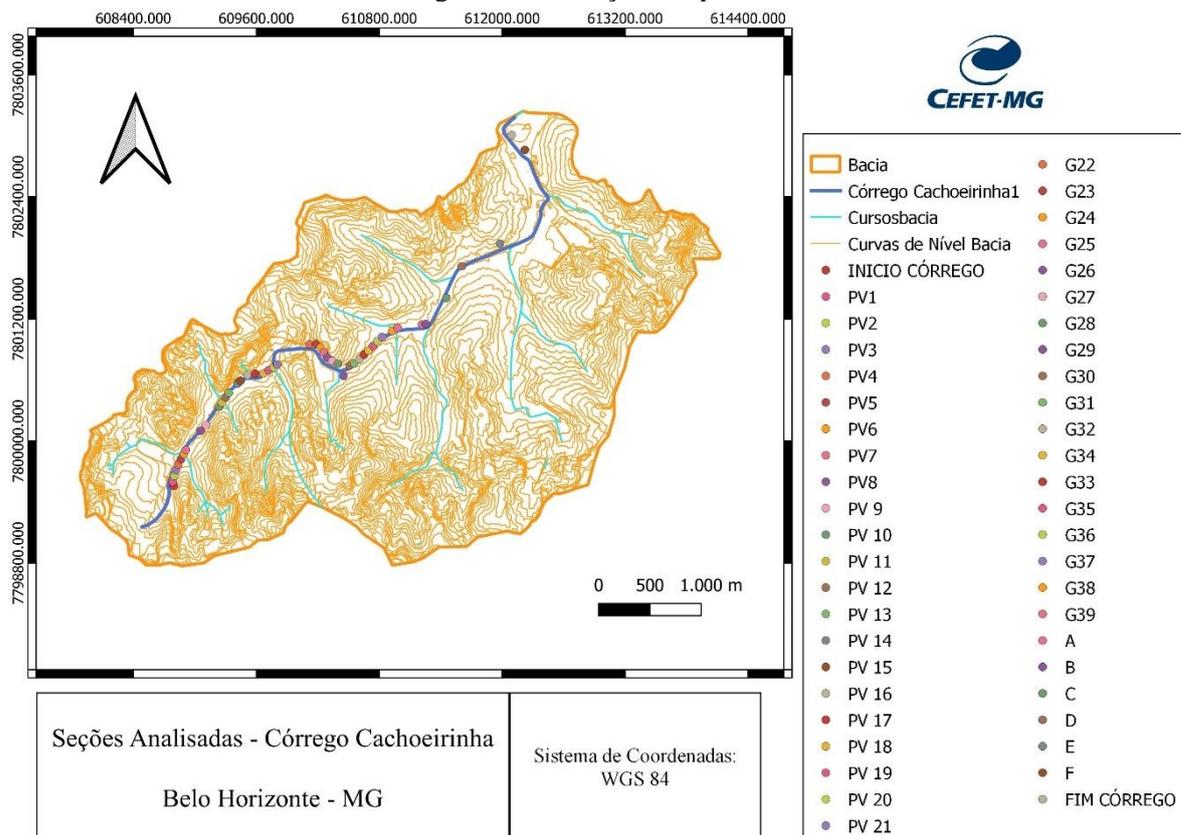
| SEÇÃO | LOCALIZAÇÃO |
|-------------------|---|
| INÍCIO CÓRREGO | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Saraca |
| PV1 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Saraca |
| PV2 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Francisco de Paula Ferreira |
| PV3 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Francisco Paula Ferreira |
| PV4 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua José Benedito Antão |
| PV5 | Av. Américo Vespúcio cruzamento com Rua Martins Alves |
| PV6 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Martins Alves |
| PV7 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Primeiro de Julho |
| PV8 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Luís Monteiro |
| PV9 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Leopoldino de Oliveira |
| PV10 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Henrique Dias |
| PV11 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Mário Filho |
| PV12 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Pinheiros |
| PV13 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Pinheiros |
| PV14 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua São Clemente |
| PV15 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Madureira |
| PV16 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Cantagalo |
| PV17 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Letícia |
| PV18 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Hespéria |
| PV19 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Fides |
| PV20 | Av. Américo Vespúcio próximo à Rua Juriti |
| PV21 | Av. Américo Vespúcio próximo à Av. Presidente Antônio Carlos |
| G22 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Av. Antônio Carlos |
| G23 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Itapetinga |
| G24 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo Rua Itapetinga |
| G25 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Itapetinga |
| G26 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Gurupá |
| G27 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Gurupá |
| G28 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Gurupá |
| G29 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Senhora da Paz |
| G30 | Av. Bernardo Vasconcelos cruzamento com a Rua Senhora da Paz |
| G31 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Cônego Santana |
| G32 | Av. Bernardo Vasconcelos cruzamento com a Rua Delfinópolis |
| G33 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Conselheiro Joaquim Caetano |
| G34 | Av. Bernardo Vasconcelos cruzamento com a Rua Conselheiro Joaquim Caetano |
| G35 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Manicore |
| G36 | Av. Bernardo Vasconcelos cruzamento com Rua Monlevade e Rua São Leopoldo |
| G37 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Coqueiros |
| G38 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Sambeatiba |
| G39 | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Itauninha |
| A | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Clara Nunes |
| B | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Itaporé e Rua Gentil Teodoro |

| SEÇÃO | LOCALIZAÇÃO |
|---------------|---|
| C | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Av. Renascença e Rua Pio XI |
| D | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Dulce Maria e Rua Conde Monte Cristo |
| E | Av. Bernardo Vasconcelos próximo à Rua Décio Salema |
| F | Próximo à Av. Cristiano Machado |
| FIM - CÓRREGO | Próximo ao Anel Rodoviário |

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados fornecidos a partir de planilhas elaboradas por Engenheiros da PBH continham as coordenadas das seções de análise, e, a partir das coordenadas UTM disponibilizadas a localização das seções utilizadas para a modelagem hidráulica são observadas na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Seções disponibilizadas.

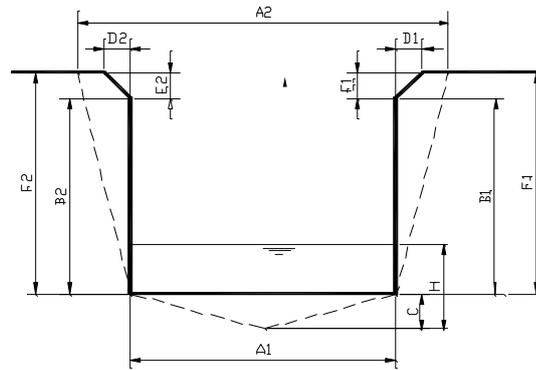


Fonte: Elaborado pela autora.

Após a disposição das seções e com as ferramentas disponíveis no *software* de SIG, foi possível a obtenção dos dados referentes à elevação dos pontos. Os dados disponibilizados pela SUDECAP para as seções não retangulares do canal, como a observada na Figura 4.11, foram insuficientes para a determinação dos dados de geometria para inserção no modelo.

Dessa forma, para o presente estudo considerou-se como retangulares todas as seções analisadas do Córrego Cachoeirinha. Isso porque os dados de altura total do canal estavam disponíveis e apenas a borda do canal o tornava não regular.

Figura 4.11 – Exemplo de Seção Não Retangular do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: SUDECAP (2020).

Para a realização da modelagem hidráulica com auxílio do HEC-RAS, as seções de análise do canal foram divididas em 11 grupos, de acordo com sua geometria (base e altura). O Quadro 4.2 traz os dados desses grupos:

Quadro 4.2 – Geometria das seções de análise.

| Tipo de Seção | Base (m) | Altura (m) |
|----------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 2 | 1.8 |
| 2 | 3.2 | 2.7 |
| 3 | 3.2 | 3.2 |
| 4 | 4 | 3.2 |
| 5 | 5 | 3 |
| 6 | 5.8 | 3 |
| 7 | 5.8 | 3.5 |
| 8 | 7.5 | 3.4 |
| 9 | 7.5 | 3.9 |
| 10 | 8 | 4.6 |
| 11 | 8 | 4.4 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Já o Quadro 4.3 enquadra as seções da análise do estudo dentro dos grupos de acordo com sua geometria caracterizada no Quadro 4.2.

Quadro 4.3 – Enquadramento das seções de análise de acordo com sua geometria.

| SEÇÃO | TIPO DE SEÇÃO |
|----------------|----------------------|
| INÍCIO CÓRREGO | 1 |
| PV1 | 1 |
| PV2 | 1 |
| PV3 | 1 |
| PV4 | 1 |
| PV5 | 1 |
| PV6 | 1 |
| PV7 | 2 |
| PV8 | 3 |
| PV9 | 3 |
| PV10 | 3 |
| PV11 | 3 |
| PV12 | 3 |
| PV13 | 4 |
| PV14 | 4 |
| PV15 | 4 |
| PV16 | 4 |
| PV17 | 4 |
| PV18 | 4 |
| PV19 | 4 |
| PV20 | 4 |
| PV21 | 4 |
| G22 | 5 |
| G23 | 5 |
| G24 | 5 |
| G25 | 5 |
| G26 | 5 |
| G27 | 5 |
| G28 | 5 |
| G29 | 6 |
| G30 | 6 |
| G31 | 6 |
| G32 | 6 |
| G33 | 6 |
| G34 | 6 |
| G35 | 6 |
| G36 | 6 |
| G37 | 6 |
| G38 | 6 |
| G39 | 6 |
| A | 7 |
| B | 7 |

| SEÇÃO | TIPO DE SEÇÃO |
|---------------|---------------|
| C | 8 |
| D | 9 |
| E | 9 |
| F | 10 |
| FIM - CÓRREGO | 11 |

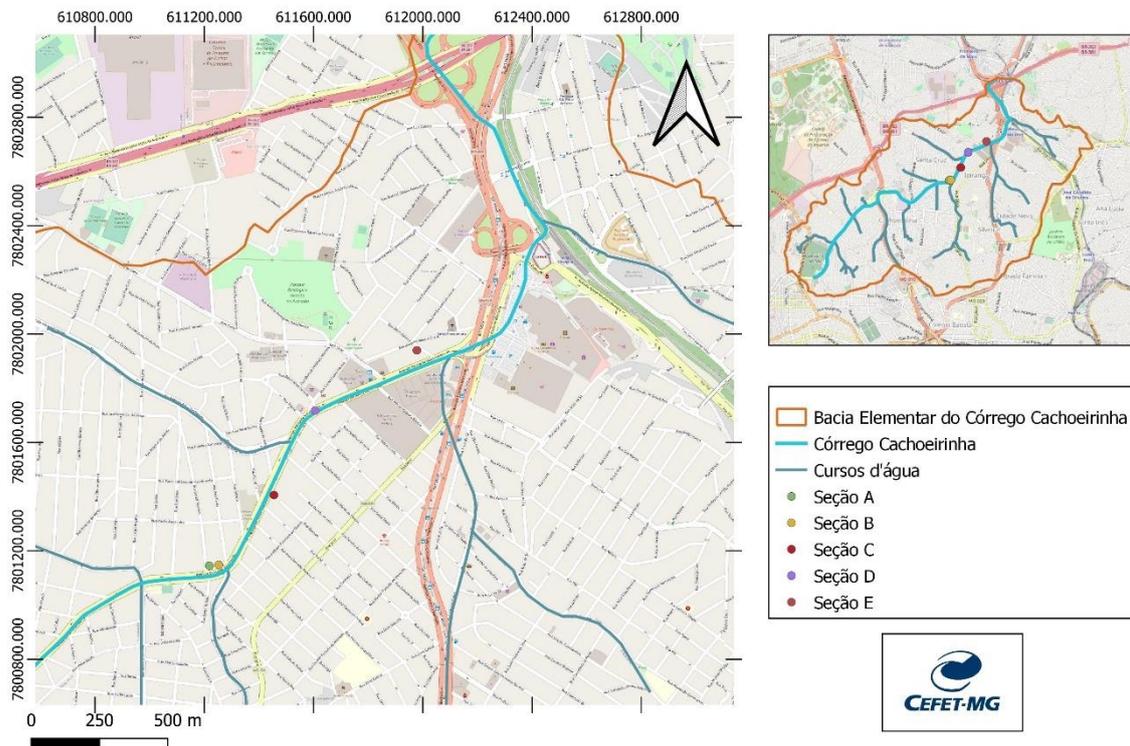
Fonte: Elaborado pela autora.

Para o estudo, o trecho analisado do Córrego Cachoeirinha foi o trecho crítico observado na Carta de Inundação do canal (Figura 3.2). Ou seja, as seções analisadas no âmbito da modelagem hidráulica foram as seções A, B, C, D e E.

Na Figura 4.12 é mostrada a localização das seções analisadas dentro da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

Figura 4.12 – Seções analisadas na modelagem hidráulica.

Seções Analisadas - Sistema de Projeção WGS 84



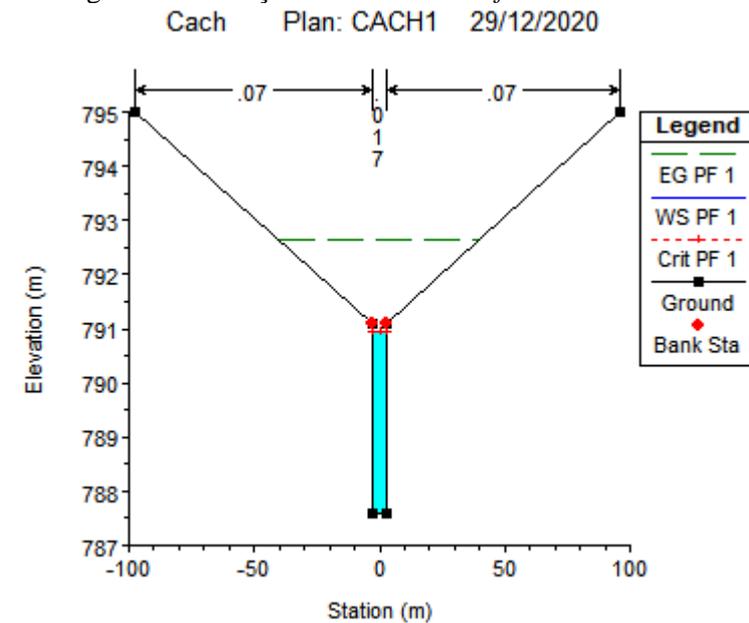
Fonte: Elaborado pela autora.

Para inserir as seções a serem analisadas no modelo, foi necessário considerar também a planície de inundação do canal, visto que o objetivo do estudo é determinar a área de inundação. Para isso, as seções de entrada do modelo consistiram nos dados das seções

disponibilizadas pela SUDECAP acrescidas aos dados das duas curvas de nível mais próximas de cada seção.

O *software* HEC-RAS tem como dados de entrada coordenadas de pontos, que levam em consideração a geometria do canal, sendo o centro da base o ponto (0,0). Para a inserção das seções foram determinados os pontos de cada uma das extremidades das seções, considerando também a planície de inundação, como observado para o caso da Seção A na Figura 4.13.

Figura 4.13 – Seção de entrada no *software* HEC-RAS.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ressalta-se que os valores indicados na figura acima estão relacionados ao coeficiente de Manning do canal e de sua planície de inundação.

Na etapa de modelagem hidráulica também é importante ressaltar-se que para utilização do HEC-RAS as seções devem ser inseridas de jusante para montante, ou seja, para o presente estudo as seções, foram inseridas na seguinte ordem: E, D, C, B e A.

Para a utilização do *software* também foi necessário configurar o sistema do computador para que as casas decimais fossem separadas com pontos ao invés de vírgulas, assim como foi necessário definir as condições de contorno das seções.

Visando o melhor desempenho do modelo, foi determinado que o regime do escoamento seria a mistura dos regimes subcrítico e supercrítico, chamado de “*mixed*” no *software*. Essa determinação se deu a partir de tentativa e erro, onde os resultados obtidos com o *mixed* mostraram-se mais próximos à realidade do canal e dessa forma apresentaram melhores

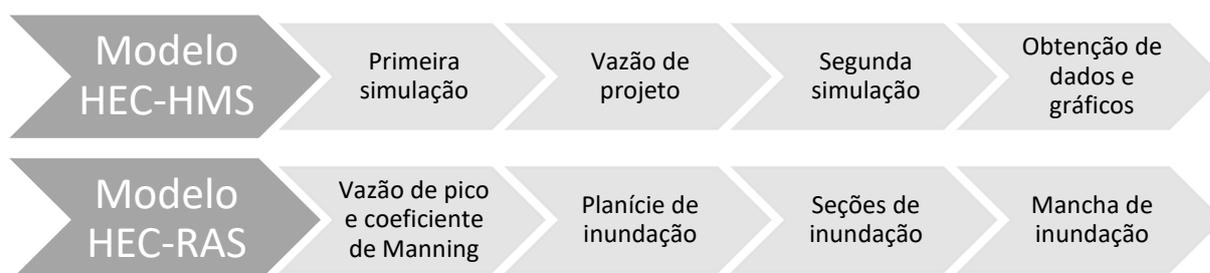
resultados.

A modelagem hidráulica realizada com o auxílio do HEC-RAS resultou nos perfis de superfície por onde a água percorre, assim como as seções onde ocorre extravasamento do canal. Os dados resultantes foram inseridos no QGIS para a elaboração do mapa contendo as áreas de inundação do trecho estudado do Córrego Cachoeirinha.

4.3. Modelagem Hidrológico-Hidráulica

Esta etapa do trabalho pode ser resumida conforme o fluxograma apresentado na Figura 4.14:

Figura 4.14 – Fluxograma referente à modelagem hidrológico-hidráulica.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados obtidos na etapa anterior onde foi realizada a caracterização da área de estudo permitiram que a modelagem hidrológica do Córrego Cachoeirinha fosse realizada a partir do *software* HEC-HMS.

Realizou-se a primeira simulação com toda a série histórica de precipitações da região e, como resultado, obteve-se o pico de vazão de descarga da bacia e a data em que este pico ocorreu, o volume direto escoado, volume base de fluxo, volume de descarga, volumes de perda e excesso, assim como os gráficos referentes ao escoamento e comportamento da precipitação durante o período analisado.

Dados e tabelas referentes aos resultados relacionados acima são apresentados pelo *software*. Como um dos resultados obtidos nesta primeira simulação, tem-se a data onde ocorreu o pico de escoamento na bacia; esta foi a data escolhida para a segunda simulação, que visou obter o hidrograma de cheia da bacia.

Isso porque para a elaboração adequada do hidrograma de projeto para uma determinada bacia é necessário que se obtenha como dado de entrada a precipitação que gerou o pico de volume escoado no local, relacionando o tempo decorrido e o volume precipitado (TUCCI,

1993). Dessa forma, rodou-se novamente o HEC-HMS, porém desta vez inserindo como dado de entrada de precipitação apenas a chuva que gerou o maior pico na bacia, ocorrida em 02/01/2020.

Nesta etapa, obteve-se como resultado o hidrograma de cheia da bacia e o hietograma efetivo, assim como os demais dados referentes a este evento de cheia (volume escoado, vazão de descarga etc.). Esses dados permitiram analisar o comportamento da bacia em um evento crítico de chuva.

Para o estudo, foi necessário estabelecer também um período de retorno (T_R) que forneça confiabilidade. O estudo desenvolvido por Oliveira et al. (2016), o qual possui similaridade de objetivos com o presente trabalho, utiliza um período T_R de 50 anos.

Assim, adotou-se inicialmente o período de retorno igual a 50 anos e, com os dados referentes à chuva que representou o evento de pico na bacia, e verificou-se a partir da equação IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1998) se este período atendia aos requisitos de projeto. Estes requisitos se basearam nos dados de cheia fornecidos pela segunda simulação no HEC-HMS.

Toda a simulação hidrológica foi baseada no método do Número da Curva (CN) desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS), assim como recomendam os autores Tucci (2012) e Canholi (2014), que ressaltam a efetividade do método especialmente para o cálculo da precipitação efetiva utilizada na construção do hietograma.

Os dados relativos à topografia da bacia e sua localização, trabalhados no *software* Quantum GIS (QGIS), também foram inseridos no HEC-HMS, como recomendado por Campos (2011) para obtenção de melhores resultados.

Com todos os dados obtidos com a simulação hidrológica no HEC-HMS compilados, a simulação hidrodinâmica foi realizada a partir do *software* HEC-RAS, de acordo com as seções e considerações pertinentes pré-determinadas. Os dados adicionais necessários para esta etapa foram fornecidos pela SUDECAP.

O coeficiente de rugosidade do canal, neste caso o coeficiente de Manning, foi determinado com base nos dados do BHMAP, que, com auxílio das ferramentas do *software* QGIS, possibilitaram a obtenção de informações referentes ao revestimento do canal e sua proporção de trechos de conduto aberto ou fechado.

A escolha do coeficiente a ser utilizado no projeto depende, segundo Porto (2006), do critério e bom senso do projetista, que deverá considerar o envelhecimento do revestimento do canal. Nesta etapa também foi necessário a determinação do coeficiente para a planície de

inundação do canal, visto que o objetivo do trabalho é verificar a área inundável.

Para isto, foi analisado com auxílio do SIG e do *software* Google Earth as condições da planície de inundação do canal no trecho crítico de inundações foco do estudo.

Com relação aos dados de seção do canal trabalhado, Brunner (2010) recomenda um intervalo de 100 metros entre seções com interpolações posteriores, caso seja necessário, e seções mais detalhadas em entradas e saídas de obras de arte. Como foi analisado apenas o trecho crítico do canal, para melhores resultados na modelagem hidráulica, foi considerado o intervalo de 10 metros no HEC-RAS.

Para trabalhar com os dados obtidos no SIG juntamente com os dados fornecidos pela SUDECAP, foi necessário inserir os dados referentes à planialtimetria local e as seções analisadas no *software* AutoCAD. Isso porque os dados de entrada do modelo HEC-RAS são pares de coordenadas de pontos onde o eixo (ponto onde X e Y são zero) é o centro do canal.

Os pontos de entrada do *software* HEC-RAS foram as extremidades das seções de acordo com as medidas disponibilizadas nos arquivos da SUDECAP e os pontos da planície de inundação do canal, sendo que para o estudo foi considerado que a planície de inundação corresponde às duas curvas de nível mais próximas do canal em suas margens direita e esquerda.

Os pontos correspondentes à planície de inundação considerada também foram extraídos considerando-se o eixo como sendo o centro do canal para a inserção das seções no HEC-RAS. Ou seja, a seção final inserida no modelo correspondeu aos pontos da seção retangular do canal mais a planície de inundação para que após a simulação hidrodinâmica com os dados do evento de cheia obtido no HEC-HMS pudessem ser visualizadas as seções onde houve extravasamento do canal e a água passou a ocupar a planície de inundação.

Os resultados da simulação hidrodinâmica foram as seções onde a linha d'água extravasou o limite da seção do canal, ou seja, onde houve a inundação. Os dados de cada seção onde houve a inundação foram transportados para o *software* Quantum GIS para a elaboração do mapa final contendo as áreas inundáveis do canal.

4.4. Compilação e Análise dos Resultados

No *software* Quantum GIS analisaram-se os resultados obtidos com relação às áreas afetadas por inundações e seu impacto no ambiente local. As observações realizadas acerca das faixas de inundação e a relação com o ambiente urbano existente foram analisadas e expostas através de mapas. Os resultados obtidos foram então avaliados e discutidos, sendo esta a última

etapa do trabalho.

Para que os dados possam ser avaliados da melhor forma, os locais afetados pelas áreas inundáveis foram analisados pela perspectiva socioambiental.

O mapeamento das áreas afetadas pelo fenômeno de inundação também permitiu um cruzamento entre as características destas e as características necessárias para implantação de um parque linear. Esse cruzamento tem por objetivo avaliar a eficiência do projeto no local a ser implantado.

Visando à eficácia da verificação de implementação de um parque linear na área de estudo, confrontou-se a taxa de eficiência do projeto com os resultados obtidos no trabalho, para que se verifique se a implementação de um parque linear é uma medida suficiente para atenuar os eventos de cheia do córrego urbano.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização da etapa de pesquisa, com elaboração do Referencial Teórico e estabelecimento da metodologia do trabalho, houve a confirmação da necessidade de medidas sustentáveis no âmbito da minimização dos impactos decorrentes da urbanização na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

Dentre estes impactos negativos do processo de urbanização sem planejamento, observou-se a necessidade de projetos que objetivem a atenuação das vazões que chegam nos córregos urbanos de Belo Horizonte para amenizar eventos de inundação com perdas socioambientais.

Nesse sentido, foi constatado que os parques lineares são uma alternativa viável, apresentando diversas vantagens e eficiência na atenuação dos volumes escoados superficialmente. O Projeto de Lei (PL) nº 119 de 2017, reprovado pela câmara municipal em março de 2020, previa a implantação de parques lineares na cidade como medida de drenagem urbana com viés sustentável, reforçando a necessidade do presente estudo.

Ainda que o PL tenha sido reprovado em segundo turno, o levantamento de dados e caracterização da região de estudo deste trabalho indicam que é de extrema necessidade a atuação do poder público no sentido de propostas estruturais de melhoria do sistema de drenagem urbana na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

A atuação da prefeitura nesse sentido se mostra necessária quando se analisa o histórico de inundações da bacia, sendo que, nos eventos de precipitações intensas, o Córrego Cachoeirinha inunda, causando perdas e danos socioambientais. Além disso, para atenuação das inundações do canal, já existe o Parque Linear da Avenida José Cândido da Silveira, implantado pela prefeitura desde 2006.

A Figura 4.8 reforça a necessidade de atuação na bacia, visto que a predominância em sua área é de taxa de permeabilidade de 20%, o que, de acordo com Tucci (2005), corresponde a um índice característico de regiões de urbanização intensa e não planejada, sem preservação da bacia em suas condições naturais e, dessa forma, com menor interceptação vegetal para amortecimento do escoamento superficial.

Essa baixa taxa de permeabilidade observada na bacia, associada aos eventos de inundações observados (com perdas socioambientais), reforçam a necessidade de atuação no sentido de que se aumente a infiltração em toda a área da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha para amortecer a vazão de pico do canal principal a partir do aumento do tempo de concentração, minimizando assim os impactos da urbanização não planejada do local.

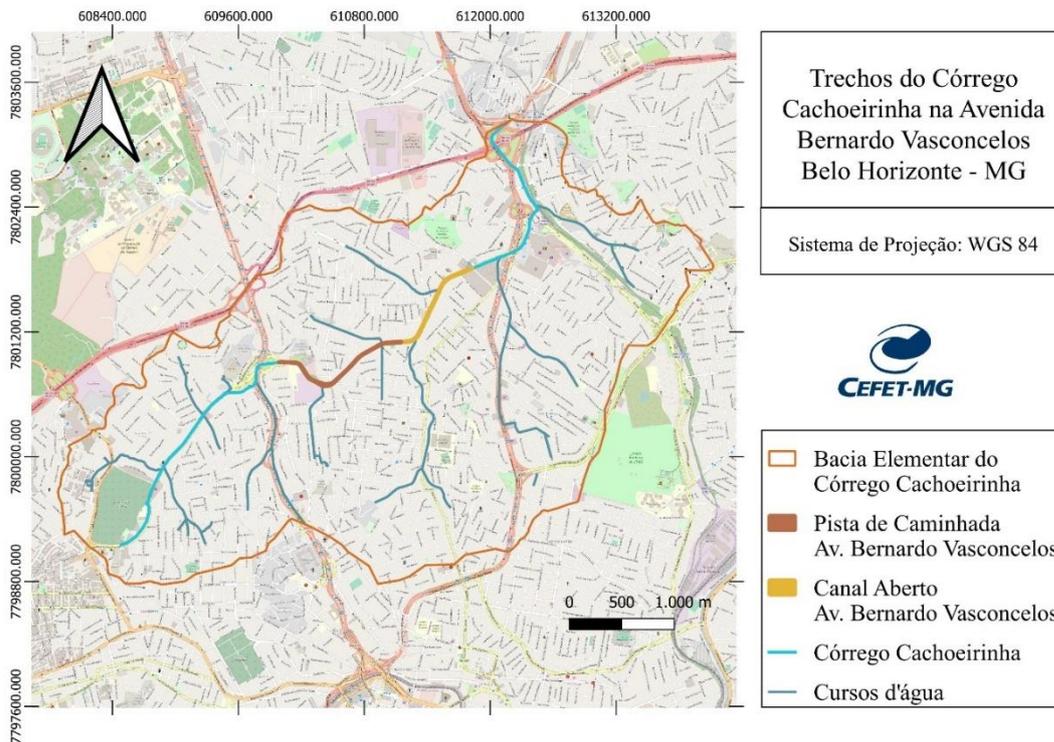
Na região onde o canal foco do presente estudo tem seu trecho crítico de inundação na Avenida Bernardo Vasconcelos, existe também o Parque Municipal Renato Azeredo Neto, localizado na Avenida José Cleto e pertencente à região de contribuição da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha. Este parque, administrado pela prefeitura, possui no total uma área de 92.700 m² e foi implantado em 1996.

Mesmo com a existência de dois parques na região de contribuição de escoamento superficial do Córrego Cachoeirinha no trecho crítico da Avenida Bernardo Vasconcelos, constata-se que ainda há necessidade de aumento do percentual de áreas infiltráveis no local, visto que, em eventos de precipitação intensa, ocorrem inundações com potencial de perdas socioambientais, como o evento retratado no vídeo da reportagem de 18/11/2020 da Rádio Itatiaia.

Na Avenida Bernardo Vasconcelos, por onde passa o Córrego Cachoeirinha, observa-se que este é fechado em um trecho, existindo pista de caminhada com áreas verdes, academias da cidade e outros locais de lazer e preservação ambiental, e aberto em outro trecho, o qual sofre com as inundações no período de cheia, que ocorre geralmente entre novembro a fevereiro.

Na Figura 5.1 estão indicados esses trechos dentro da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

Figura 5.1– Trechos do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

A pista de caminhada que existe atualmente ocupa uma área de 15.284,348 m², e o trecho correspondente ao canal aberto corresponde a uma área de 11.894,135 m².

Em visita realizada nestes trechos de análise no dia 06/12/2020 foi possível observar que a pista de caminhada existente na Avenida Bernardo Vasconcelos, assim como as estruturas de Academias da Cidade, projeto implementado pela prefeitura de Belo Horizonte, são efetivamente utilizadas pela população (Figura 5.2).

Figura 5.2 – Pista de Caminhada da Avenida Bernardo Vasconcelos, Belo Horizonte – MG.



Fonte: Acervo pessoal.

Na Figura 5.2 e conforme observado *in loco*, percebe-se que houve recente intervenção por parte da prefeitura no sentido de revitalizar esta área existente, que serve não apenas como área de lazer para a população, como também como área de infiltração dentro da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.

Essas áreas verdes já existentes na Avenida Bernardo Vasconcelos, pode, segundo Friedrich (2007), ser caracterizadas como parques urbanos, ou parques lineares, principalmente por sua contribuição no amortecimento das cheias do canal foco do presente estudo.

A pista de caminhada existente atualmente e que foi revitalizada pela prefeitura justamente para amenizar os efeitos da urbanização da bacia no que concerne às inundações do canal, segundo informado no site do órgão, contempla a Avenida Bernardo Vasconcelos desde seu cruzamento com a Avenida Antônio Carlos (Trincheira Celso Melo de Azevedo) até próximo a seu cruzamento com a Rua Gentil Teodoro.

Próximo ao cruzamento da Avenida Bernardo Vasconcelos com a Rua Gentil Teodoro até o final da mesma, próximo à Avenida Cristiano Machado, o Córrego Cachoeirinha é aberto, sendo este o trecho onde são registradas, nos eventos de precipitação intensa, as inundações no canal.

Dessa forma, uma intervenção a ser realizada por parte do poder público seria o

prolongamento da pista de caminhada já existente até o final da Avenida Bernardo Vasconcelos, visto que, dessa forma, não apenas a população teria um espaço maior para suas práticas esportivas e de lazer, como também a área infiltrável local seria aumentada, diminuindo a sobrecarga de vazão escoada superficialmente que chega ao Córrego Cachoeirinha.

Caso houvesse esta expansão, a pista de caminhada ocuparia no total uma área de 27.178,483 m², o que corresponderia a uma área de infiltração maior dentro da bacia.

Porém, se torna importante analisar que apenas esta medida não resolveria a questão das inundações no canal, embora ao se propor o seu fechamento e aumento de áreas verdes com a pista de caminhada se cria um parque linear, que conecta estruturas e preservação ambiental. Entretanto, apenas a implantação desta medida não é suficiente para aumentar o tempo de concentração suficientemente para que as cheias não sejam tão intensas ao longo do canal.

De acordo com Friedrich (2007), locais como pequenas praças, rotatórias e outras áreas públicas similares não podem ser considerados parques lineares, uma vez que sua área de infiltração não é suficiente para amortecer as cheias de canais urbanos.

Assim, prolongar a pista de caminhada atual seria uma medida interessante e viável, mas não suficiente para resolver o problema de inundações no Córrego Cachoeirinha. Seria necessário, nesse sentido, a criação de outras áreas de preservação para o aumento da permeabilidade na bacia.

Além disso, ressalta-se que apenas o prolongamento da pista de caminhada pode transferir o problema das inundações para os cursos d'água a jusante do canal foco do estudo, o que não é o propósito do trabalho.

Para que a taxa de permeabilidade da bacia seja suficiente para amortecer os volumes escoados é importante que se tenha áreas preservadas ambientalmente e que tenham infiltração de água pluvial suficientes, mas também que haja o incentivo do poder público para a implementação de técnicas compensatórias, que controlem o escoamento superficial na fonte e reduzam assim os impactos da ocupação na bacia sem o devido planejamento.

Sousa (2006) reforça que as áreas verdes urbanas, quando preservadas, possuem um importante papel na minimização de impactos como inundações, formação de ilhas de calor, má qualidade do ar, perda de biodiversidade e extinção de espécies. Porém, no âmbito das inundações, a área total que as áreas de preservação deveriam ocupar para atenuar os eventos deve ser grande, e nem sempre existe este espaço disponível no território das bacias.

Por isto a ideia dos parques lineares apresenta-se como uma boa proposta, pois este tipo de estrutura tem a capacidade de se adequar dentro do espaço urbano já consolidado. Os parques

lineares podem associar as medidas de controle da drenagem dentro de cada lote ocupado, regeneração de ambientes e áreas de lazer, sendo dessa forma uma ferramenta versátil (FRIEDRICH, 2007).

Ou seja, os parques lineares são o conjunto de medidas que, quando implementadas, aumentam a área total infiltrável dentro da bacia. Para isso, a concepção das medidas de intervenção deve levar em consideração a dinâmica já existente no território da bacia, para atenuar as cheias, mas também não alterar de forma muito significativa o que já existe e é aceito pela população.

Assim, prolongar a pista de caminhada é uma das propostas do trabalho, mas outras medidas de intervenção devem ser sugeridas na região para garantir a eficiência do projeto no que concerne ao amortecimento da vazão de pico atual do Córrego Cachoeirinha.

5.1 Modelagem Hidrológica

Na etapa de modelagem hidrológica do canal, foram realizadas as fases metodológicas descritas no item 4, obtendo-se ao final dados de entrada para a modelagem hidráulica do trecho do canal em estudo.

Inicialmente, estimou-se o valor referente ao CN da área de estudo, somando-se os valores de CN proporcionais da última coluna da Tabela 4.3, obtendo-se o valor final do Número da Curva do método do SCS. Portanto, o Número da Curva (CN) resultante para a Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha foi igual a:

$$CN = 4,46 + 37,67 + 5,88 + 2,05 + 25,76 + 6,44 + 3,62 + 3,06 = \mathbf{88,94} \quad Eq. (5.1)$$

O tempo de retardo da área foi obtido substituindo-se na Eq. II os dados relativos ao local de estudo (disponíveis na Tabela 3 e na Eq. III), chegando-se à seguinte equação:

$$t_{lag} = \frac{2,587 \times 7.790^{0,8} \times \left(\frac{1000}{88,94} - 9\right)^{0,7}}{1.900 \times 1,91^{0,5}} = \mathbf{2,25 h} \quad Eq. (5.2)$$

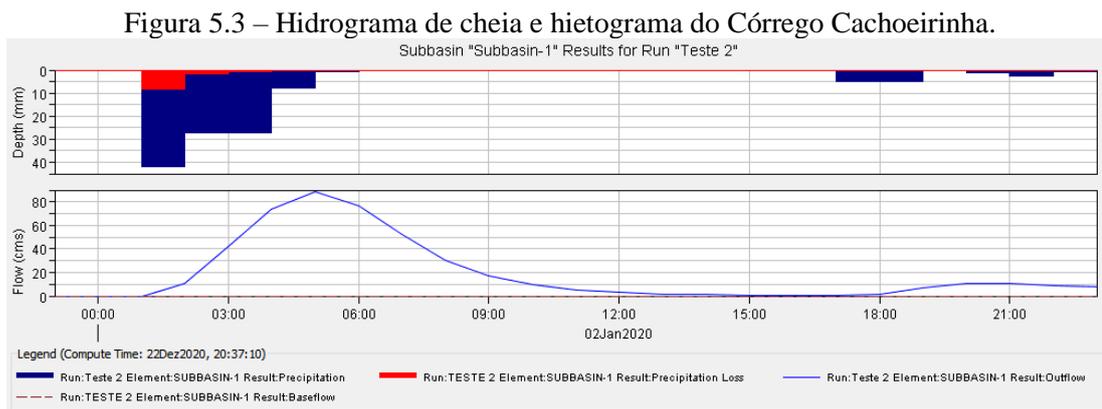
Os dados base do mapa da Figura 4.8 indicaram que a taxa de permeabilidade média na bacia é de 36,69%, ou seja, a impermeabilidade média corresponde à 61,31%, valor utilizado como dado de entrada do modelo HEC-HMS. Esses valores foram obtidos a partir de

ferramentas de cálculo hidrológico do *software* QGIS utilizando o mapa da Figura 4.8 e seus dados de entrada.

Em termos comparativos, o diagnóstico realizado pela prefeitura de Belo Horizonte para a atualização do Plano Diretor da cidade, previu que o coeficiente de impermeabilização para o ano de 2020 na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha seria de 78,45% (BELO HORIZONTE, 2009).

A etapa de modelagem hidrológica resultou na vazão de pico do canal de 111,5 m³/s, ocorrida, de acordo com a análise de toda a série histórica de dados pluviométricos, no dia 02/01/2020, às 04:50h.

Após a realização de nova modelagem contemplando apenas os dados das 23:00h do dia 01/01/2020 até as 23:00h do dia 02/01/2020, obteve-se o gráfico da Figura 5.3 com o hidrograma de cheia do canal e seu respectivo hietograma.

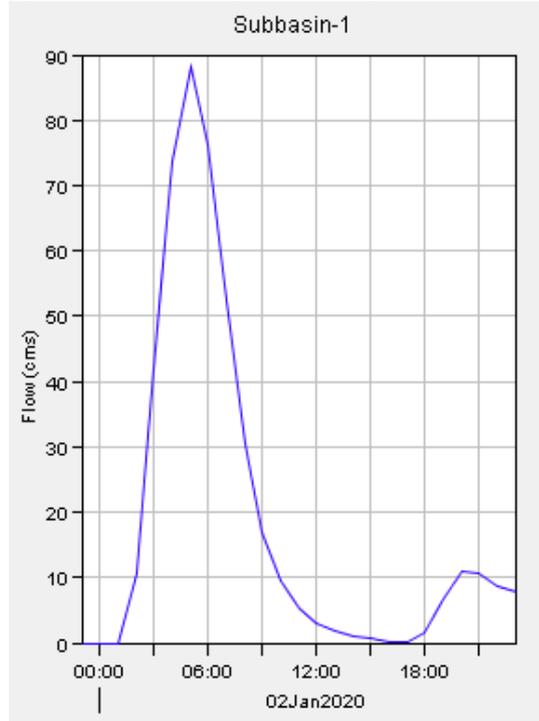


Fonte: Elaborado pela autora.

O hidrograma se apresenta como um hidrograma típico, apresentando pico único de vazão, e o comportamento do hietograma se mostrou condizente com os dados.

Esta etapa também apresentou como resultado o gráfico da Figura 5.4, que caracteriza a descarga no canal.

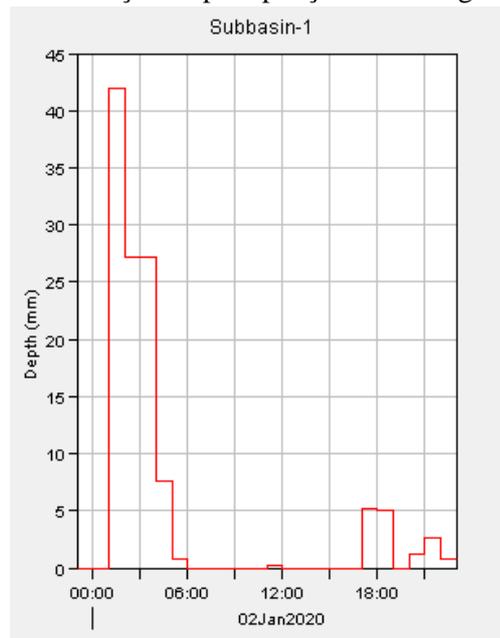
Figura 5.4 – Descarga do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já a distribuição da precipitação relacionada à vazão de pico do canal dentro da série histórica de dados analisados é exposta na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Distribuição da precipitação no Córrego Cachoeirinha.

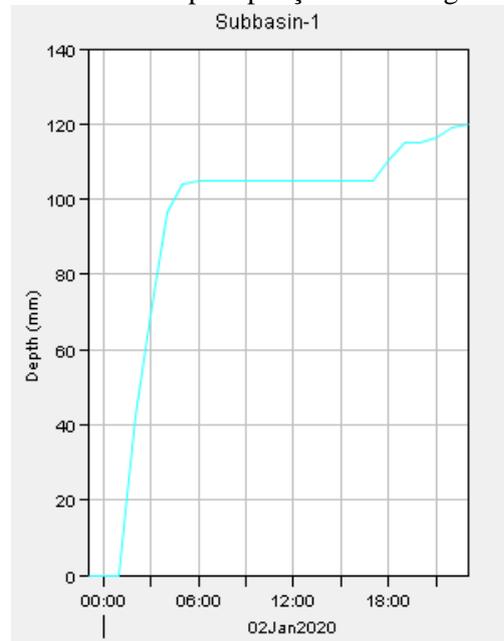


Fonte: Elaborado pela autora.

O acúmulo de precipitação do canal também foi um dos resultados obtidos no HEC-

HMS, conforme indica a Figura 5.6.

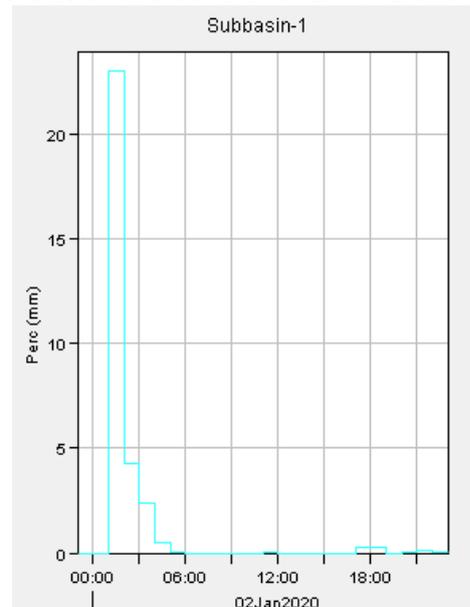
Figura 5.6 – Acúmulo de precipitação do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Como as entradas do modelo foram baseadas no método do Número da Curva e a permeabilidade da bacia foi analisada, os dados de infiltração do solo (Figura 5.7) no evento de cheia também foi um resultado do trabalho.

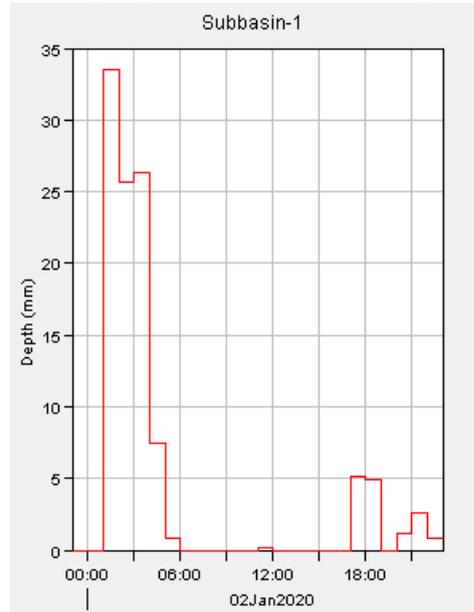
Figura 5.7 – Infiltração do solo no evento de cheia da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já o comportamento da precipitação excedente é apresentado na Figura 5.8.

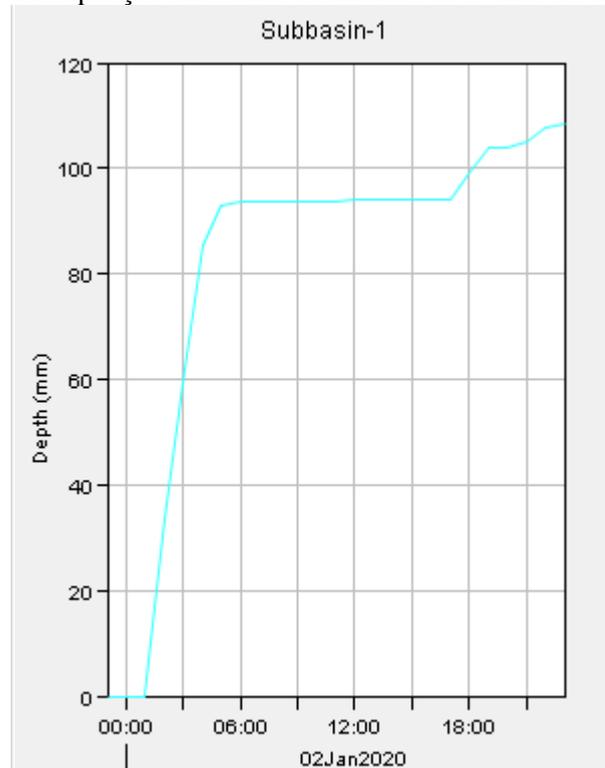
Figura 5.8 – Precipitação excedente do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento cumulativo da precipitação excedente é mostrado na Figura 5.9.

Figura 5.9 – Precipitação excedente acumulada do evento de cheia do canal.

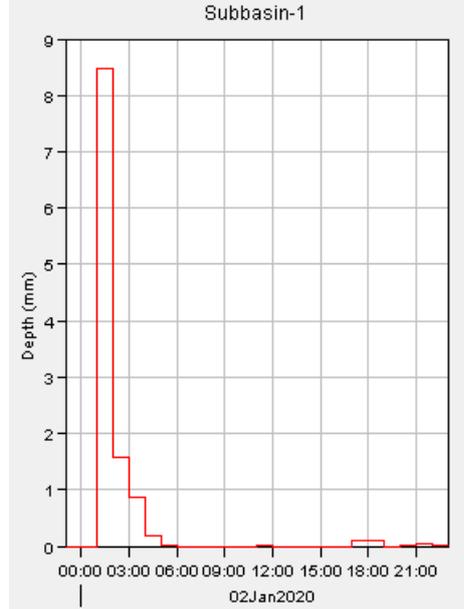


Fonte: Elaborado pela autora.

A perda de precipitação observada para o evento que resultou na vazão de pico é

observada na Figura 5.10.

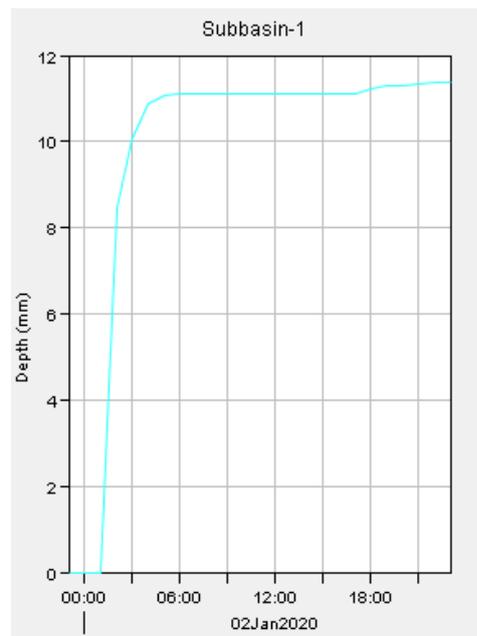
Figura 5.10 – Perda de precipitação do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já a perda de precipitação acumulada é apresentada na Figura 5.11.

Figura 5.11 – Perda de precipitação acumulada.

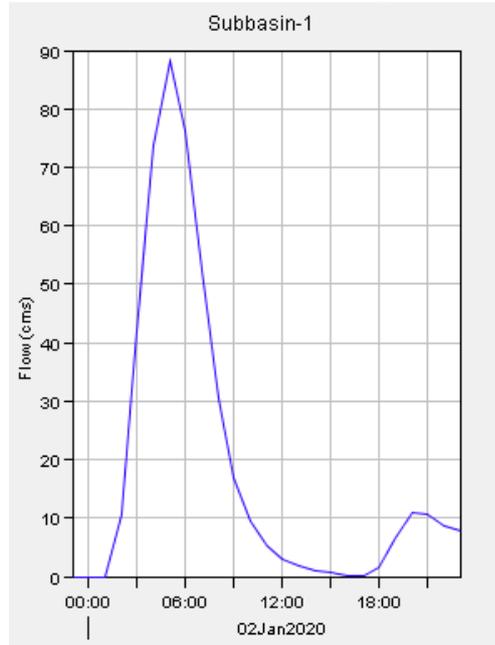


Fonte: Elaborado pela autora.

Como foi analisado o evento de cheia crítica, também se obteve como resultado o

gráfico referente ao runoff para o Córrego Cachoeirinha, conforme Figura 5.12.

Figura 5.12 – Runoff direto do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.4 a 5.12 permitiram a caracterização da bacia hidrográfica no que diz respeito a sua resposta às precipitações. Os dados apresentados indicam, como reforçam autores como Tucci (1997) e Canholi (2014) que a bacia é urbanizada e que o volume escoado permanece por pouco tempo no local de geração do escoamento, comportamento típico de instalações de drenagem urbana de cunho higienista.

5.2 Modelagem Hidráulica

Um dos parâmetros fundamentais na modelagem hidráulica de um canal, é o coeficiente de rugosidade do canal. O Córrego Cachoeirinha se trata de um conduto livre revestido, sem nenhum trecho com leito natural e completamente fechado. De acordo com Lenhs (2012), para canais revestidos, o coeficiente de rugosidade de Manning varia entre 0,012 e 0,018.

O material de revestimento do canal, segundo dados disponibilizados pela SUDECAP, é concreto. De acordo com Porto (2006), levando em consideração os critérios de projeto que priorizam valores mais restritivos para segurança e que levem em consideração o envelhecimento do canal, considerou-se o coeficiente de rugosidade n como sendo 0,017.

Isso porque, como pode ser observado na Figura 5.13, obtida a partir de visita *in loco* à

área de estudo, o Córrego Cachoeirinha é revestido (parede e fundo) de concreto, com cimento rugoso e não regular, sendo observada a presença de lodo nas paredes e possibilidade de depósitos no fundo.

Figura 5.13 – Córrego Cachoeirinha, trecho entre Rua Coronel Jairo Pereira e Avenida José Cleto, bairro Palmares.



Fonte: Acervo pessoal.

Para a realização da etapa de modelagem hidráulica, foi necessário determinar o coeficiente de rugosidade da planície de inundação das seções analisadas, visto que para a utilização do HEC-RAS a seção de entrada do modelo deve ser a seção do canal e sua planície onde ocupada pelo escoamento nos eventos de inundação.

O coeficiente de Manning adotado para a planície de inundação do canal foi de 0,07, considerando o exposto por Arcement e Schneider (1989) para condição de grau de irregularidade moderado, conforme observado no mapeamento da área realizado no QGIS.

A visita ao local, realizada no dia 06/12/2020, período considerado de cheia para a região, de acordo com o histórico de precipitação observado na Figura 4.9, possibilitou a percepção da dinâmica no canal, sendo que próximo à data havia ocorrido um evento de inundação com perda de bens materiais, como observado na reportagem da Rádio Itatiaia tratada no item 4.2 do presente estudo.

Observou-se *in loco* o escoamento no canal, sendo que no dia da visita e no dia anterior não foram registrados eventos de precipitação na região, mas, foi possível a percepção de escoamento levemente turbulento.

Conforme tratado no item 4.2, os dados das seções de análise foram inseridos no *software* de SIG, o que possibilitou a obtenção dos dados de elevação em cada uma das seções analisadas, conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Elevação das seções analisadas.

| SEÇÃO | ELEVAÇÃO (M) |
|----------------|---------------------|
| INÍCIO CÓRREGO | 842.13 |
| PV1 | 834.67 |
| PV2 | 842.40 |
| PV3 | 831.36 |
| PV4 | 829.78 |
| PV5 | 828.51 |
| PV6 | 827.24 |
| PV7 | 826.34 |
| PV8 | 823.33 |
| PV9 | 821.89 |
| PV10 | 818.81 |
| PV11 | 818.41 |
| PV12 | 818.45 |
| PV13 | 818.23 |
| PV14 | 818.14 |
| PV15 | 817.84 |
| PV16 | 817.72 |
| PV17 | 813.00 |
| PV18 | 815.38 |
| PV19 | 817.00 |
| PV20 | 817.71 |
| PV21 | 821.33 |
| G22 | 807.27 |
| G23 | 810.29 |
| G24 | 808.24 |
| G25 | 808.16 |
| G26 | 816.32 |
| G27 | 822.11 |
| G28 | 815.74 |
| G29 | 801.12 |
| G30 | 796.94 |
| G31 | 797.35 |
| G32 | 795.53 |

| SEÇÃO | ELEVAÇÃO (M) |
|-------------|--------------|
| G33 | 798.07 |
| G34 | 798.86 |
| G35 | 799.19 |
| G36 | 796.60 |
| G37 | 794.71 |
| G38 | 793.36 |
| G39 | 793.00 |
| A | 791.79 |
| B | 790.93 |
| C | 788.64 |
| D | 788.22 |
| E | 792.14 |
| F | 776.06 |
| FIM CÓRREGO | 779.42 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o estudo foi analisado o trecho desde a seção A até a seção E, ou seja, o Córrego Cachoeirinha na Avenida Bernardo Vasconcelos próximo a seu cruzamento com a Rua Gentil Teodoro até próximo ao cruzamento com a Rua Décio Salema, próximo também à Avenida Cristiano Machado.

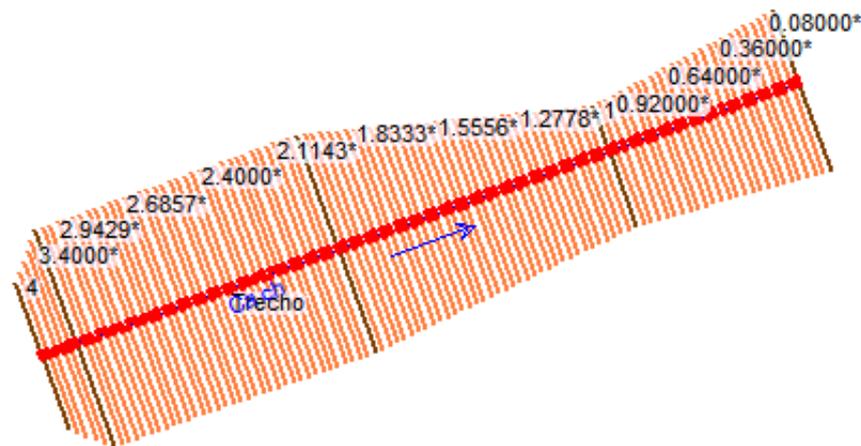
Essa escolha foi realizada pois o trecho em questão é o trecho indicado como foco das inundações, de acordo com a Carta de Inundação do canal.

Para a modelagem hidráulica realizada no *software* HEC-RAS os dados da seção a montante da seção A (seção G39) e da seção a jusante da seção E (seção F) também foram inseridos como condições de contorno. Isso porque o regime de escoamento que mostrou os melhores resultados foi o *mixed*, que combina o regime de escoamento subcrítico com o supercrítico.

Para a determinação das condições de contorno do trecho analisado foram inseridas no modelo as declividades de fundo a montante e a jusante do trecho analisado.

A geometria do canal após a inserção das seções no HEC-RAS e a interpolação considerando o intervalo de 10 metros entre cada seção modelada é apresentado na Figura 5.14:

Figura 5.14 – Geometria do canal no HEC-RAS, com seções interpoladas com intervalo de aproximadamente 10 metros.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a simulação hidrodinâmica no HEC-RAS, como já abordado, as seções trabalhadas foram inseridas de montante para jusante, resultando na seguinte numeração dentro do programa:

Tabela 5.2 – Numeração das seções inseridas no HEC-RAS.

| SEÇÃO | NUMERAÇÃO |
|-------|-----------|
| A | 4 |
| B | 3 |
| C | 2 |
| D | 1 |
| E | 0 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Após o *software* realizar as interpolações considerando um intervalo de aproximadamente 10 metros, como observado na Figura 5.14, a geometria do canal resultante contemplou as seções indicadas na Tabela 5.3 com as seguintes distâncias para a seção a jusante (sendo que a seção a jusante de 4 é a seção G39).

Tabela 5.3 – Seções do HEC-RAS após interpolação.

| SEÇÃO | DISTÂNCIA PARA SEÇÃO A JUSANTE (m) |
|-------|------------------------------------|
| 4 | 9,108 |
| 3,8 | 9,108 |
| 3,6 | 9,108 |
| 3,4 | 9,108 |

| SEÇÃO | DISTÂNCIA PARA SEÇÃO A JUSANTE (m) |
|--------------|---|
| 3,2 | 9,108 |
| 3 | 9,782 |
| 2,9714 | 9,782 |
| 2,9429 | 9,782 |
| 2,9143 | 9,782 |
| 2,8857 | 9,782 |
| 2,8571 | 9,782 |
| 2,8286 | 9,782 |
| 2,8 | 9,782 |
| 2,7714 | 9,782 |
| 2,7429 | 9,782 |
| 2,7143 | 9,782 |
| 2,6857 | 9,782 |
| 2,6571 | 9,782 |
| 2,6286 | 9,782 |
| 2,6 | 9,782 |
| 2,5714 | 9,782 |
| 2,5429 | 9,782 |
| 2,5143 | 9,782 |
| 2,4857 | 9,782 |
| 2,4571 | 9,782 |
| 2,4286 | 9,782 |
| 2,4 | 9,782 |
| 2,3714 | 9,782 |
| 2,3429 | 9,782 |
| 2,3143 | 9,782 |
| 2,2857 | 9,782 |
| 2,2571 | 9,782 |
| 2,2286 | 9,782 |
| 2,2 | 9,782 |
| 2,1714 | 9,782 |
| 2,1429 | 9,782 |
| 2,1143 | 9,782 |
| 2,0857 | 9,782 |
| 2,0571 | 9,782 |
| 2,0286 | 9,782 |
| 2 | 9,864 |
| 1,9722 | 9,864 |
| 1,9444 | 9,864 |
| 1,9167 | 9,864 |
| 1,8889 | 9,864 |
| 1,8611 | 9,864 |
| 1,8333 | 9,864 |

| SEÇÃO | DISTÂNCIA PARA SEÇÃO A JUSANTE (m) |
|--------------|---|
| 1,8056 | 9,864 |
| 1,7778 | 9,864 |
| 1,7500 | 9,864 |
| 1,7222 | 9,864 |
| 1,6944 | 9,864 |
| 1,6667 | 9,864 |
| 1,6389 | 9,864 |
| 1,6111 | 9,864 |
| 1,5833 | 9,864 |
| 1,5556 | 9,864 |
| 1,5278 | 9,864 |
| 1,5 | 9,864 |
| 1,4722 | 9,864 |
| 1,4444 | 9,864 |
| 1,4167 | 9,864 |
| 1,3889 | 9,864 |
| 1,3611 | 9,864 |
| 1,3333 | 9,864 |
| 1,3056 | 9,864 |
| 1,2778 | 9,864 |
| 1,2500 | 9,864 |
| 1,2222 | 9,864 |
| 1,1944 | 9,864 |
| 1,1667 | 9,864 |
| 1,1389 | 9,864 |
| 1,1111 | 9,864 |
| 1,0833 | 9,864 |
| 1,0556 | 9,864 |
| 1,0278 | 9,864 |
| 1 | 9,974 |
| 0,96 | 9,974 |
| 0,92 | 9,974 |
| 0,88 | 9,974 |
| 0,84 | 9,974 |
| 0,8 | 9,974 |
| 0,76 | 9,974 |
| 0,72 | 9,974 |
| 0,68 | 9,974 |
| 0,64 | 9,974 |
| 0,6 | 9,974 |
| 0,56 | 9,974 |
| 0,52 | 9,974 |
| 0,48 | 9,974 |

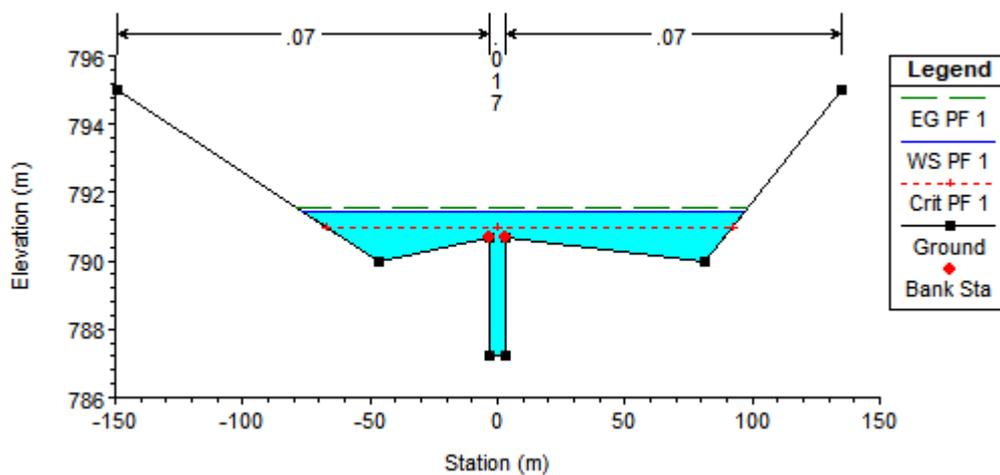
| SEÇÃO | DISTÂNCIA PARA SEÇÃO A JUSANTE (m) |
|-------|------------------------------------|
| 0,44 | 9,974 |
| 0,4 | 9,974 |
| 0,36 | 9,974 |
| 0,32 | 9,974 |
| 0,28 | 9,974 |
| 0,24 | 9,974 |
| 0,2 | 9,974 |
| 0,16 | 9,974 |
| 0,12 | 9,974 |
| 0,08 | 9,974 |
| 0,04 | 9,974 |
| 0 | - |

Fonte: Elaborado pela autora.

Como resultado da modelagem hidráulica, foram obtidas as seções de inundação do trecho analisado para a vazão de pico de 111,5 m³/s. O *software* permitiu a visualização da inundação em cada seção como no caso da seção C indicada na Figura 5.15.

Figura 5.15 – Exemplo de seção inundável do canal.

Cach Plan: CACH1 26/12/2020



Fonte: Elaborado pela autora.

A visualização da ocorrência de inundação permite observar no modelo o que já é observado na prática, as inundações urbanas no trecho avaliado no estudo.

No Apêndice A são observadas todas as seções resultantes após a realização da simulação hidrodinâmica do canal para a vazão de pico encontrada na etapa de modelagem hidrológica com auxílio do *software* HEC-HMS.

As seções que se mostraram susceptíveis à inundação na simulação hidrodinâmica com a vazão de pico do canal e as respectivas cotas da linha d'água para o evento de cheia estão indicadas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Seções inundáveis do canal.

| SEÇÃO | COTA DA LINHA D'ÁGUA (m) | ALTURA DA LINHA D'ÁGUA (m) |
|--------|--------------------------|----------------------------|
| 3,0000 | 791,45 | 0,75 |
| 2,9714 | 791,46 | 0,93 |
| 2,9429 | 791,46 | 1,09 |
| 2,9143 | 791,47 | 1,27 |
| 2,8857 | 790,12 | 0,08 |
| 2,8000 | 790,21 | 0,67 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 5.16 observa-se a mancha de inundação do canal elaborada a partir dos dados obtidos das seções susceptíveis à inundação:

Figura 5.16 – Mancha de inundação do Córrego Cachoeirinha.



Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se na Figura 5.16 que o trecho do canal que se mostrou crítico e susceptível às inundações está localizado na Avenida Bernardo Vasconcelos em seu cruzamento com as ruas Gentil Teodoro do lado esquerdo da mesma e do lado direito em seu cruzamento com as ruas Gentil Teodoro, Renascença e Ingá.

Nas reportagens analisadas referentes às inundações da Avenida Bernardo Vasconcelos, constatou-se que esse trecho de fato se trata de uma zona crítica onde ocorrem inundações durante e após as precipitações intensas, de acordo com a classificação realizada a partir da curva IDF da bacia.

Este trecho também se trata do trecho indicado na carta de inundação (Figura 4.1) como sendo a área da bacia crítica no que concerne às inundações, o que reforça a confiabilidade do modelo, conforme também reforça o trabalho de Oliveira et al. (2016).

Quando a mancha de inundação é confrontada com a mancha da carta de inundação, observa-se que o resultado encontrado abrange apenas um trecho do que está indicado na carta, o que está relacionado à diferença de métodos utilizados.

A mancha de inundação do canal, como observado, está em uma área bastante urbanizada, o que torna necessária a ação visando a atenuação destes eventos. Nesse sentido, o parque linear vem como uma boa alternativa, pois, de acordo com Friedrich (2007), esses parques mostram bons resultados para o aumento do tempo de concentração da bacia.

Contudo, o parque linear pode não ser suficiente para que não haja mais inundações no canal, visto que já existe inclusive um parque linear na bacia. Isso porque, como corrobora o estudo de Fernandes e Caldeira (2016), para que as áreas verdes sejam eficientes no sentido de infiltrar as águas precipitadas, é necessária a presença desse tipo de área em grande extensão ou em todos os lotes da região afetada.

A implementação do parque linear na bacia auxiliaria na diminuição da mancha de inundação apresentada, e poderia ser associada a outras medidas, sendo que além do benefício de atenuação das cheias o parque linear agregaria outros benefícios ambientais.

O comportamento da altura de extravasamento do canal durante o evento de cheia mostra um comportamento preocupante, sendo que a linha d'água chega a atingir 1,27 metros de altura. Essa altura de inundação é crítica, podendo causar perdas, assim como observado quando na região as inundações causam arrastes de carros.

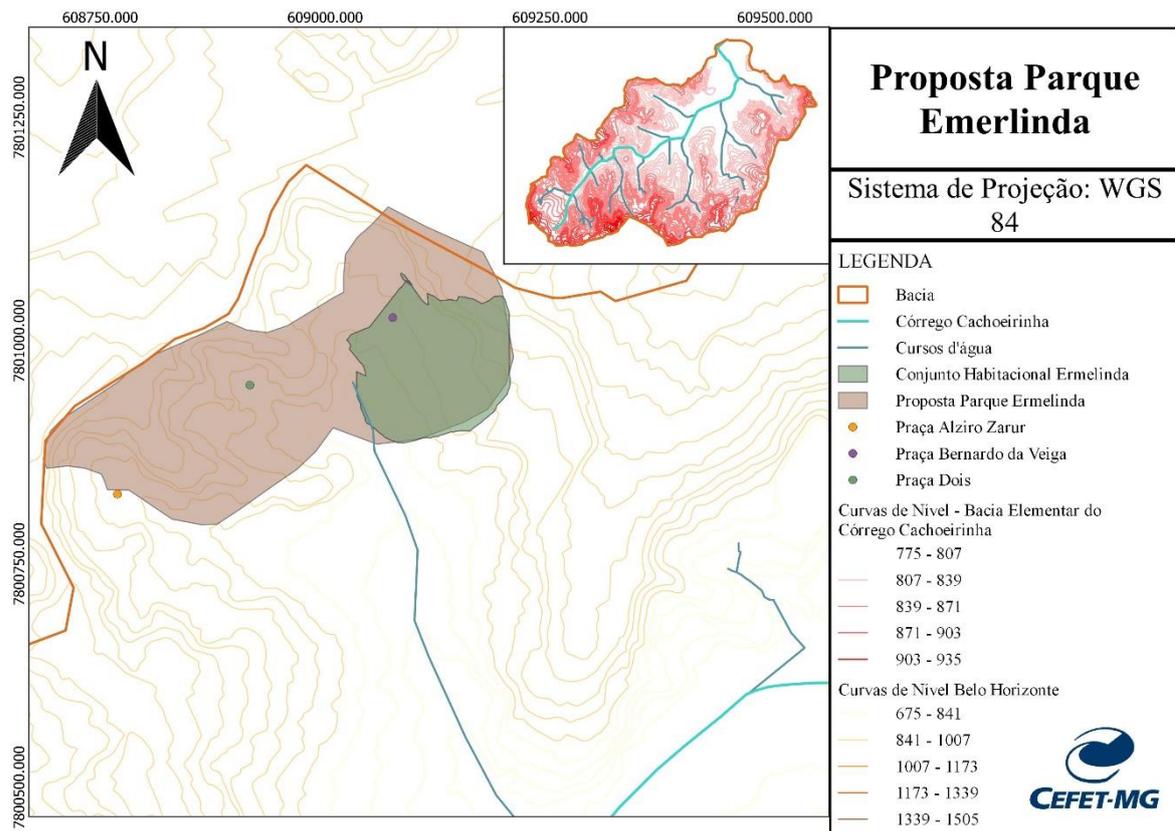
De acordo com Tucci (2017), essa altura de linha d'água para eventos de inundações é crítica, requerendo intervenções por parte do poder público no sentido de minimizar os possíveis impactos socioambientais, uma vez que o transbordamento com alturas significativas

de extravasamento são um risco.

5.3 Outras propostas de criação de áreas verdes na bacia em estudo

Com relação às propostas tratadas no item 4.1 para áreas presentes na bacia com potencial para implementação de parque linear urbano no sentido de aumento da área infiltrável dentro da área de contribuição de vazão para o Córrego Cachoeirinha, na Figura 5.4 é mostrada a proposta para o caso da criação de um parque no bairro Ermelinda que integrasse as praças Alziro Zarur, Bernardo da Veiga e Dois.

Figura 5.17 – Proposta de parque para o bairro Ermelinda, Belo Horizonte.



Fonte: Elaborado pela autora.

Neste caso, o parque proposto abrangeria as praças que já existem na região e o conjunto habitacional, sendo que como citado os moradores do conjunto não apenas poderiam usufruir dos benefícios da área verde urbana como também integrar o parque a partir de técnicas compensatórias da drenagem urbana.

A área do parque proposto contaria de uma área de aproximadamente 89.968 m², e para esta proposta foi levado em consideração a menor taxa de desapropriações possível para implementação do parque. Isso porque qualquer projeto de infraestrutura deve levar o fator social em consideração, porém, caso o parque fosse realmente implementado o valor ambiental deste agregaria uma valorização do ambiente no geral.

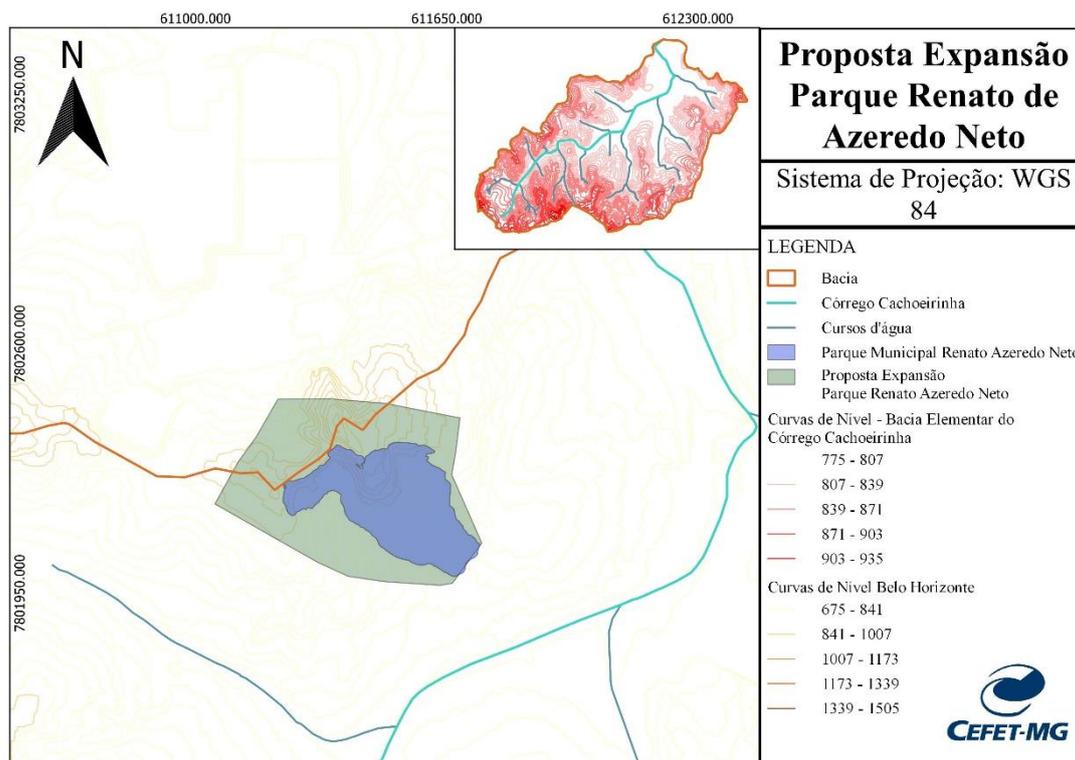
De acordo com Tucci (1997), muitas vezes a adequação dos ambientes existentes para comportar os efeitos da urbanização nem sempre são totalmente aprovados pela população, por isso há a necessidade de comunicação dos órgãos competentes e o envolvimento da comunidade em todos os projetos.

Quando a população percebe que os benefícios ambientais das áreas de preservação são significativos, há chances de maior aceitação e, após a efetivação dos projetos, a população local vê em prática os benefícios ambientais das áreas de preservação dentro do ambiente urbano.

A proposta do parque no bairro Ermelinda também levou em consideração englobar a menor área de vias possível, além de ser verificada a planialtimetria para a implementação de ciclovia no parque. Segundo Friedrich (2007) a relação da população com o meio natural a partir dos parques urbanos tem mostrado bons resultados, sendo que os benefícios da adoção deste tipo de medida têm se mostrado superior à outras técnicas estruturais, principalmente devido à sua versatilidade e possibilidade de adequação do ambiente já consolidado.

Já a proposta de expansão do Parque Municipal Renato Azeredo Neto é apresentada na Figura 5.5.

Figura 5.18 – Proposta de expansão do Parque Municipal Renato Azeredo Neto.



Fonte: Elaborado pela autora.

A proposta de expansão do parque levou em consideração a abrangência de áreas identificadas *in loco* que poderiam se tornar parte do mesmo, como um ponto de encontro religioso e uma subestação da concessionária de energia CEMIG. Ainda considerou-se abranger a menor quantidade de residências possível, com o intuito de menos desapropriações quanto possível.

A proposta da Figura acima faria com que o parque passasse a ocupar uma área de 241.272 m², ou seja, cerca de 160% a mais de área verde dentro da bacia.

A restauração de áreas de preservação associadas à expansão do que já existe é uma ferramenta importante quando se trata de projetos de parques lineares, uma vez que quando já existe um parque os projetos tendem a ser mais aceitos pela população, já que esta sabe dos benefícios desse tipo de estrutura (FRIEDRICH, 2007).

Os parques lineares têm o potencial de conectar as estruturas de drenagem com os ecossistemas, e dessa forma associar medidas estruturais de intervenção para aumento da área infiltrável com restauração e manutenção da biodiversidade.

A ideia principal dos parques é a obter um ambiente com características anteriores ao processo de urbanização, ou seja, eles vêm com o propósito de regenerar um local não

preservado (ou preservado em partes) para o mais próximo ao que era antes da atuação antrópica (OLIVEIRA, 2015).

A expansão do Parque Renato Azeredo Neto é viável visto que, além de poucas desapropriações, a ideia é manter os locais de uso atual da população para recreação, práticas esportivas, religiosidade entre outros, o que garante a aceitação no caso efetivação da proposta.

Além disso, na região de entorno do parque, localizado no bairro Palmares, observa-se quando analisada a cotação imobiliária, que em muitos casos há a desvalorização dos imóveis justamente por conta das recorrentes inundações do Córrego Cachoerinha na Avenida Bernardo Vasconcelos. Segundo o site InfoMoney em reportagem de Camila Mendonça (2011), os eventos de enchentes tendem a desvalorizar os imóveis da região em até 30%.

Dessa forma, caso houvesse além da revitalização da área ocupada atualmente pelo Parque Renato Azeredo Neto, sua expansão, o valor ambiental da nova área de preservação poderia superar o valor econômico em caso de necessidade de desapropriações.

Isso porque o novo parque amorteceria as vazões precipitadas e assim diminuiria a probabilidade de inundações na região, o que por si só já valorizaria a região. Mas além disso, a nova área verde conferiria à região um maior conforto térmico, acústico e visual, cujos efeitos seriam sentidos e valorizados pelos moradores locais.

Como observado em visita no dia 06/12/2020, os moradores locais tem o costume de levar crianças para o lazer no parque, existindo inclusive algumas estruturas de promoção de Educação Ambiental no local, como observado na Figura 5.19.

Figura 5.19 – Educação ambiental no Parque Renato Azeredo Neto.



Fonte: Acervo pessoal.

Dessa forma, percebe-se o incentivo para que a população se conecte com o meio ambiente local, visto que no meio urbano é cada vez mais escassa a presença de áreas verdes, e, segundo Sousa (2006), o contato da população com áreas de preservação ambiental possui um valor social agregado que tende a ultrapassar o valor do terreno caso a propriedade tivesse um outro uso.

Na visita realizada no parque observou-se que, além da expansão, existe a necessidade de revitalização da área já existente. Como abordado no item 4.2, existem alguns pontos do parque onde há a necessidade do plantio de espécies arbóreas nativas e, após este plantio se iniciaria o processo de restauração ambiental do local, visto que, segundo Friedrich (2007), com o plantio de árvores nativas a fauna originária o local tende a retornar, restaurando assim toda a biodiversidade do ecossistema anterior ao processo de urbanização.

No que se trata de fauna, foram observados na visita ao parque alguns espécimes de pássaros, e o contato direto da população com estes, o que mostra é um ponto positivo tanto do ponto de vista social quanto ambiental. Observou-se também no local a presença de algumas estruturas de drenagem pluvial, conforme Figura 5.20.

Figura 5.20 – Estrutura de drenagem pluvial do Parque Renato Azeredo Neto.



Fonte: Acervo pessoal.

Esta estrutura presente, como observado, é de cimento, e conduz a água escoada diretamente para a rede hídrica, ou seja, segue o modelo higienista de drenagem. Uma ideia nesse sentido seria, no âmbito da revitalização do parque, fazer com que todas as estruturas de drenagem sejam permeáveis, para que assim o local não seja apenas uma área verde de preservação, mas também contribua para a drenagem urbana sustentável, controlando o escoamento na fonte de sua geração para não sobrecarregar os canais urbanos com vazões de pico muito altas.

No local também foi observado o que parecia ser um curso d'água, porém devido à falta de preservação não havia água no local. Este ponto é observado na Figura 5.21.

Figura 5.21 – Curso d'água no Parque Renato Azeredo Neto.



Fonte: Acervo pessoal.

A não preservação de nascentes vai contra no Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), visto que esta legislação dispõe que as nascentes são Áreas de Proteção Permanente (APPs), as quais têm função ambiental importante no sentido de preservar recursos hídricos, paisagísticos, estabilidade geológica, biodiversidade de fauna e flora e preservação do solo.

Dessa forma, a revitalização do parque deve levar em consideração a manutenção de rede hídrica local, visto que é de suma importância que o parque exerça sua função socioambiental preservando o ecossistema ao máximo. Nesse sentido, se faz importante também a questão da Educação Ambiental.

Isso porque durante todas as etapas do projeto é necessário o envolvimento da população, tanto visando a aceitação da intervenção urbanística quanto para conscientização sobre a importância da área preservada e os benefícios que são adquiridos com tal preservação.

Ao realizar este trabalho, as prefeituras garantem que os usuários do parque farão o melhor uso deste e associarão suas práticas de lazer com a preservação para seu próprio benefício. Nesse sentido é importante ressaltar que o papel da população na preservação é essencial, ou seja, não basta apenas se criar ou revitalizar áreas verdes, a manutenção tanto por parte do poder público quanto por parte dos usuários se torna essencial para a manutenção do

local.

E esta manutenção é o que, segundo Buccheri (2006), garante que as áreas verdes urbanas desenvolvam o papel de proteção ambiental e minimização dos efeitos gerados pelas ocupações dos centros urbanos sem um planejamento que levasse em conta a sustentabilidade e os possíveis impactos relacionados à intervenção antrópica no meio ambiente em sua forma natural.

No caso de revitalização da Trincheira Celso Mello de Azevedo, a prefeitura poderia responsabilizar a empresa Localiza pela manutenção da nova área de preservação, como forma de compensação visto que a empresa ocupa uma área dentro da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha que poderia ser utilizada como ferramenta de gestão hídrica para atenuação dos impactos gerados pela urbanização no local.

A compensação ambiental está prevista na Lei nº 13.668/2018 e se trata de uma ferramenta útil para o poder público no sentido de responsabilizar utilizadores dos recursos naturais e empreendimentos que realizem intervenções no meio.

Atualmente, como observado no Quadro 8, as áreas verdes totais da bacia (espaço aberto) correspondem a 2,98% da área total da bacia, sendo no total 470.000 m². Caso houvesse a implementação do parque no bairro Ermelinda, haveria um total de 89.968 m² a mais de área verde preservada.

Já com a expansão do Parque Renato Azeredo Neto, considerando-se que o parque existente, ainda que necessite de medidas de revitalização já seja uma área verde, haveria uma área de 148.572 m² a mais para infiltração das águas pluviais.

Ainda, a extensão da pista de caminhada até a Avenida Cristiano Machado, onde atualmente o Córrego Cachoeirinha é aberto, acresceria uma área de 11.894,35 m² para permeabilidade dentro da bacia de estudo.

A Trincheira Celso Mello de Azevedo já consiste em uma área de espaço aberto dentro da bacia, portanto sua revitalização não acrescentaria percentual de área infiltrável dentro da bacia. Contudo, a revitalização desta área seria essencial para o aumento da permeabilidade e consequente atenuação das cheias no canal, visto que o espaço ocupa uma área de 32.598 m² (o que corresponde a cerca de 0,21% da área total da bacia e 6,94% do total de espaço aberto existente).

De acordo com Friedrich (2007), as ferramentas de revitalização de áreas disponíveis para aumentar a infiltração das bacias são importantes ferramentas do planejamento urbano no sentido de minimização dos efeitos da urbanização desornada. Canholi (2014) também reforça

que a adoção deste tipo de medida é essencial dentro da drenagem urbana sustentável.

Dessa forma, a adoção das medidas supracitadas acrescentaria à bacia um total de 250.434,35 m², fazendo com que a nova área total de espaços abertos fosse de 720.434,35 m², o que corresponderia a aproximadamente 4,56% da área total da bacia.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda um mínimo de 12 m² de área verde por habitante e, mesmo com as medidas propostas no presente trabalho a Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha contaria com aproximadamente 2,41 m² de área verde por habitante. Esses dados reforçam a necessidade de manejo do uso e ocupação do solo em toda a bacia a partir de subsídio da prefeitura para aumento da taxa de infiltração em todos os lotes do local.

Na Figura 5.22 observa-se a imagem de satélite da proposição para a expansão do Parque Municipal Renato Azeredo Neto.

Figura 5.22 – Imagem de satélite da expansão proposta para o parque já existente.



Fonte: Elaborado pela autora.

No canto inferior direito da figura acima observa-se a Avenida Cristiano Machado, para fins de localização. Para esta proposta de expansão foi avaliado o uso e ocupação do solo das áreas a serem desalojadas pelo novo parque, exceto aquelas que já correspondem à áreas verdes

e não alterariam o valor referente ao Número da Curva da bacia ou à taxa de permeabilidade.

A avaliação resultante da análise das imagens de satélite e também da visita realizada *in loco* resultaram nos dados da Figura 5.23.

Figura 5.23 – Uso e ocupação do solo na área do parque proposto.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 5.5 são apresentados os dados referentes ao uso e ocupação do solo da Figura 5.23.

Tabela 5.5 – Dados de uso e ocupação do solo do parque proposto.

| COR | USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (QUADRO 4) | ÁREA (m ²) |
|---------|-----------------------------------|------------------------|
| Laranja | Lote Vago | 3.275 |
| Roxo | Misto | 13.797 |
| Marrom | Industrial | 7.106 |
| Verde | Residencial | 29.547 |

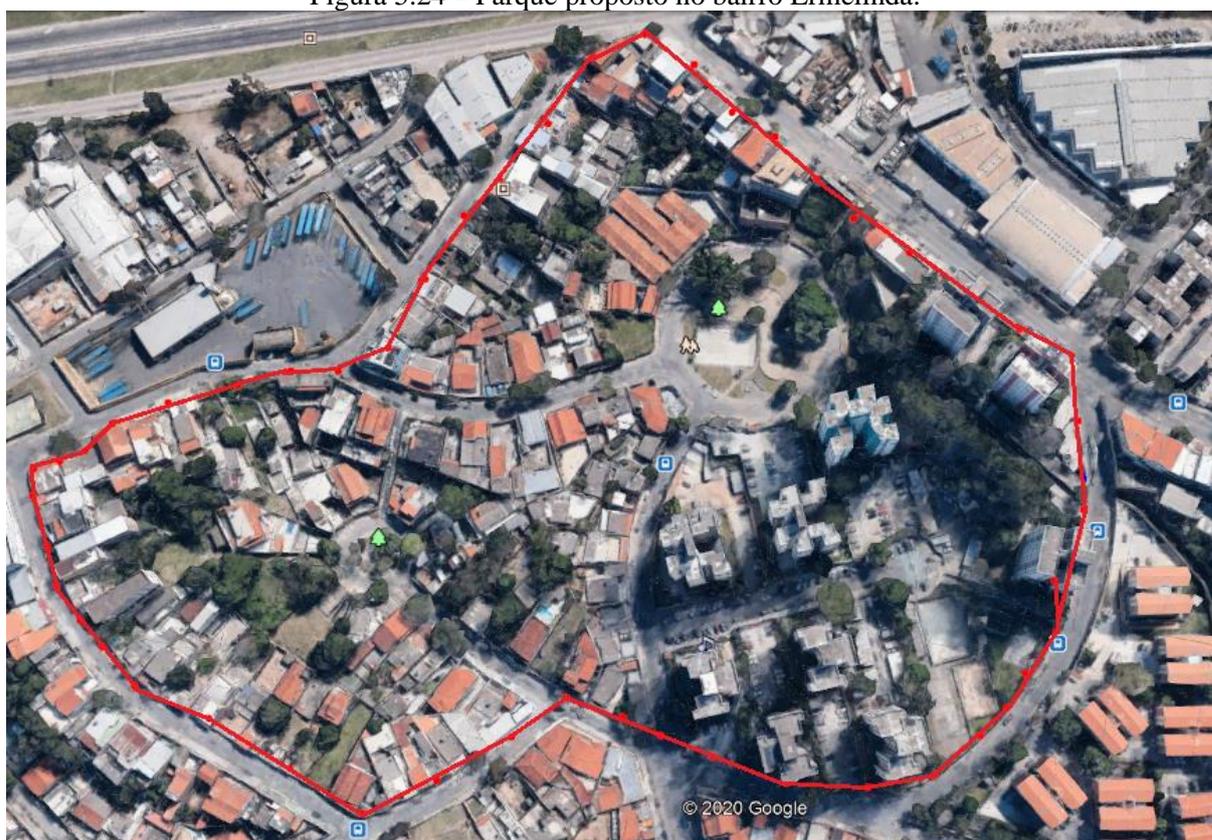
Fonte: Elaborado pela autora.

Além dos valores da tabela acima, calculou-se que a área atual correspondente a asfaltos e passeios que seria incorporada ao parque proposto é de 35.026 m². Os dados de área do quadro acima somados ao dado de asfaltos e passeios foram subtraídos de seus respectivos usos de

acordo com o Quadro 8 para o cálculo do novo valor de CN para o número da curva da bacia considerando as proposições do presente estudo.

Já a proposta para o parque no bairro Ermelinda tem sua imagem de satélite apresentada na Figura 5.24.

Figura 5.24 – Parque proposto no bairro Ermelinda.



Fonte: Elaborado pela autora.

No canto superior esquerdo da figura acima observa-se o Anel Rodoviário, para fins de localização. Na análise realizada para a região de proposição do parque, observou-se além da área ocupada pelas três praças existentes, o uso e ocupação do solo local é apenas residencial, além do espaço ocupado por asfalto e passeios.

Esta análise resultou na ocupação atual de 51.170 m² residenciais e 30.115 m² asfalto e passeios, os quais se tornariam espaços abertos com a proposição. Estes valores também foram substituídos nos dados disponíveis no Quadro 8 para o cálculo do novo número da curva, após as proposições.

Reforça-se que a proposição do parque no bairro Ermelinda não seria apenas tornar todo o espaço disponível área verde urbana, e sim associar as medidas de controle de drenagem na fonte à construção de um parque nos espaços já ocupados pelas praças, nas vias e nas casas do

entorno da praça.

Contudo a ideia do trabalho é propor medidas que visem menos desapropriações quanto possível. Essa consideração é essencial para o sucesso nas propostas de intervenções urbanas de cunho estrutural, como reforça Santos (2006).

Já para o caso da proposição de extensão da pista de caminhada existente na Avenida Bernardo Vasconcelos até seu cruzamento com a Avenida Cristiano Machado, corresponderia a uma área de 11.894,35 m² que atualmente corresponde a asfalto e passeios.

Dessa forma, com a implementação das três proposições, os dados para o cálculo do número da curva (CN) da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha seriam os expostos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Uso e ocupação do solo na bacia após implementação das medidas.

| Uso | Área (m ²) | Área (%) |
|---------------------------------|------------------------|------------|
| Misto (Residencial e Comercial) | 1.136.206 | 7,2 |
| Lote Vago | 646.725 | 4,1 |
| Industrial | 792.894 | 5,02 |
| Comercial | 1.010.000 | 6,4 |
| Residencial | 6.908.883 | 43,75 |
| Espaço Aberto | 652.330,135 | 4,13 |
| Asfalto e Passeios | 4.072.964,865 | 25,79 |
| Sem Informação | 570.000 | 3,61 |
| Total | 15.790.000 | 100 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Aplicando os dados do quadro acima na fórmula do número da curva com as mesmas considerações apontadas no Quadro 9 e tratadas no item 4.2, obteve-se o seguinte valor de CN:

$$CN = (0,072 * 88,5) + (0,041 * 88,4) + (0,0502 * 88) + (0,064 * 92) + (0,4375 * 85) + (0,0413 * 69) + (0,2579 * 98) + (0,0361 * 85,2) = \mathbf{88,69} \quad Eq. (5.3)$$

Com este novo valor de CN, o tempo de retardo na bacia passa a ser expresso pela seguinte equação:

$$t_{lag} = \frac{2,587 * 7.790^{0,8} * \left(\frac{1000}{88,69} - 9\right)^{0,7}}{1.900 * 1,91^{0,5}} = \mathbf{2,27 h} \quad Eq. (5.4)$$

Com relação à taxa de permeabilidade para o caso de implementação das três propostas expostas, os dados do BHMAP trabalhados no software de SIG indicaram que as áreas verdes já existentes na bacia apresentam um valor de permeabilidade de 70%. Já as zonas mistas, lotes

vagos, zonas industriais, residenciais e asfaltos e passeios dos locais potenciais apresentados possuem permeabilidade de 20% ou 30%.

Assim, com a nova área total de espaços abertos após a adoção das medidas de intervenção propostas a nova taxa de permeabilidade da bacia seria de aproximadamente 50,92%.

A Tabela 5.7 expõe em termos comparativos os resultados obtidos caso as propostas fossem implementadas:

Tabela 5.7 – Comparação do cenário com e sem a implementação do projeto.

| Cenário sem projeto | Cenário com projeto |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| CN = 88,94 | CN = 88,69 |
| <i>Lag time</i> = 2,25 h | <i>Lag time</i> = 2,27 h |
| Q = 111,5 m ³ /s | Q = 111,0 m ³ /s |
| Taxa de permeabilidade = 36,6883% | Taxa de permeabilidade = 50,92% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se a partir dos dados apresentados que enquanto o valor do número da curva possui pouca variabilidade, a permeabilidade tem maior alteração. Esse fato se dá devido à origem dos parâmetros, uma vez que o coeficiente CN está relacionado ao uso e ocupação do solo de forma proporcional e a permeabilidade à taxa de infiltração local.

Embora os valores tenham no geral relação com o uso e ocupação do solo na bacia, o cálculo dos parâmetros leva em consideração fatores e proporções diferentes, por isso a variabilidade é diferente quando os cenários são comparados.

Estes novos dados foram inseridos no HEC-HMS para que a vazão de pico após a implementação do parque do bairro Ermelinda, a expansão do Parque Renato Azeredo Neto e o prolongamento da pista de caminhada da Avenida Bernardo Vasconcelos fosse determinada.

A simulação hidrológica com os dados pós implementação do projeto resultou em uma vazão de descarga de 111,00 m³/s, ocorrida no mesmo dia e mesma hora da simulação realizada com os dados atuais da bacia, sendo que o novo volume gerado foi de 9.007,46 mm.

Esta nova vazão foi inserida no modelo hidráulico HEC-RAS para a verificação das seções de inundação do canal pós projeto. A nova simulação hidrodinâmica realizada indicou que as mesmas seções continuaram inundando com a nova vazão de projeto.

Este resultado já era esperado, visto que a vazão teve pouca alteração após as considerações pertinentes às medidas propostas. De acordo com Tucci (1997) e com Canholi (2014), para que seja possível a reversão dos impactos ocasionados pela urbanização não

planejada no que concerne à atenuação das cheias pelo aumento do tempo de concentração, nos casos em que os eventos de inundação são críticos, é necessário que todo o uso e ocupação do solo da bacia seja remanejado.

Dessa forma, medidas pontuais ainda que necessárias não são suficientes nesse sentido, e, segundo Friedrich (2007), para que haja eficiência nos projetos de parques lineares urbanos, devem ser associadas medidas de controle do escoamento em sua fonte de geração, havendo inclusive medidas nesse sentido em toda a área da bacia, e não apenas haver infiltração apenas nas áreas verdes.

As medidas apresentadas neste trabalho são necessárias e importantes como um passo inicial na reversão do pensamento instaurado com a visão de drenagem urbana higienista, mas se fazem necessárias novas propostas para a adequação de toda a bacia visando a atenuação do volume que chega ao Córrego Cachoeirinha e que causa inundações com perdas socioambientais.

O parque linear proposto com a implementação de um parque no bairro Ermelinda, a expansão e revitalização do Parque Municipal Renato Azeredo Neto, o prolongamento da pista de caminhada da Avenida Bernardo Vasconcelos e a revitalização da Trincheira Celso Mello de Azevedo são medidas importantes para o início da revisão do manejo do uso e ocupação do solo da bacia de estudo.

Essas proposições, além de tudo, também levam em consideração o viés social, visto que, como reforçam Sousa (2006) e Andrade (2014), o contato da população que vive no meio urbano com áreas de proteção ambiental apresenta diversas vantagens ambientais, além do próprio bem estar da população e uso destes locais como área de lazer.

As medidas apresentadas, além de terem mostrado eficiência na atenuação da vazão de pico da bacia, apresentam vantagens como conforto térmico, restauração ambiental, melhoria da qualidade do ar entre outros.

A Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha mostrou potencial e necessidade de medidas de intervenção para o aporte do canal principal no âmbito dos eventos de cheia, principalmente no período de novembro a fevereiro, onde observou-se eventos críticos no trecho analisado no trabalho.

Nesse sentido se faz necessário a adoção de medidas estruturais que garantam a segurança da população e seus direitos civis, além de garantir preservação ambiental.

6 CONCLUSÃO

Após a realização do trabalho foi verificada a necessidade de intervenção por parte do poder público no que concerne a intervenções estruturais no território da Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha para aumento do tempo de concentração com conseqüente atenuação da vazão de pico para que os eventos de inundação não ocorram no local, especialmente os eventos com perdas.

Verificou-se também que o Projeto de Lei nº 119/2017 da cidade de Belo Horizonte previa a reversão dos efeitos da urbanização sem planejamento a partir da implementação de parques lineares. O PL foi reprovado, contudo, na elaboração do estudo, verificou-se que medidas nesse sentido são essenciais para o município, sendo que o Córrego Cachoeirinha mostrou criticidade no aspecto de inundações urbanas em seu trecho na Avenida Bernardo Vasconcelos.

Constata-se com o estudo que na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha há viabilidade e necessidade para implementação de parque linear, seja no sentido de medidas de controle da drenagem na fonte em cada lote, seja na restauração ambiental de áreas verdes existentes ou seja na implementação de novas áreas verdes.

Essas medidas não se fazem necessárias apenas para a minimização dos impactos da urbanização no âmbito das inundações, mas também minimizando impactos como ilhas de calor e qualidade do ar, também efeito das ocupações sem o devido planejamento urbano.

Os parques lineares se apresentam como uma ferramenta atual e versátil, podendo se adequar ao ambiente já consolidado e com boa aceitação por parte da população, não apenas por seus efeitos no aumento da infiltração, mas também por serem fontes de lazer e contato com a natureza.

Os modelos HEC-HMS e HEC-RAS, associados ao SIG, mostraram eficiência para análise dos dados e realização das simulações hidrodinâmicas da bacia, sendo que as ferramentas disponíveis no SIG mostraram bons resultados para a caracterização da área de estudo, visto que foram obtidos dados suficientes no âmbito da caracterização para a realização das etapas subsequentes do trabalho.

O trecho do canal avaliado no projeto apresenta um histórico de eventos críticos e inclusive foram observadas intervenções já realizadas por parte da prefeitura como tentativa de atenuação das inundações, e como estes eventos continuam a ser recorrentes no local, reforça-se a necessidade de novas medidas de atuação.

A área inundável delimitada a partir do modelo hidráulico HEC-RAS se mostrou

compatível à área de inundações recorrentes observadas em reportagens durante o período de cheia, o que demonstra confiabilidade do modelo utilizado.

Também foi observado que o trecho crítico do canal, que sofre com os eventos de inundação, corresponde ao local onde o canal é aberto, o que é consequência da drenagem urbana higienista, onde os volumes precipitados tendem a escoar o mais rápido possível para os sistemas de macrodrenagem.

Ainda, pode-se concluir com este estudo que medidas pontuais, ainda que necessárias, não são suficientes para que os canais urbanos não sofram com inundações, fazendo-se necessário o manejo do uso e ocupação do solo em toda a bacia, valorizando a maior taxa de infiltração possível.

Observou-se que atualmente a Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha possui baixa taxa de permeabilidade média, e as medidas analisadas aumentariam esta taxa, porém não seriam suficientes para absorver o volume escoado para que não houvesse inundação no canal.

É necessária a intervenção por parte do poder público na implementação de medidas estruturais que alterem todo o disciplinamento do uso e ocupação do solo, fazendo com que cada lote possua área infiltrável e que, dessa forma, o volume escoado superficialmente que chega ao canal seja menor, possibilitando que o Córrego Cachoeirinha suporte a vazão a ser drenada.

Reforça-se a importância de se considerar o viés social e a participação da comunidade em todas as etapas de projetos de intervenção do meio urbano, além de ser importante que as intervenções realizadas não apenas descarreguem as vazões precipitadas para jusante.

Os parques lineares como ferramenta estratégica na minimização dos impactos decorrentes da falta de planejamento urbano são importantes, mas se fazem necessárias medidas mais abrangentes e que contemplem toda a área da bacia. A associação de parques lineares com outras ferramentas de controle na fonte tem o potencial para serem efetivos na atenuação das inundações urbanas.

Algumas ferramentas atuais nesse sentido são os telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, bacias de retenção e bacias de detenção. O aumento da área infiltrável em toda a bacia a partir da implementação destas medidas, com subsídio da prefeitura para tal, se faz necessário para que as inundações não sejam um impacto socioambiental na Avenida Bernardo Vasconcelos.

Dentro da temática dos parques lineares, uma ferramenta que se mostra importante, apesar de não aumentar a área infiltrável dentro das bacias, é a restauração ambiental de espaços

abertos existente, visto que regenerar estes espaços no âmbito da biodiversidade animal e vegetal cria espaços urbanos onde o meio ambiente permanece preservado e similar ao que era antes do processo de urbanização. Essa ferramenta tem se mostrado eficiente na diminuição da taxa de vazão que chega aos canais urbanos.

A recuperação, manutenção e regeneração do meio ambiente nos grandes centros urbanos é uma visão emergente para propostas de intervenção, mas que se faz necessária em cenários críticos, como é o caso do trecho de estudo do Córrego Cachoeirinha na Avenida Bernardo Vasconcelos.

Ao realizar o plantio de árvores nativas da região na zona urbana, a fauna local acaba sendo restaurada e se cria uma área de preservação permanente que traz diversos benefícios para a população local, que tem a percepção dos benefícios de contato com o meio ambiente.

Portanto, as medidas de intervenção na Bacia Elementar do Córrego Cachoeirinha são necessárias e a atuação da prefeitura se faz necessária, seja na criação de novas áreas verdes, revitalização de espaços existentes e, prioritariamente, adoção de medidas em todo o território que aumentem a permeabilidade da área.

7 PROPOSTA DE CONTINUIDADE

Após a realização do estudo fica evidente a necessidade de atuação do poder público no sentido de proposição de medidas que visem atenuar os efeitos da falta de planejamento urbano. Dessa forma, a pesquisa realizada visou apresentar possíveis medidas iniciais para a reversão do quadro crítico de inundações do Córrego Cachoeirinha localizado na cidade de Belo Horizonte.

As medidas propostas indicaram eficiência, porém insuficiência no que diz respeito ao aporte do volume escoado que resulta em inundações do canal, fazendo-se necessário um projeto mais amplo e completo para reverter o quadro crítico no local.

O trecho analisado do Córrego Cachoeirinha na Avenida Bernardo Vasconcelos mostrou necessidade de projetos que visem intervir no sentido de atenuação da vazão de pico durante eventos de precipitação intensa, sendo que estes projetos devem abranger a bacia como um todo e realizar intervenções em toda sua área.

Dessa forma, são necessários projetos que contemplem o disciplinamento adequado do uso e ocupação do solo em toda a bacia para que o escoamento gerado com as precipitações não sobrecarregue a vazão do canal urbano. Tais projetos devem ser subsidiados pelo poder público e envolver a população afetada, o que garantirá sua eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB. GHANI, Aminuddin et al. Revised equations for Manning's coefficient for Sand-Bed Rivers. **International Journal Of River Basin Management**, Malaysia, v. 5, n. 4, p.329-346, dez. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2007.9635331>.

ABCP (São Paulo). Associação Brasileira de Cimento Portland. **Projeto técnico: Parques lineares como medidas de manejo de águas pluviais**. 2013. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Parques%20Lineares_Web.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

ABDELBASSET, Midaoui et al. Integration of GIS and HEC-RAS in floods modeling of the Ouergha River, Northern Morocco. **European Scientific Journal**, Morocco, v. 11, n. 2, p.196-204, jan. 2015.

ABELÉM, Auriléa Gomes. **Urbanização e remoção: porque e pra quem?** Pará: Nirvia Ravena (editora Chefe), 2018. 175 p. Parceria entre Universidade Federal do Pará e Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - NAEA.

ANDRADE, Alexandre Carvalho de; MARQUES NETO, Roberto; BACHA, Rafael de Mello Castro; FERREIRA, Enéas Rente. **Do turismo das águas minerais ao turismo em áreas rurais: a microrregião de São Lourenço (MG)**. Geo Uerj, Rio de Janeiro, v. 2, n. 25, p. 57-78, 2 dez. 2014. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2014.5932>.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (abr), 2005. 266 p.

BELO HORIZONTE. **Lei Ordinária nº 7.165**, de 27 de agosto de 1996. Institui o plano diretor do município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, MG.

BELO HORIZONTE, (2000). **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte - PDDUBH**. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte: PBH, 2000.

BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. **Cartas de Inundação**. 2009. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/diretoria-de-gestao-de-aguas-urbanas/cartas-de-inundacoes>. Acesso em: 17 nov. 2019.

BELO HORIZONTE. **Plano de Ações de Combate às Inundações em Belo Horizonte**. 2011. Prefeitura de Belo Horizonte - PBH. Disponível em: http://pbh.gov.br/combate_inundacoes/Plano_de_Acoes_de_Combate_a_Inundacoes_em_BH_.pdf. Acesso em: 17 out. 2019.

BELO HORIZONTE. **Planos Diretores Regionais - Diagnósticos**. Regional Nordeste. 2013. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/regionais>. Acesso em: 24 mar. 2020.

BELO HORIZONTE. **BH MAP**. 2016. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH. Disponível em:

<http://bhmap.pbh.gov.br/v2/home.html>. Acesso em: 17 fev. 2020.

BELO HORIZONTE. **Planos Municipal de Saneamento**. 2016. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/plano-de-saneamento>. Acesso em: 24 mar. 2020.

BELO HORIZONTE (Município). Projeto de Lei nº 119, de 24 de janeiro de 2017. Dispõe sobre a cobertura de ribeirões e córregos no município de Belo Horizonte e dá outras providências. **Projeto de Lei 119/2017**. Belo Horizonte, MG.

BELO HORIZONTE. **Planos Diretores Regionais**. 2018. Prefeitura de Belo Horizonte – PBH. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/regionais>. Acesso em: 24 mar. 2020.

BELO HORIZONTE. PBH. Prefeitura de Belo Horizonte. **PARQUE LINEAR AVENIDA JOSÉ CÂNDIDO DA SILVEIRA**. 2018. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/informacoes/parques/parque-jose-candido-da-silveira>. Acesso em: 02 jul. 2020.

BELTAOS, Spyros; TANG, Patrick; ROWSELL, Robert. Ice jam modelling and field data collection for flood forecasting in the Saint John River, Canada. **Hydrological Processes**, Canadá, v. 26, n. 17, p.2535-2545, 17 abr. 2012. Wiley.

BOLDRIN, Rodrigo Süzes. **Avaliação de cenários de inundações urbanas a partir de medidas não-estruturais de controle: trecho da bacia do córrego do Gregório, São Carlos - SP**. 2005. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BRASIL. Congresso. Senado. Constituição (1997). Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 15 jan. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.975, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Lei no 9.795, de 27 de Abril de 1999. Brasília, DF.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF.

BRASIL (2011). **Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011**. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112527.htm. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.. . Brasília, DF.

BRASIL. **Lei nº 13.308, de 06 de julho de 2016.** Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial. Brasília, DF.

BRASIL. **Lei nº 13.668, de 28 de maio de 2018.** Altera as Leis nº 11.516, de 28 de agosto de 2007, 7.957, de 20 de dezembro de 1989, e 9.985, de 18 de julho de 2000, para dispor sobre a destinação e a aplicação dos recursos de compensação ambiental e sobre a contratação de pessoal por tempo determinado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Instituto Chico Mendes).. . Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13668.htm. Acesso em: 16 jan. 2021.

BRUNNER, Gary W. **HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual.** Estados Unidos: Davis, Ca: Us Army Corps Of Engineers, 2010. 417 p.

BUCCHERI FILHO, A. T.; NUCCI, J. C. Espaços Livres, Áreas Verdes e Cobertura Vegetal no Bairro Alto da XV, Curitiba/PR. **Revista do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 18, n.1 p.48-59, 2006.

CABRAL, Samuellson Lopes et al. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do Rio Granjeiro-CE. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p.90-101, 2016.

CADIER, E. et al. 1987. Avaliação dos estudos referentes aos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste Brasileiro. Anais do **VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Salvador, ABRH. Vol. 2, p. 225-239.

CÂMARA, Gilberto et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** 1996. 205 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

CAMPOS, Rubens Gomes Dias. **Curso Básico HEC-RAS.** Belo Horizonte. 2011. 58 p. Apoio logístico: Eng Marcos Jabor – DER MG.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

CARDOSO NETO, Antonio. **Sistemas Urbanos de Drenagem.** 2014. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

CARVALHO, Ana Elisa Ferrari. **Análises multicriteriais aplicadas à avaliação de alternativas de controle de inundações na bacia hidrográfica do rio Mineirinho (São Carlos – SP)**. 2016. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

CASTRO, Leonardo Mitre Alvim de. **Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água**. 2007. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CHARGEL, Leonardo Tristão; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera da. Simulation of Floods with 1d and 2d Hydraulic Models in the Guapi-Açu River Basin, Based on Gis Integration. **Global Journal Of Researches In Engineering: e Civil And Structural Engineering**: Global Journals Inc. (USA), Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p.66-76, 2014.

CIDADE, Lúcia Cony Faria. Urbanização, ambiente, risco e vulnerabilidade: em busca de uma construção interdisciplinar: Urbanization, environment, risk and vulnerability: in search of an interdisciplinary construction. **Cadernos Metr pole**, São Paulo, v. 15, n. 29, p.171-191, jan/jun. 2013.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. 6. ed. Porto Alegre, RS: IPH UFRGS, 2008. 274 p. Apostila. Disponível em: http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf. Acesso em: 20 jun. 2019.

CRUCIANI, Décio E.; MACHADO, Ronalton E.; SENTELHAS, Paulo C. Modelos da distribui o temporal Modelos da distribui o temporal Modelos da distribui o temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb, v. 6, n. 1, p.76-82, 2002.

DAVIS, C.; CAMARA, G. Arquitetura de sistemas de informa o geográfica. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Ed.). **Introdu o   ciência da geoinforma o**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 35. (INPE-8078-PRE/3893).

ELIZARDO, Lucas Menezes. **Aplica o de Sistema de Informa es Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana**. 2016. 98 f. Disserta o (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2016.

ESTADO DE MINAS (Belo Horizonte). **Temporal alaga Aeroporto da Pampulha e castiga bairros de BH**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/14/chuva-forte-atinge-varias-regioes-de-bh-e-defesa-civil-emite-alerta-de-granizo.ghtml>. Acesso em: 17 mar. 2020.

FERNANDES, Antoniel Silva; CALDEIRA, Altino Barbosa. Análise espacial das áreas verdes de Belo Horizonte (MG). **Revista da Sociedade Brasileira de Arboriza o Urbana**, v. 11, n. 3, p. 73-92, 21 set. 2016. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v11i3.63418>.

FERNANDEZ, Paulo; MOURATO, Sandra; MOREIRA, Madalena. Comparação dos modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP na delimitação de Zonas Inundáveis. **Revista Recursos Hídricos: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH)**, v. 34, n. 1, p.63-73, maio 2013.

FRIEDRICH, Daniela. **O parque linear como instrumento de planejamento e gestão das áreas de fundo de vale urbanas**. 2007. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13175>. Acesso em: 17 set. 2020.

G1 (MINAS GERAIS). **Chuva destrói parte de BH; MG tem 55 mortos em 6 dias**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/29/apos-mais-um-temporal-com-enchentes-bh-e-regiao-metropolitana-contabilizam-mais-estragos.ghtml>. Acesso em: 20 ago. 2020.

GARCIAS, Carlos Mello; AFONSO, Jorge Augusto Callado. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Paraná, v. 1, n. 1, p.131-144, 27 mar. 2013. Revista GESTA.

GASPARINI, Diogenes. Aspectos Jurídicos do Plano Diretor. **Revista do Curso de Direito**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.91-125, 31 dez. 2004. Instituto Metodista de Ensino Superior.
GOMES, Ivair. Sistema naturais em áreas urbanas: estudos da Regional Barreiro, Belo Horizonte (MG). **Revista Caminhos de Geografia (Revista On-line)**, Uberlândia, v. 63, n. 14, p.139-150, fev. 2005.

GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira. **Modelo seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão de risco de inundações**. 2010. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

JÁCOME, Maryana Pereira. **Lugares que se (trans)formam – o território-rizoma e os modos de subjetivação na favela santa lúcia**. 2020. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Psicologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

KIPPER, Alex. **Drenagem urbana: comparativo de custos no dimensionamento utilizando Sistemas de Drenagem Tradicional (Higienista), e compensatória com microrreservatórios**. 2015. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

KOBAYASHI, Fabiana Y. et al. **Drenagem Urbana Sustentável**. São Paulo: Drenagem Urbana Sustentável Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Engenharia Civil, 2008. 18 p. PHD 2537 – Água em Ambientes Urbanos.

LEFEBVRE, Henri (2000). **A produção do espaço**. Trad. Doralice Barros Pereira e Sérgio Martins(do original: La production de l'espace. 4e éd. Paris: Éditions Anthropos.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. 5. ed. São Paulo: Centauro, 2008. 146 p.

LENHS – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (Tradução). **Manual do Usuário EPA SWMM 5.0. UFPB: 2012**. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/swmm/SWMM_2012.pdf>. Acesso em 03 set.

2015.

LOPES DA SILVEIRA, André Luiz. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p.5-29, 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>.

MARTINE, George et al. **A urbanização no Brasil: retrospectiva, componentes e perspectivas**: Anais do VI Encontro Nacional de Estudos Populacionais. 2016.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Uso de técnicas urbanísticas para mitigação da impermeabilização: Parques Lineares**. 2015.

MASETTO, Anderson. **Sede da Localiza, em Belo Horizonte, é tema de livro**. 2018. Mercado & Eventos. Disponível em: <https://www.mercadoeventos.com.br/noticias/servicos/sede-da-localiza-em-belo-horizonte-e-tema-de-livro/>. Acesso em: 24 nov. 2020.

MAYS, Larry W.. **Water Resources Engineering**. 3. ed. Tempe, Arizona: Wiley, 2019. 752 p.

MCCUEN, Richard H. **Hydrologic Analysis and Design**. 2. ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-hall Inc., 1998.

MEIRELLES, Hely Lopes. **Direito municipal brasileiro**. 18. ed. São Paulo: Imprensa, 2017. 886 p.

MELLO, Fernando Antonio Oliveira. **Análise do processo de formação da paisagem urbana no município de Viçosa, Minas Gerais**. 2002. 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Análise do Processo de Formação da Paisagem Urbana no Município de Viçosa, Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MENDES, Heloisa Ceccato. **Urbanização e Impactos Ambientais: Histórico de Inundações e Alagamentos na Bacia do Gregório, São Carlos - SP**. 2005. 346 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MENDONÇA, Camila F. de. **Enchentes desvalorizam imóveis em até 30%, mas recuperação é rápida**. 2011. InfoMoney. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/enchentes-desvalorizam-imoveis-em-ate-30-mas-recuperacao-e-rapida/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

MONTE-MÓR, Roberto Luís. **O que é o urbano, no mundo contemporâneo**. 2006. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD%20281.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

MORAIS, Leandro Pereira. Formação econômico-social, urbanização e o emprego em serviços pessoais e domiciliares no Brasil: modernidade ou volta ao passado? **Perspectiva Econômica**, São Leopoldo, v. 2, n. 1, p.68-101, jan. 2006.

OLIVEIRA, Cinthya. **Prefeitura apresenta obras contra enchentes em nove pontos críticos de BH**. 2019. Jornal Hoje Em Dia. Disponível em:

<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/prefeitura-apresenta-obras-contra-enchentes-em-nove-pontos-cr%C3%ADticos-de-bh-1.753882>. Acesso em: 21 jan. 2020.

OLIVEIRA, Fernanda Almeida de et al. Determinação do limite da faixa de inundação com uso do HEC-RAS para o parque linear do Córrego Macambira Em Goiânia, Goiás (Determination of the flooding limit using of the software Hec-Ras to the Parque Linear of Macambira River in Goiânia, Goiás). **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 11, n. 1, p.57-66, dez. 2015/jun. 2016. Universidade Federal de Goias.

PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Santa Maria: Abrh, 2001. 628 p.

PINHEIRO, Márcia Maria Guimarães; NAGHETTINI, Mauro. Análise Regional de Frequência e Distribuição Temporal das Tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 3, n. 4, p. 73-88, dez. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v3n4.p73-88>. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/51/8be9383d631a2f207f2fd699322612e2_d195d265a77d17bf3b62a6c195029c0d.pdf. Acesso em: 24 mar. 2020.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p.15-24, jan. 2000.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, jun. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200004&script=sci_arttext. Acesso em: 13 out. 2019.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos, Sp: Eesc - Usp, 2006. 519 p.

PORTO, Rubem La Laina; ZAHED FILHO, Kamel; MARCELLINI, Silvana Susko. **Escoamento Superficial**: Análise do Hidrograma e Hidrograma Unitário. São Paulo: Escola Politécnica da Usp - Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 1999. 47 p. PHD 307-Hidrologia Aplicada.

QUEDI, Erik Schmitt; CAMPOS, Juliana Andrade; FAN, Fernando Mainardi. **Avaliação do desempenho do modelo HEC-RAS 1D em rio com quedas d'água variando os parâmetros do método Local Partial Inertia (LPI)**. 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/183988/001079871.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

QUINTELA, Antônio Carvalho, 1996, **Hidrologia e recursos hídricos**. Folhas de apoio à disciplina de Hidrologia e Recursos Hídricos. Associação de estudantes do Instituto Superior Técnico, Lisboa.

RÁDIO ITATIAIA (Belo Horizonte). **Chuva em BH: avenida Bernardo Vasconcellos tem enchente e carros arrastados; veja o vídeo**. 2020. Disponível em: <https://www.itatiaia.com.br/noticia/chuva-em-bh-avenida-bernardo-vasconcellos-tem-enchente-e-carros-arrastados>. Acesso em: 21 nov. 2020.

RAMOS, M. H. D. **Drenagem urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte**. 1998. 103p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

RUBERT, Arão Vieira. **Curso básico de geoprocessamento em ArcGIS desktop**. 2011. Curso de Capacitação de profissionais integrantes dos órgãos gestores de recursos hídricos do Estado do Ceará em parceria com a ANA. Disponível em: <<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/215/1/Geoprocessamento%20em%20Arcgis.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

SANTOS, Juliano Böeck. **Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP**. 2017. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2017.

SANTOS, Milton (2006) **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. 1999. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

SCS. **Urban hydrology for small watersheds**. Washington, DC: Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS), 1986.

SILVA, A. B.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A. W. & VIANA, C. S. **Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte**. 1995. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.

SILVA, José Adailton Barroso da et al. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Ciências Humanas e Sociais Unit**, Aracaju, v. 2, n. 2, p.197-207, out. 2014.

SIQUEIRA, Rejane Cristina. **Proposição de metodologia para construção de gráfico de risco de inundações em bacias urbanas: Estudo de caso bacia do Córrego Cachoeirinha**. 2017. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/978M.PDF>. Acesso em: 08 out. 2019.

SOUSA, Geneci Braz de; MOTA, José Aroudo. Valoração econômica de áreas de recreação: o caso do Parque Metropolitano de Pituauçu, Salvador, BA. **Revista de Economia, Paraná**, v. 32, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/economia/article/view/6826/4849>>. Acesso em: 11 abr. 2020.

SOUZA, Rávila Marques; CRISPIM, Diogo Coelho; FORMIGA, Klebber. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial – caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v. 5, n. 2, p.1-11, 18 out. 2012. Universidade Federal de Goiás.

<http://dx.doi.org/10.5216/reec.v5i2.20176>.

SP. Prefeitura de São Carlos. Prefeitura de São Carlos. **Plano Municipal de Saneamento do Município de São Carlos (PMSSanCa)**. 2012. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/meio-ambiente/159636-plano-municipal-de-saneamento.html>. Acesso em: 23 nov. 2020.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. EDUSP: Editora da UFRGS, 1993. 952 p. ABRH.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de. **Drenagem Urbana**. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 428 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p.5-12, jul/dez. 1997.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento da drenagem urbana. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p.5-27, jan/mar. 2002.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasil: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005. 197 p. Programa de Modernização do Setor Saneamento Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Ministério das Cidades. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/06906898a257ceb3ec8687675e9e36c8.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2020.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão da drenagem urbana. In: CEPAL-IPEA. **Textos para Discussão**. Brasília: Cepal, 2012. Cap. 48. 50 p. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274_pt.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 abr. 2019.

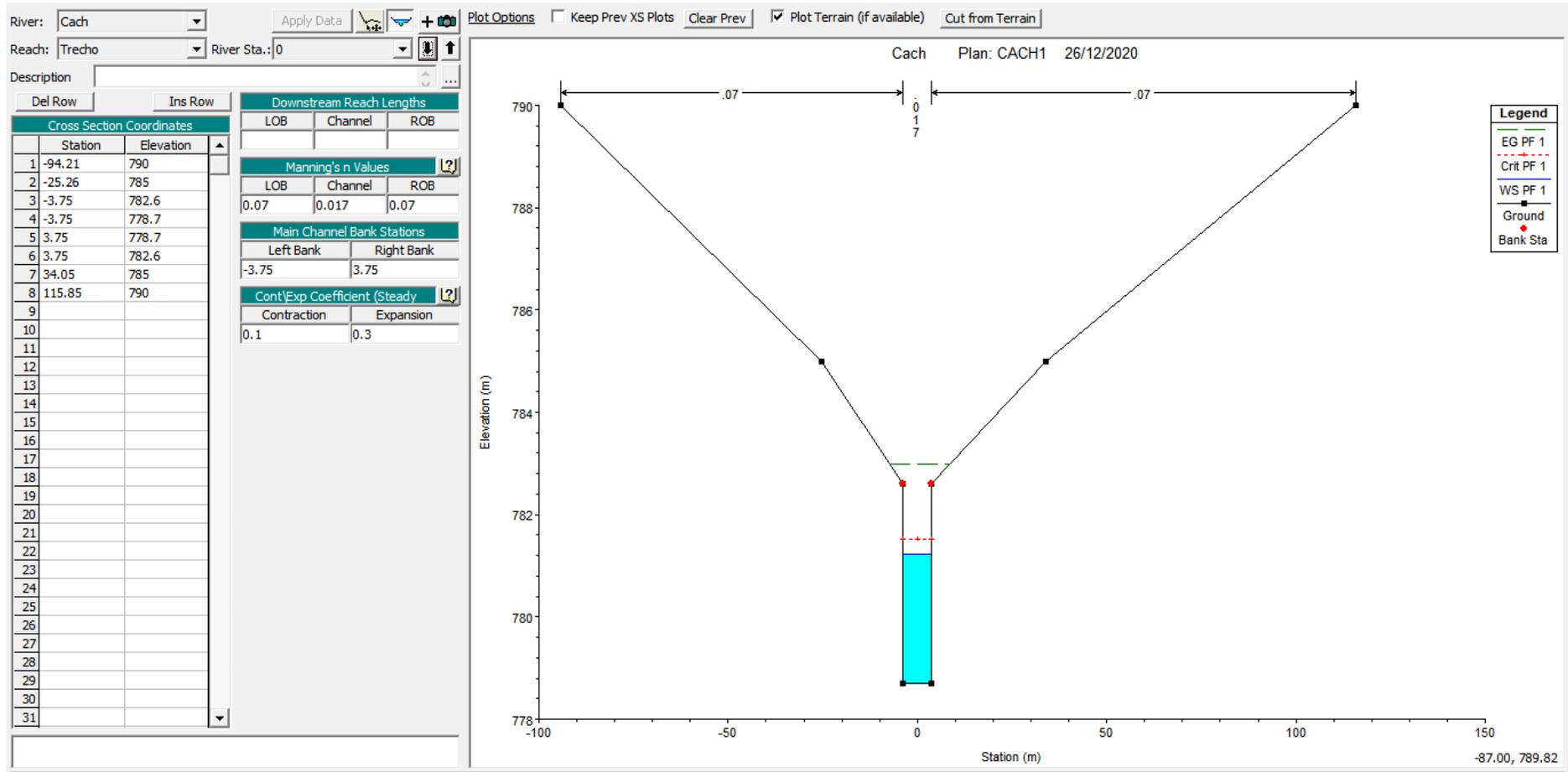
TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações e Drenagem Urbana**. 2017. Disponível em: <https://www.semarrh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/cap3-1.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

VASCONCELOS, Bernardo Lopes Vieira. **Uso de geoprocessamento para delimitação de áreas susceptíveis a inundação na região nordeste do município de Belo Horizonte/MG**. 2016. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: http://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2017/06/TCC_BERNARDO-LOPES-VIEIRA-VASCONCELOS.pdf. Acesso em: 12 nov. 2019.

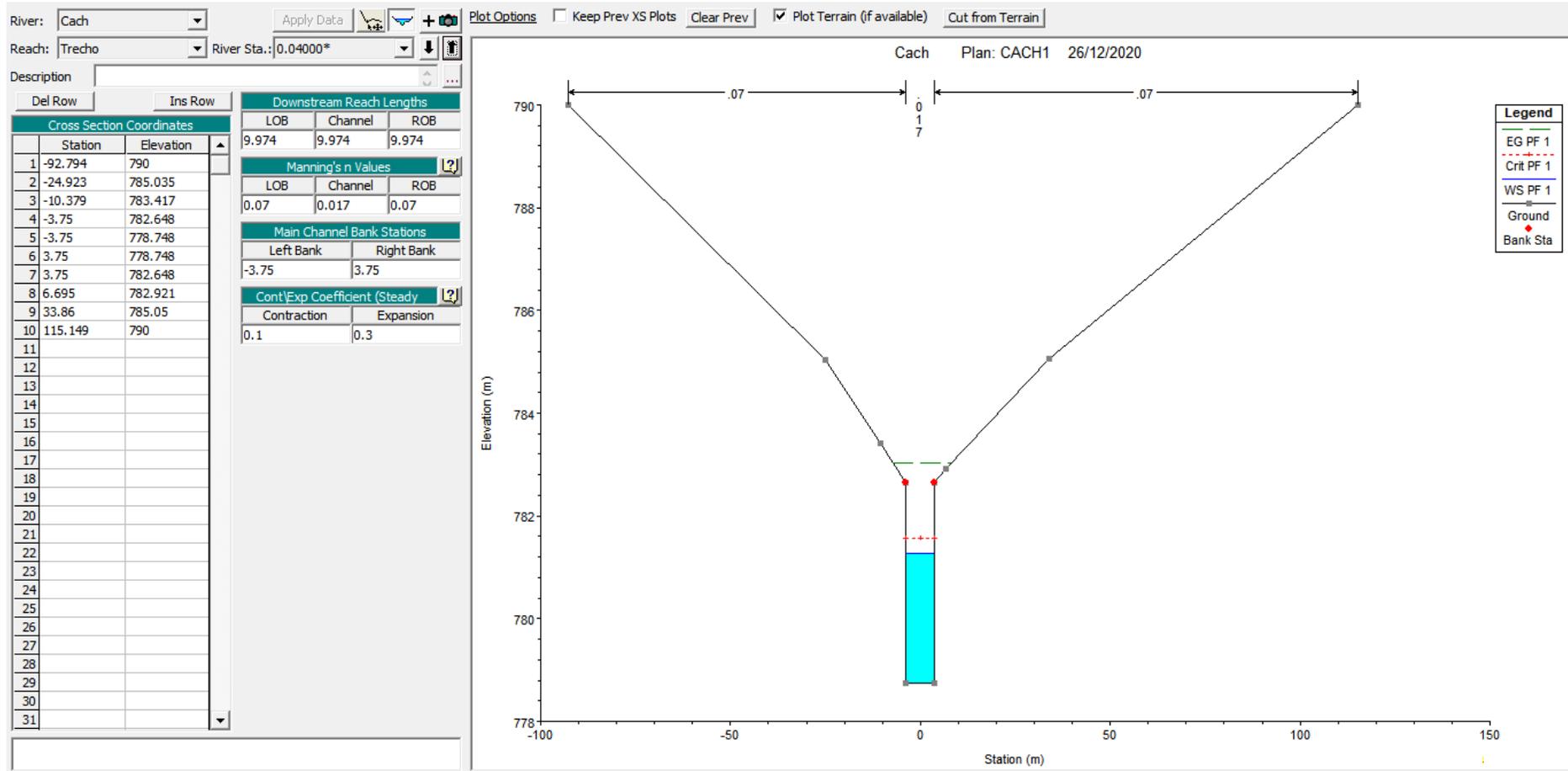
VIOLA, Heitor. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas – O estudo de caso da Cidade Do Samba**. 2008. 398 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Heitor_Viola.pdf. Acesso em: 24 mar. 2020.

APÊNDICE A – SEÇÕES SIMULADAS NO MODELO HIDRODINÂMICO HEC-RAS

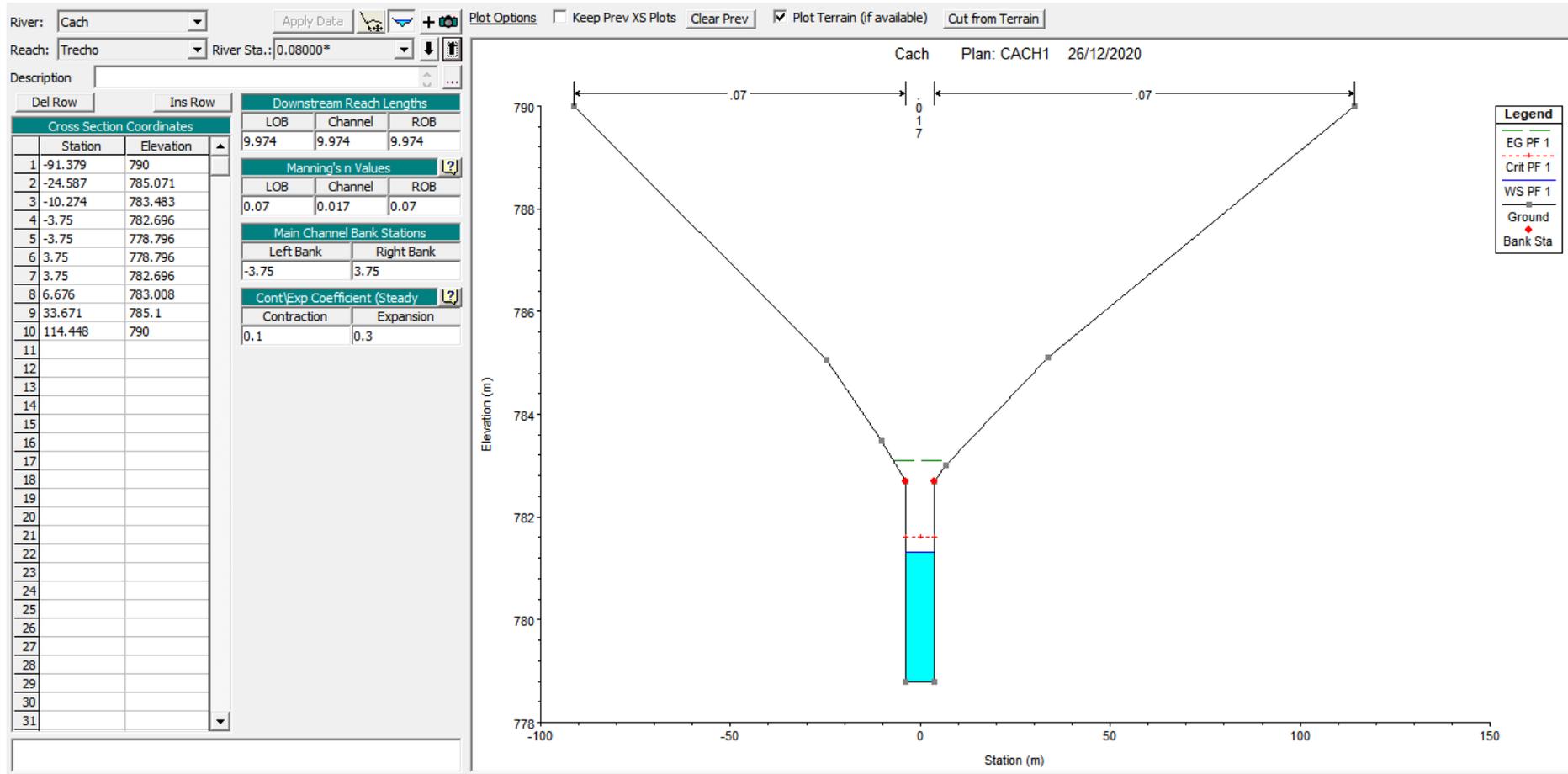
SEÇÃO 0



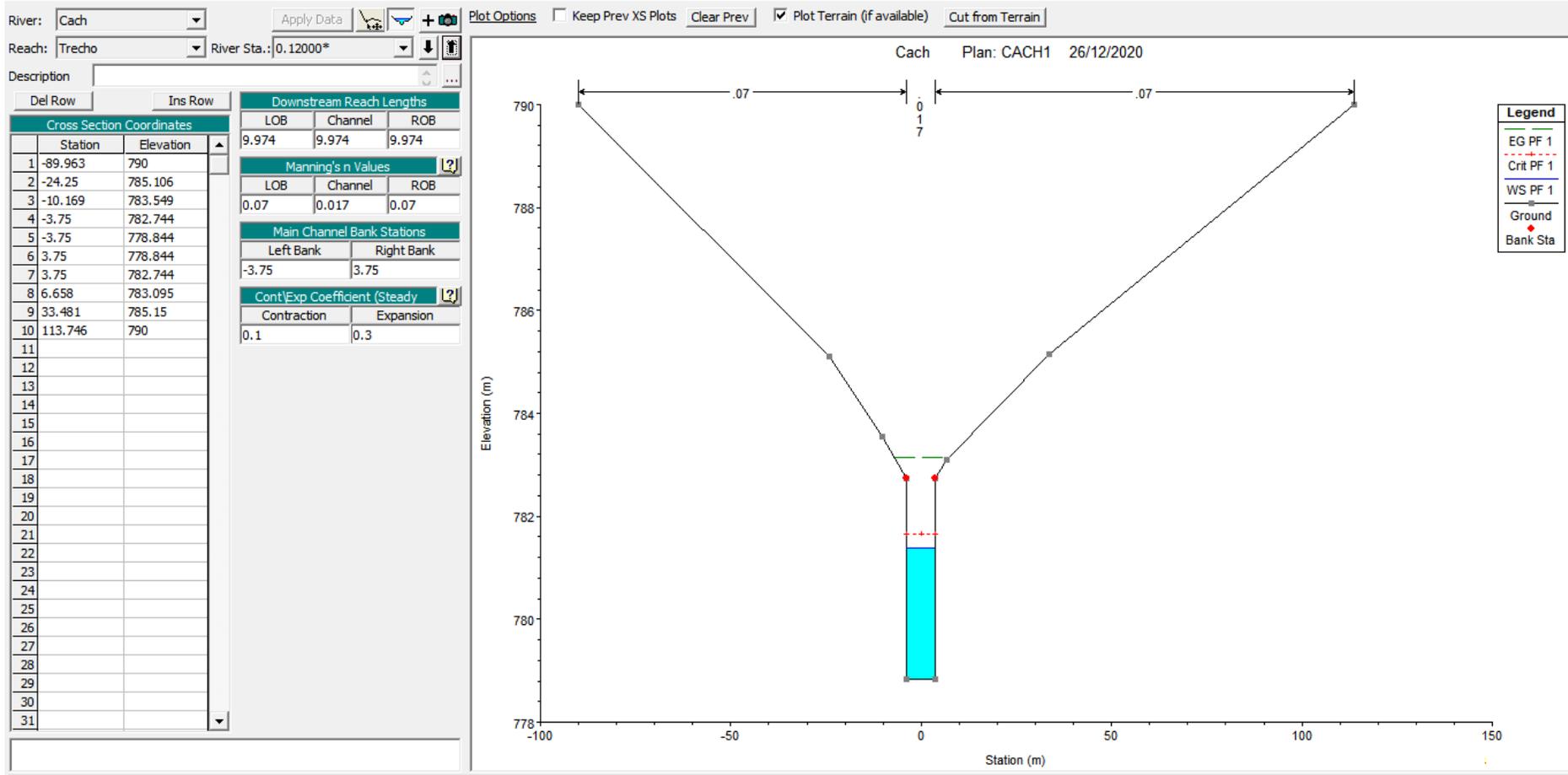
SEÇÃO 0,04



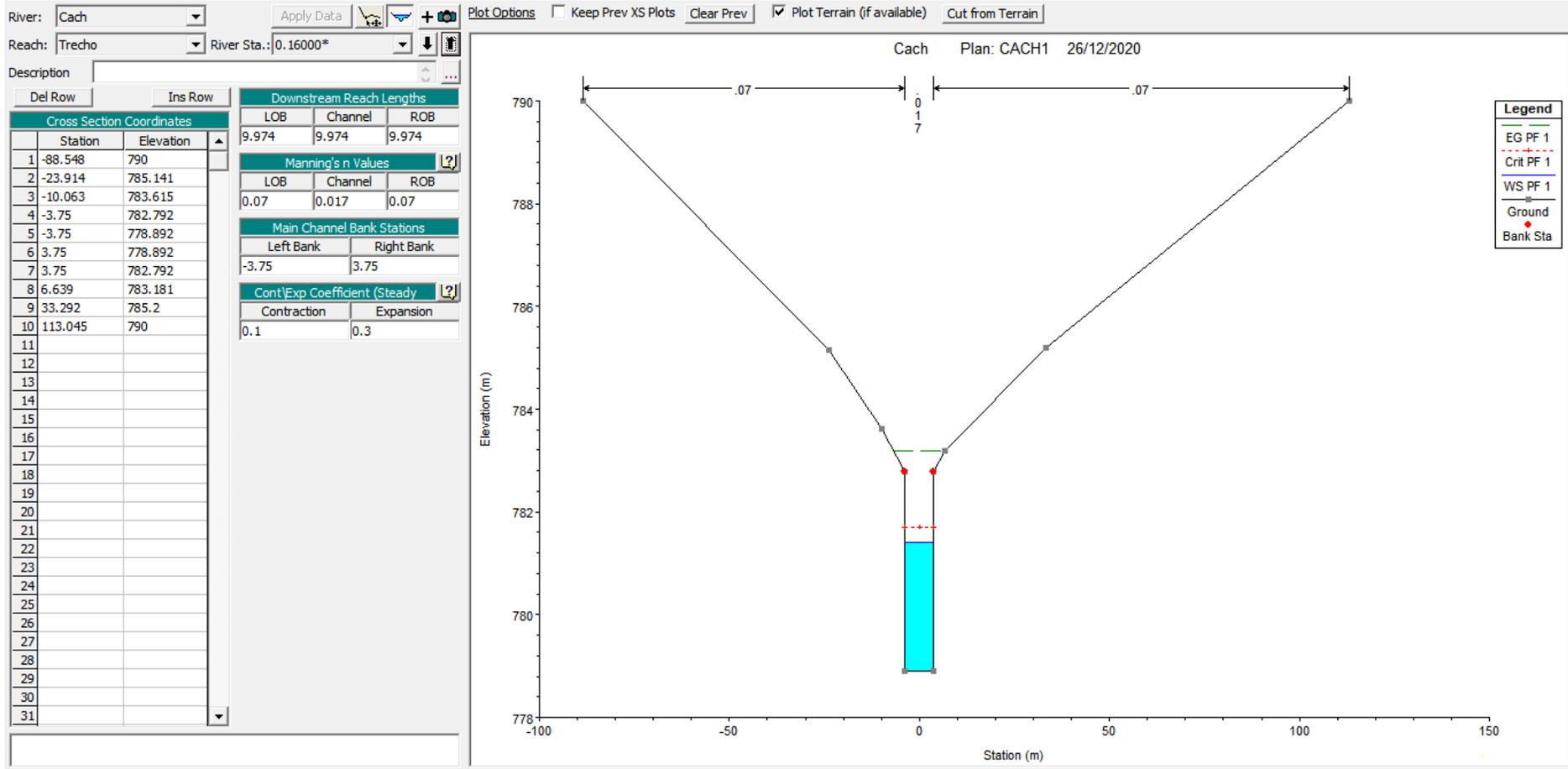
SEÇÃO 0,08



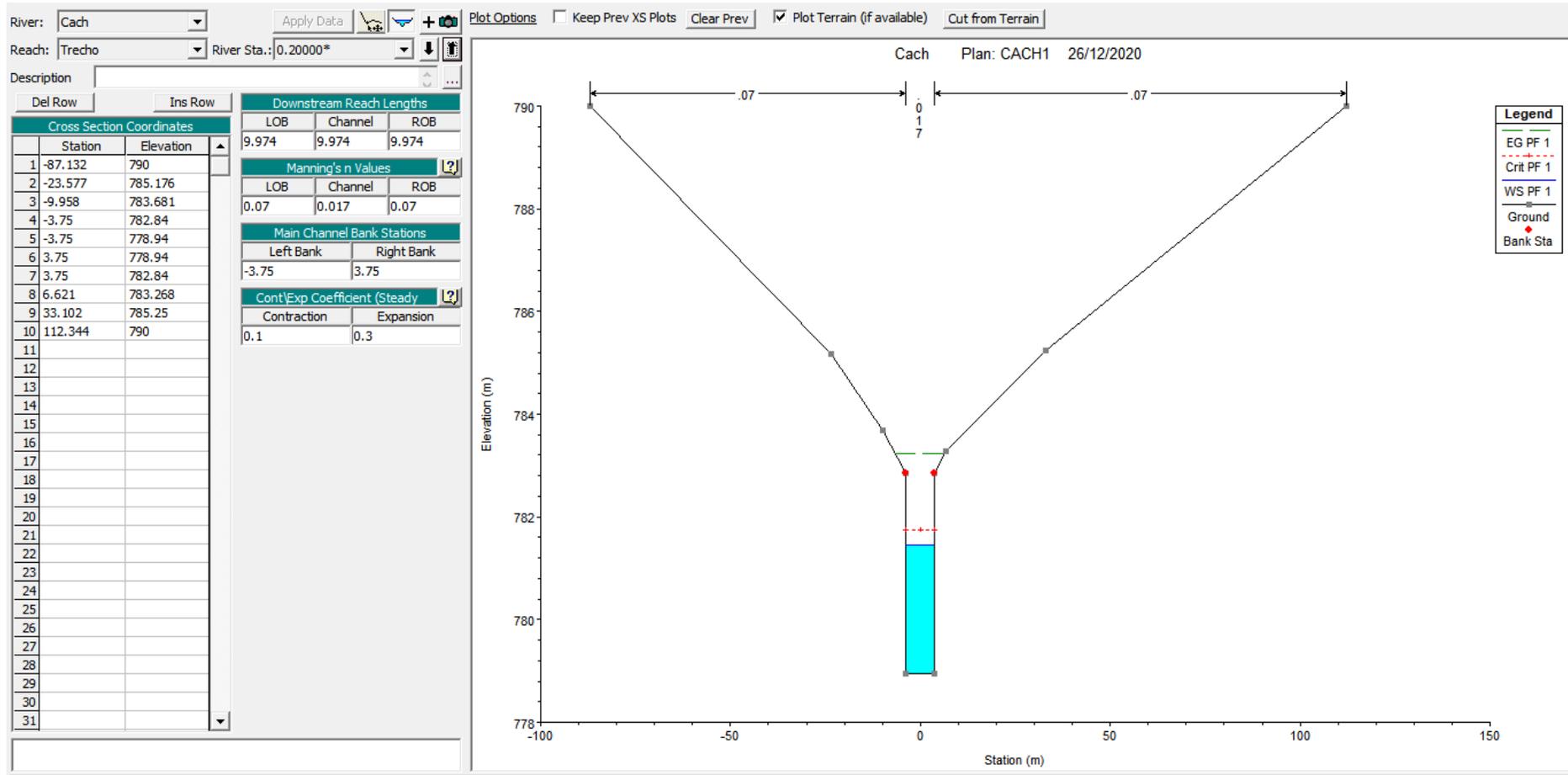
SEÇÃO 0,12



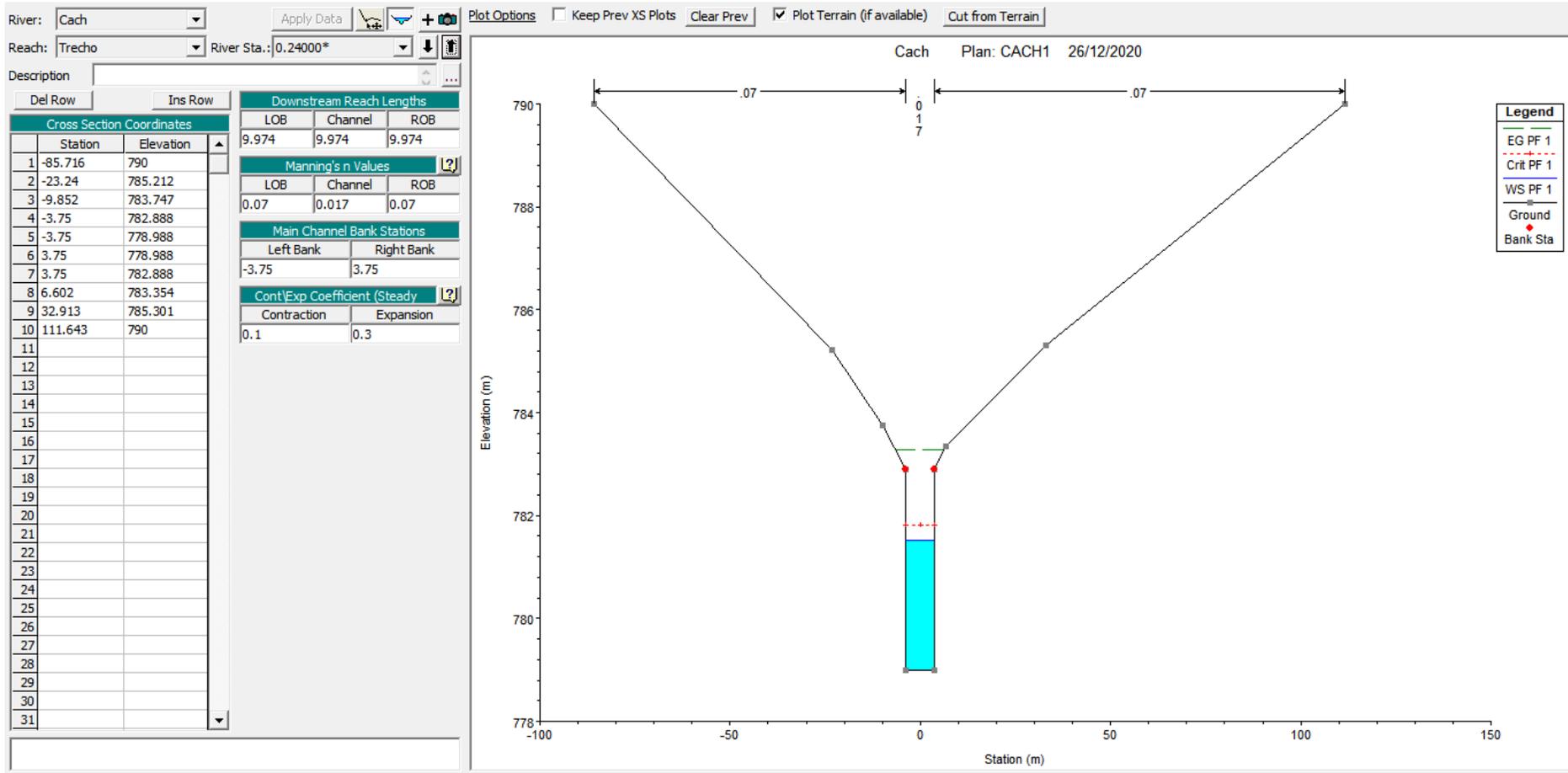
SEÇÃO 0,16



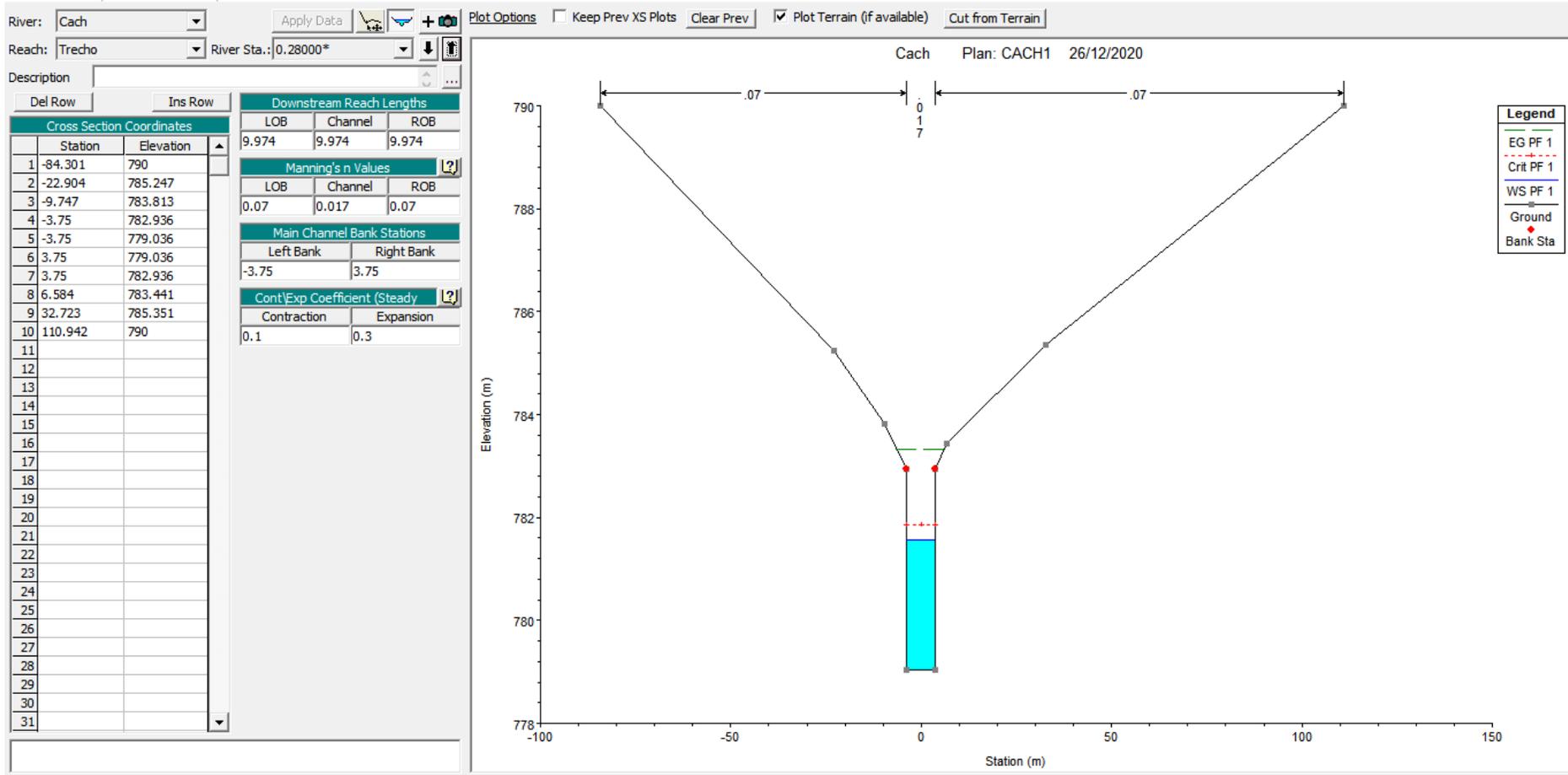
SEÇÃO 0,20



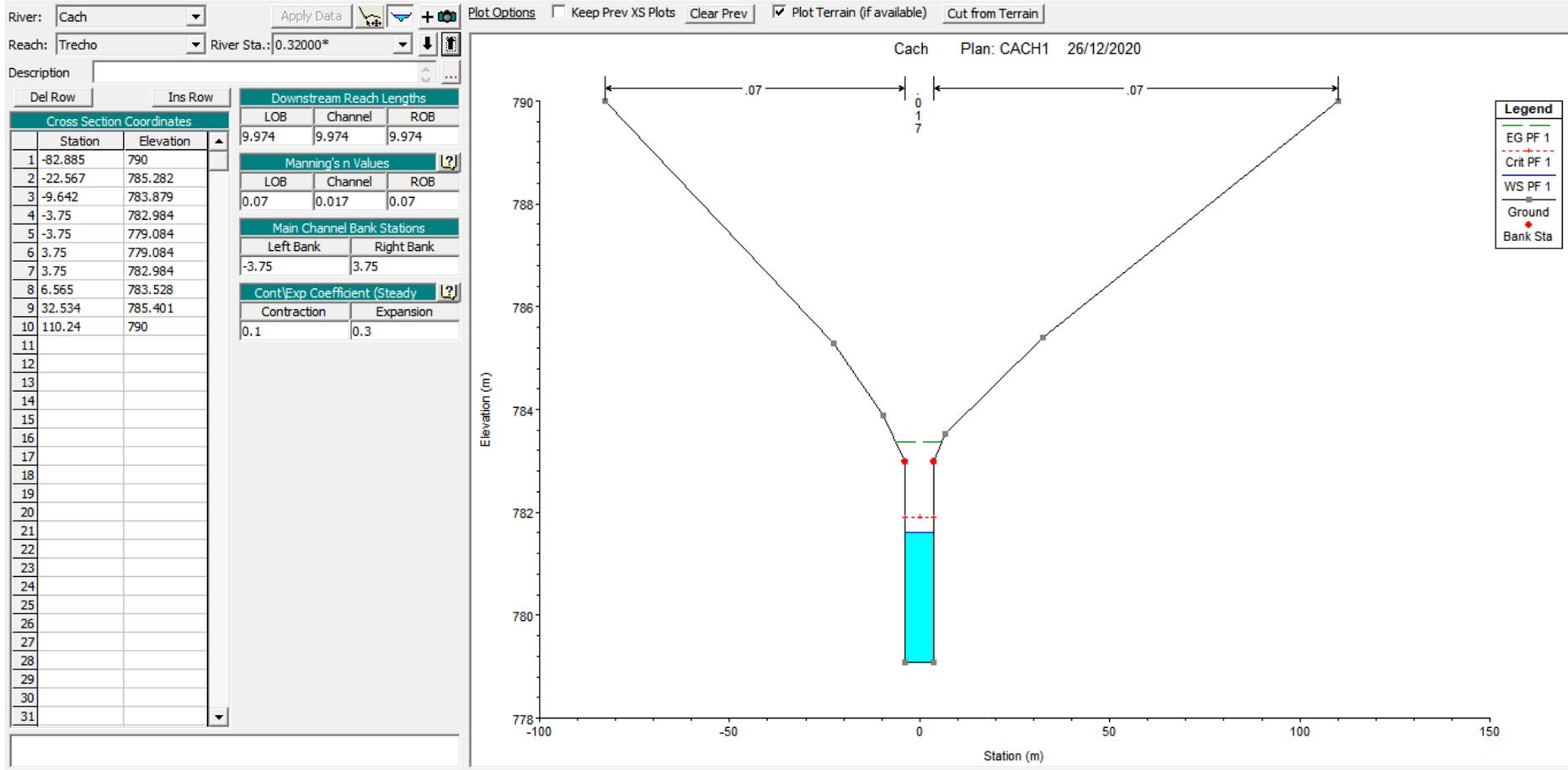
SEÇÃO 0,24



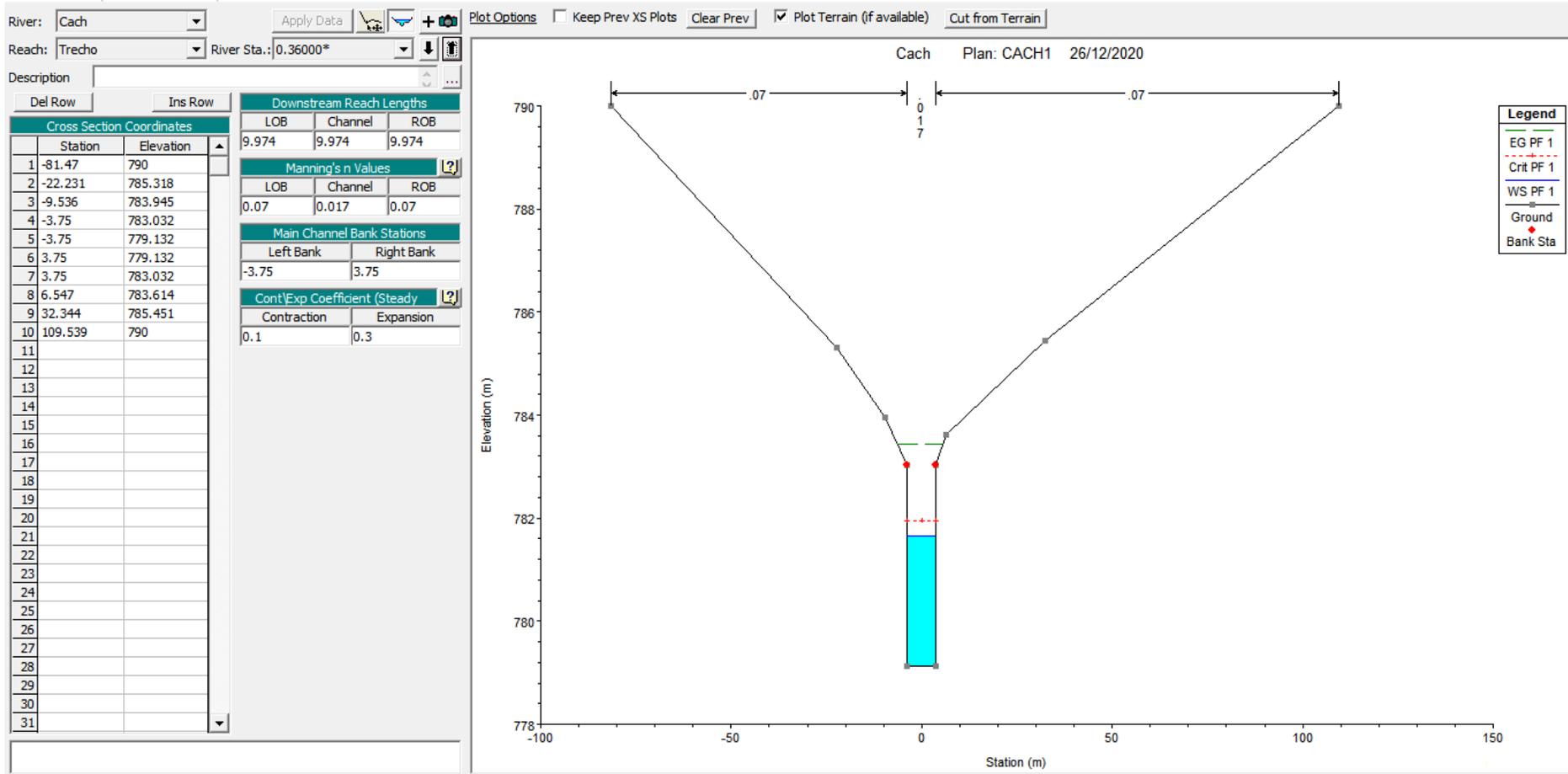
SEÇÃO 0,28



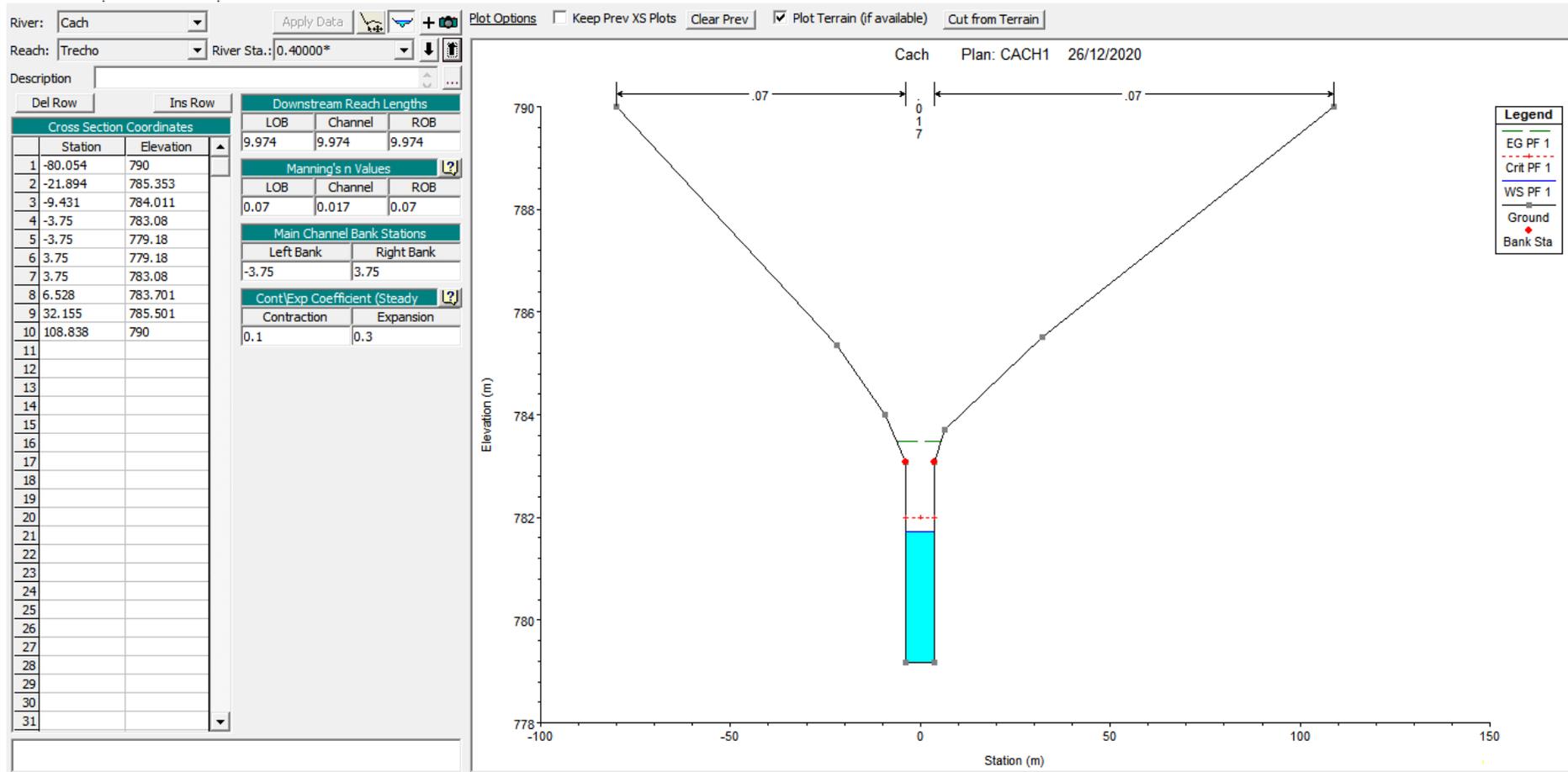
SEÇÃO 0,32



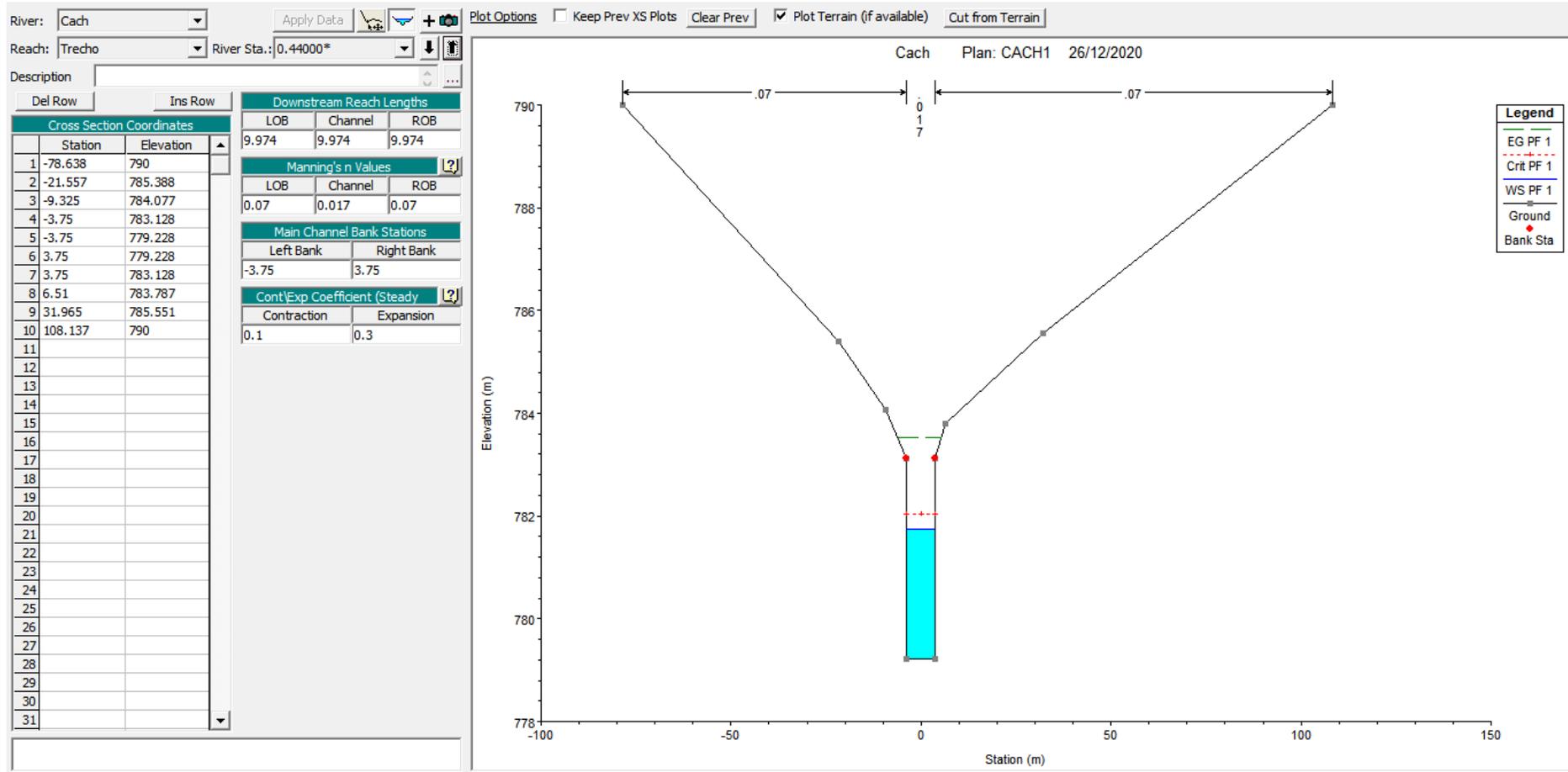
SEÇÃO 0,36



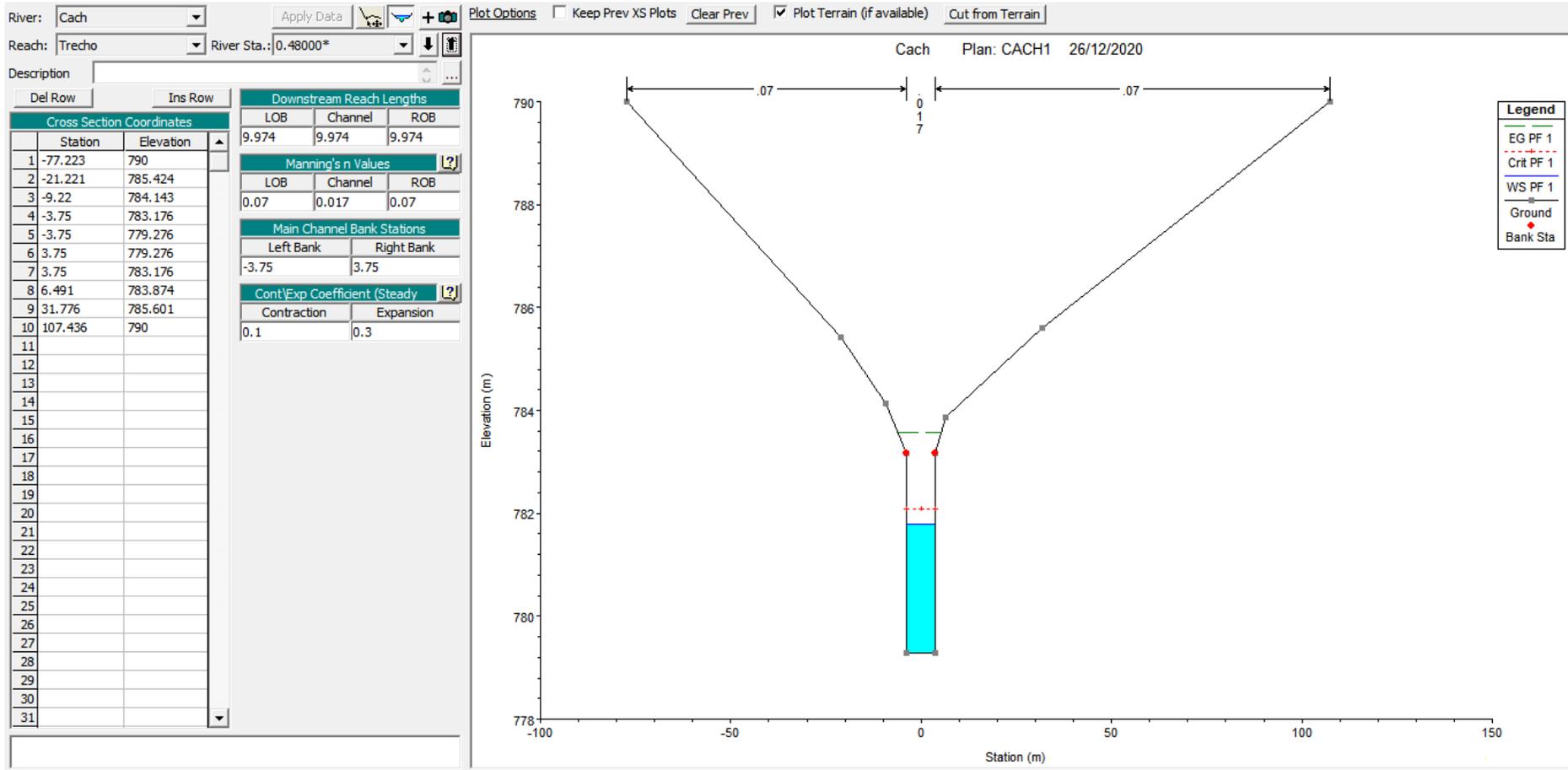
SEÇÃO 0,40



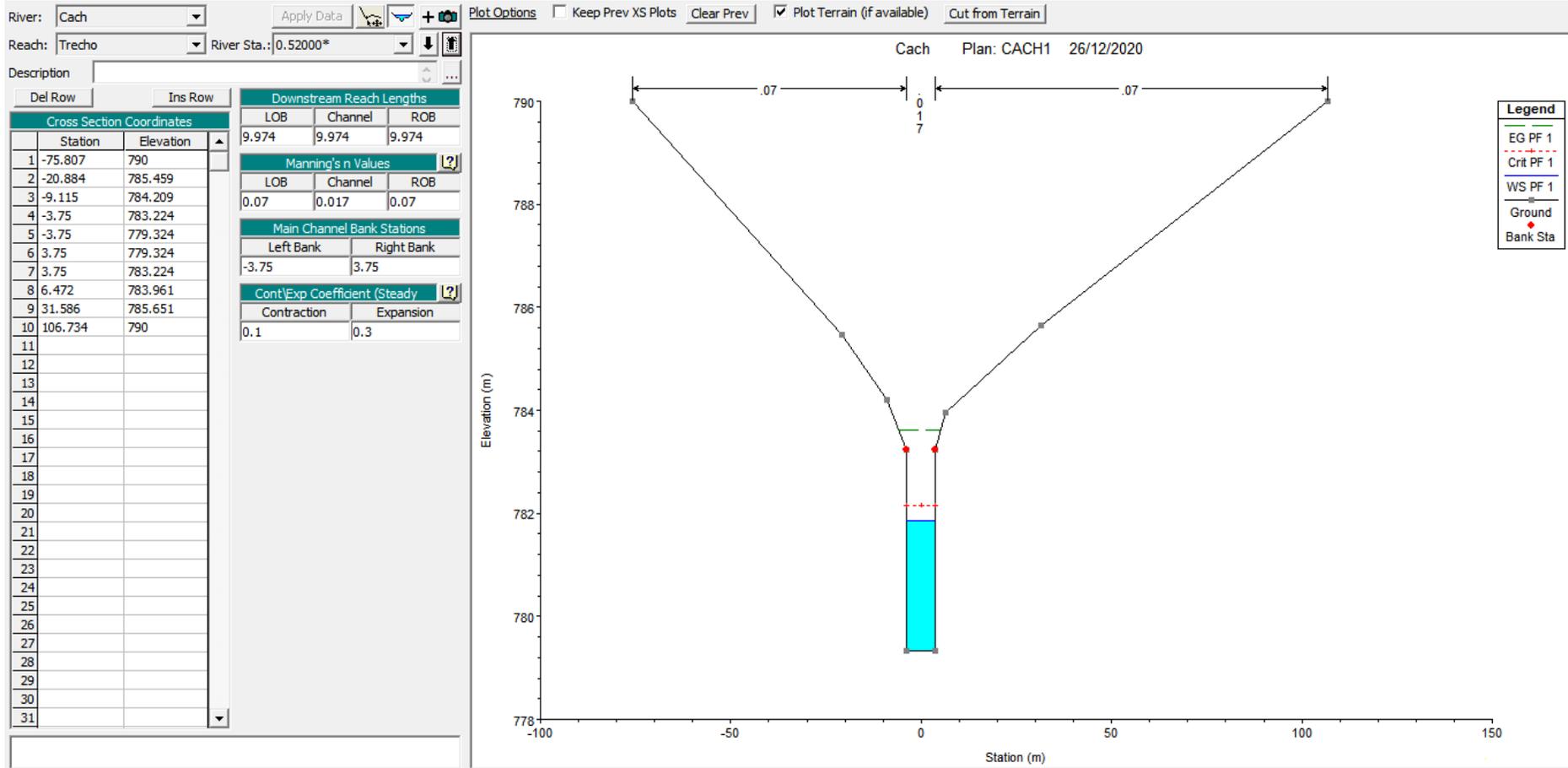
SEÇÃO 0,44



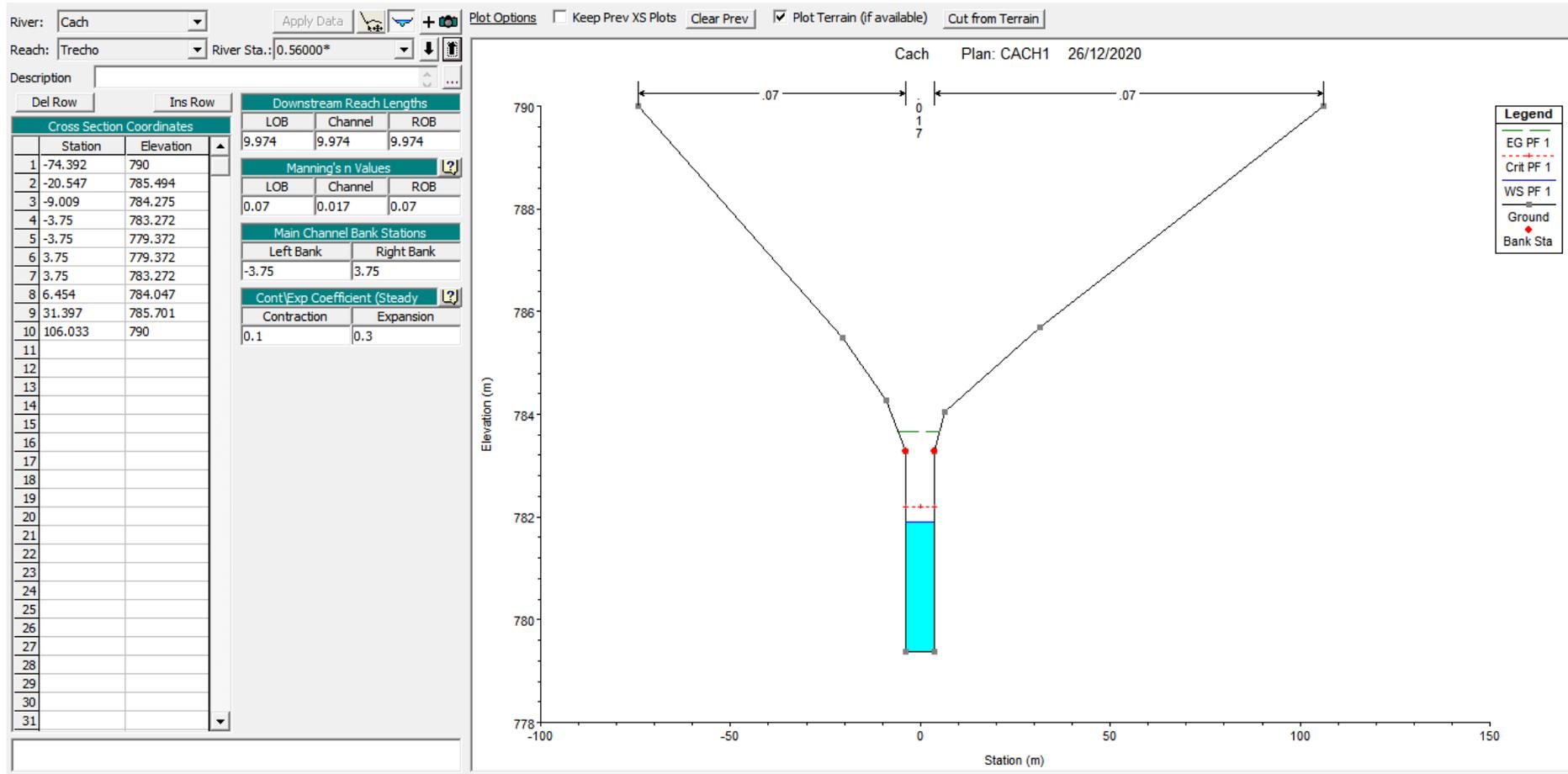
SEÇÃO 0,48



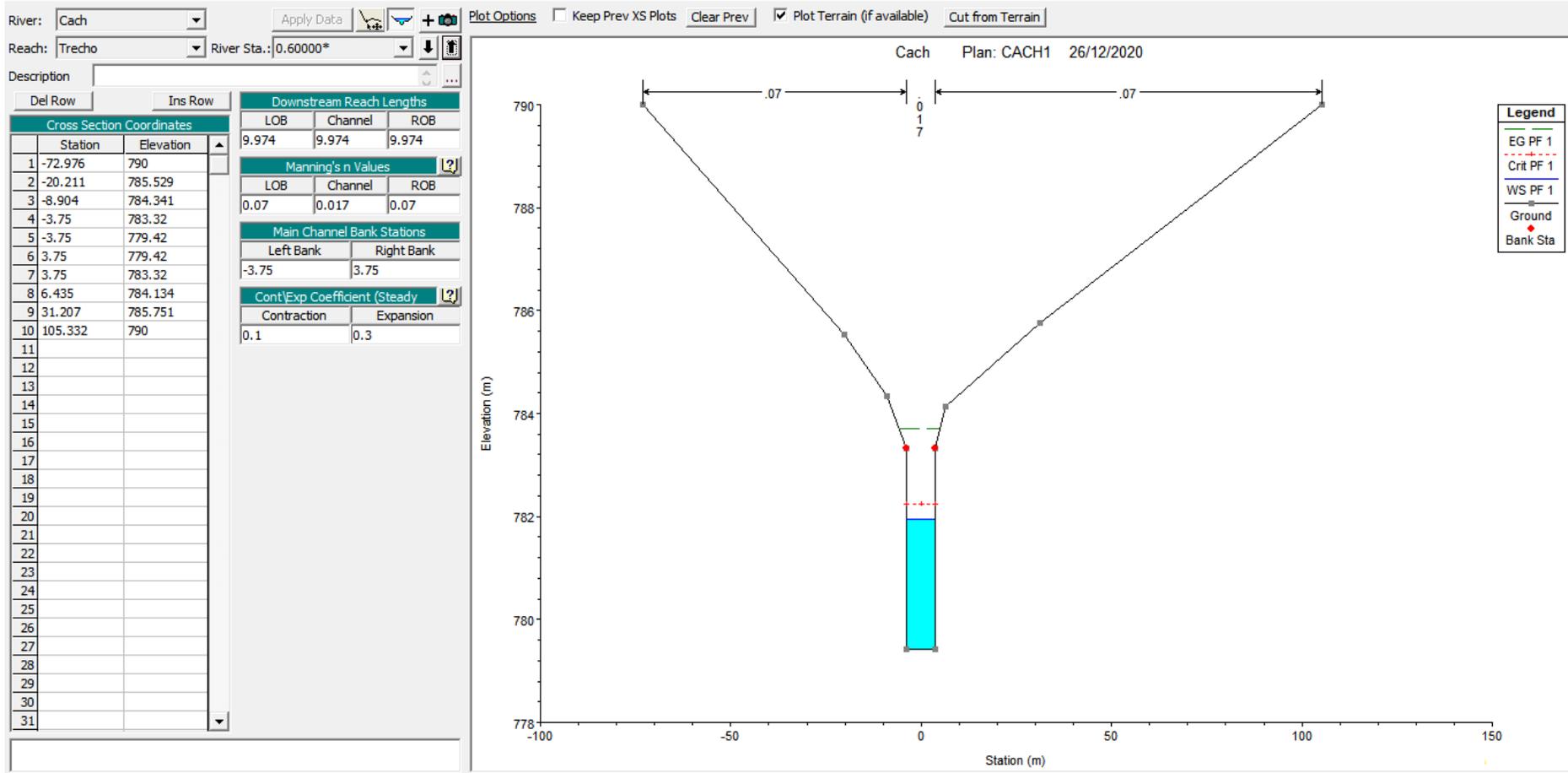
SEÇÃO 0,52



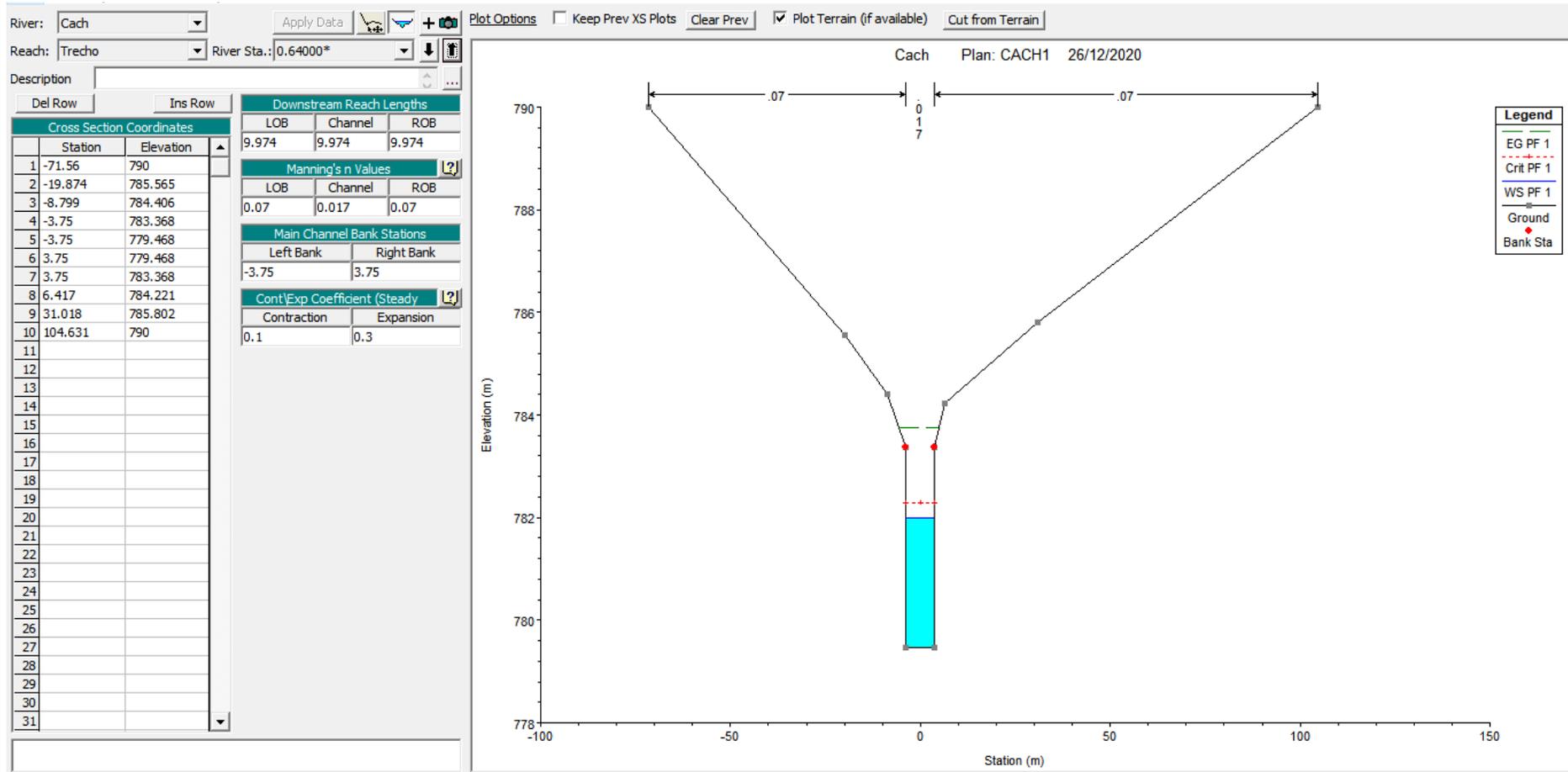
SEÇÃO 0,56



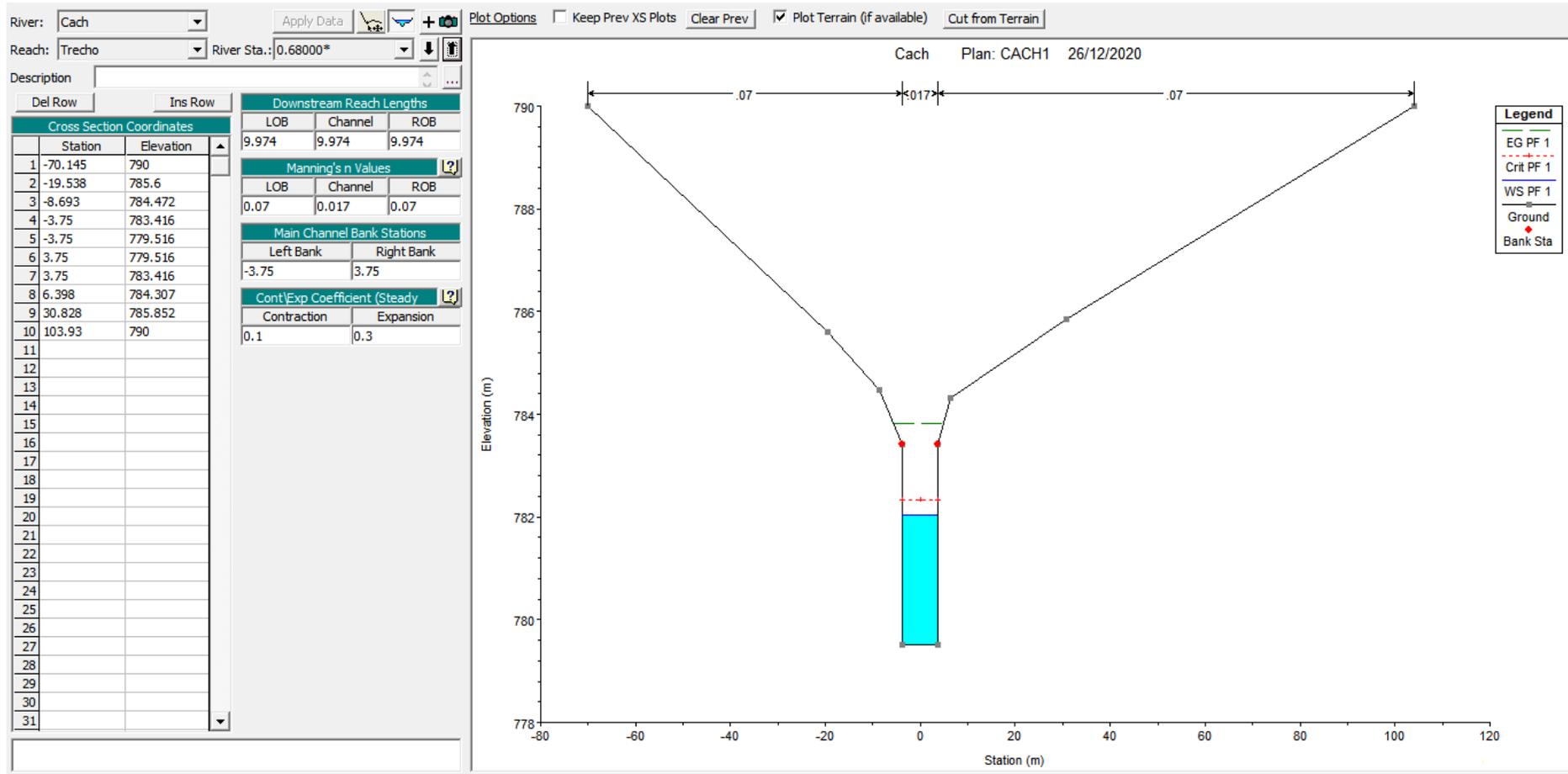
SEÇÃO 0,60



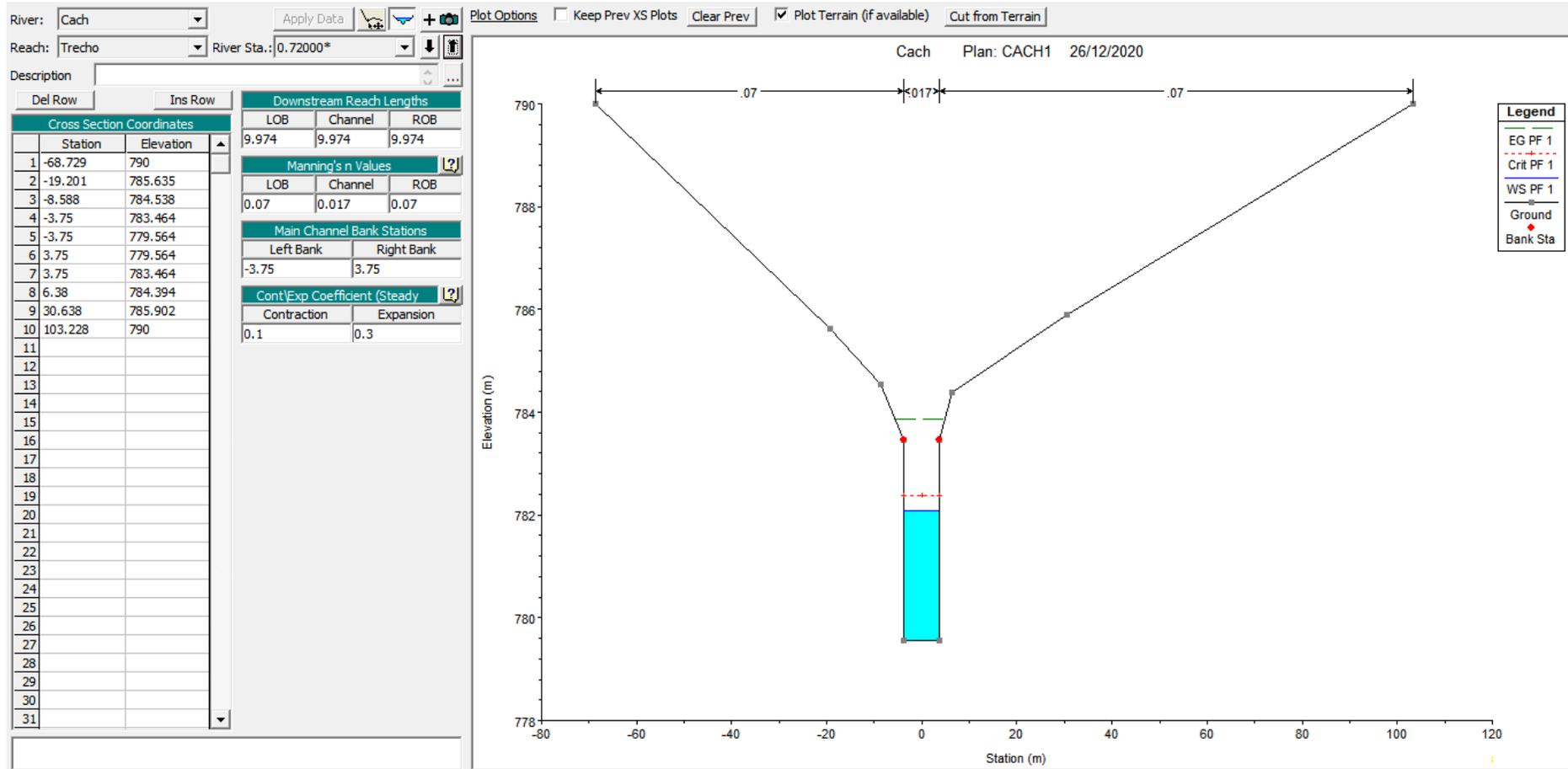
SEÇÃO 0,64



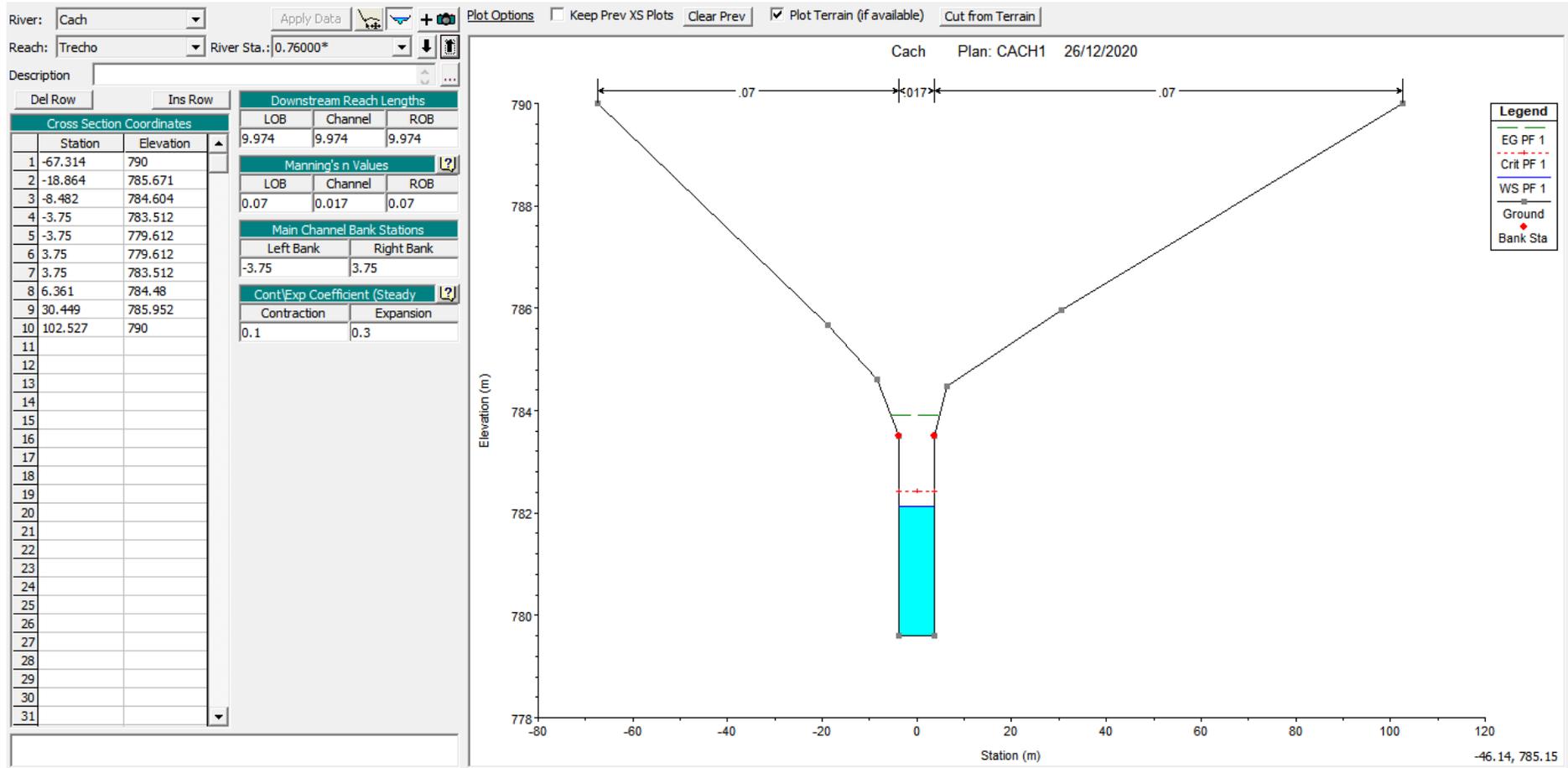
SEÇÃO 0,68



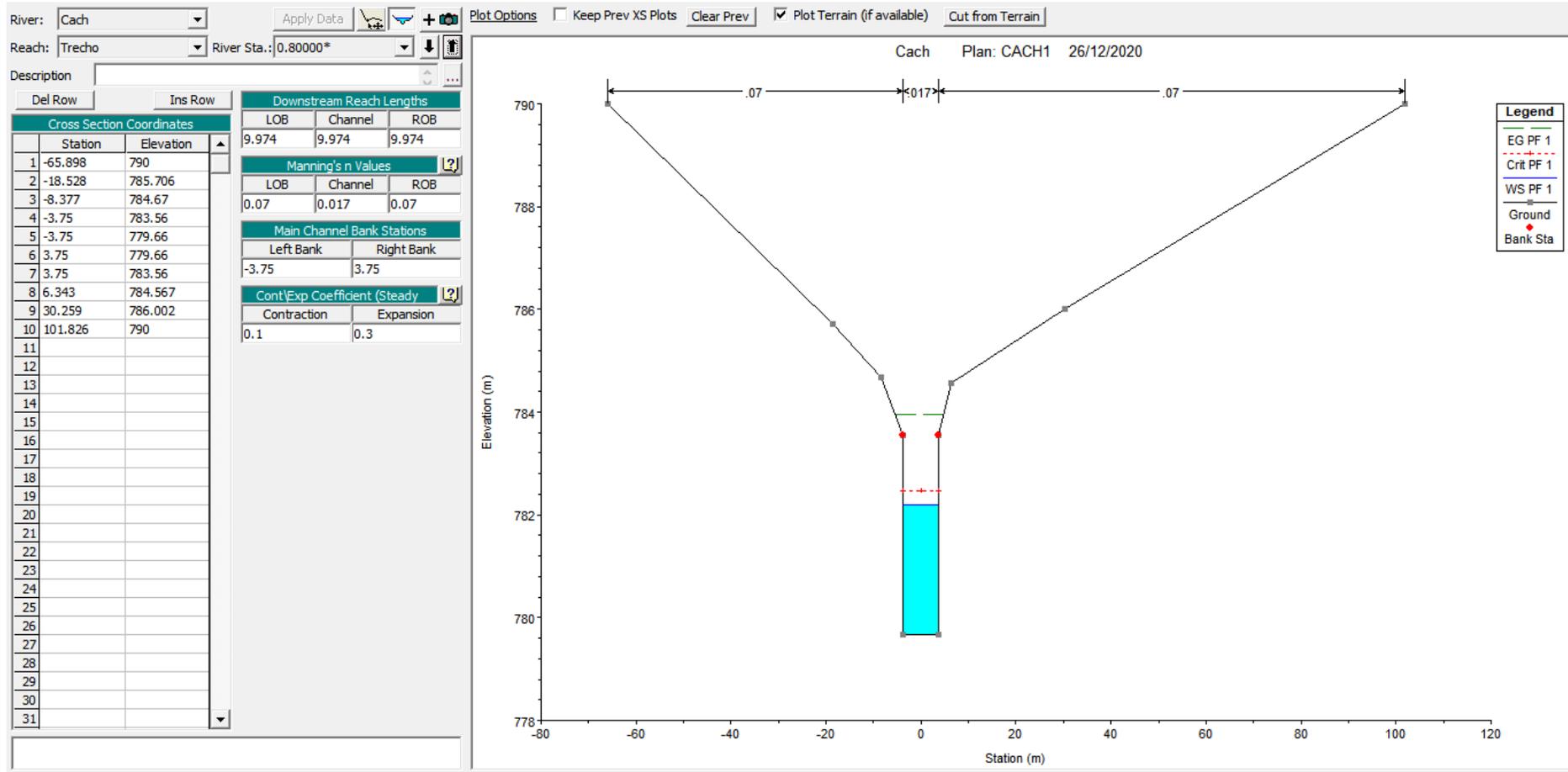
SEÇÃO 0,72



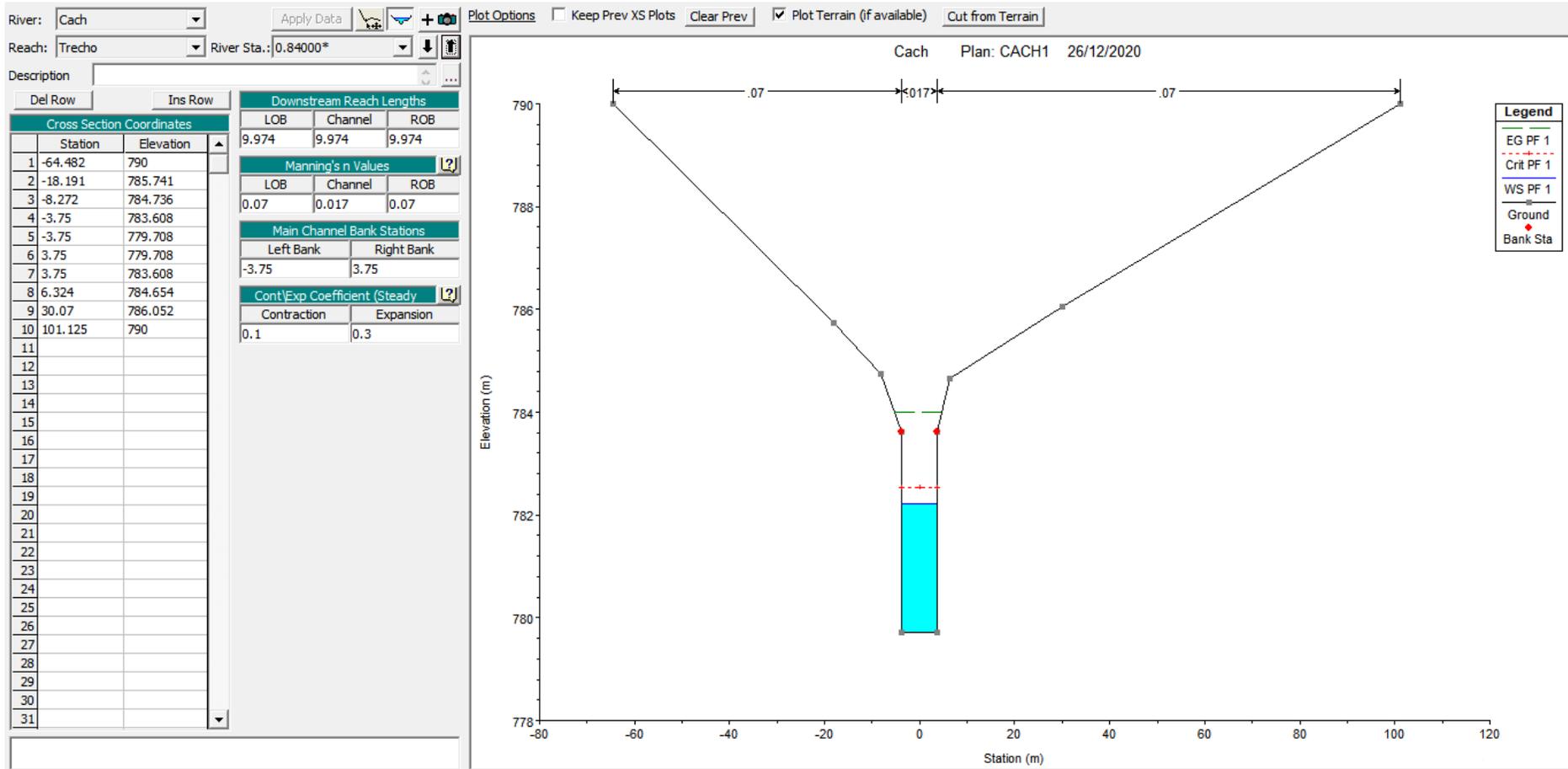
SEÇÃO 0,76



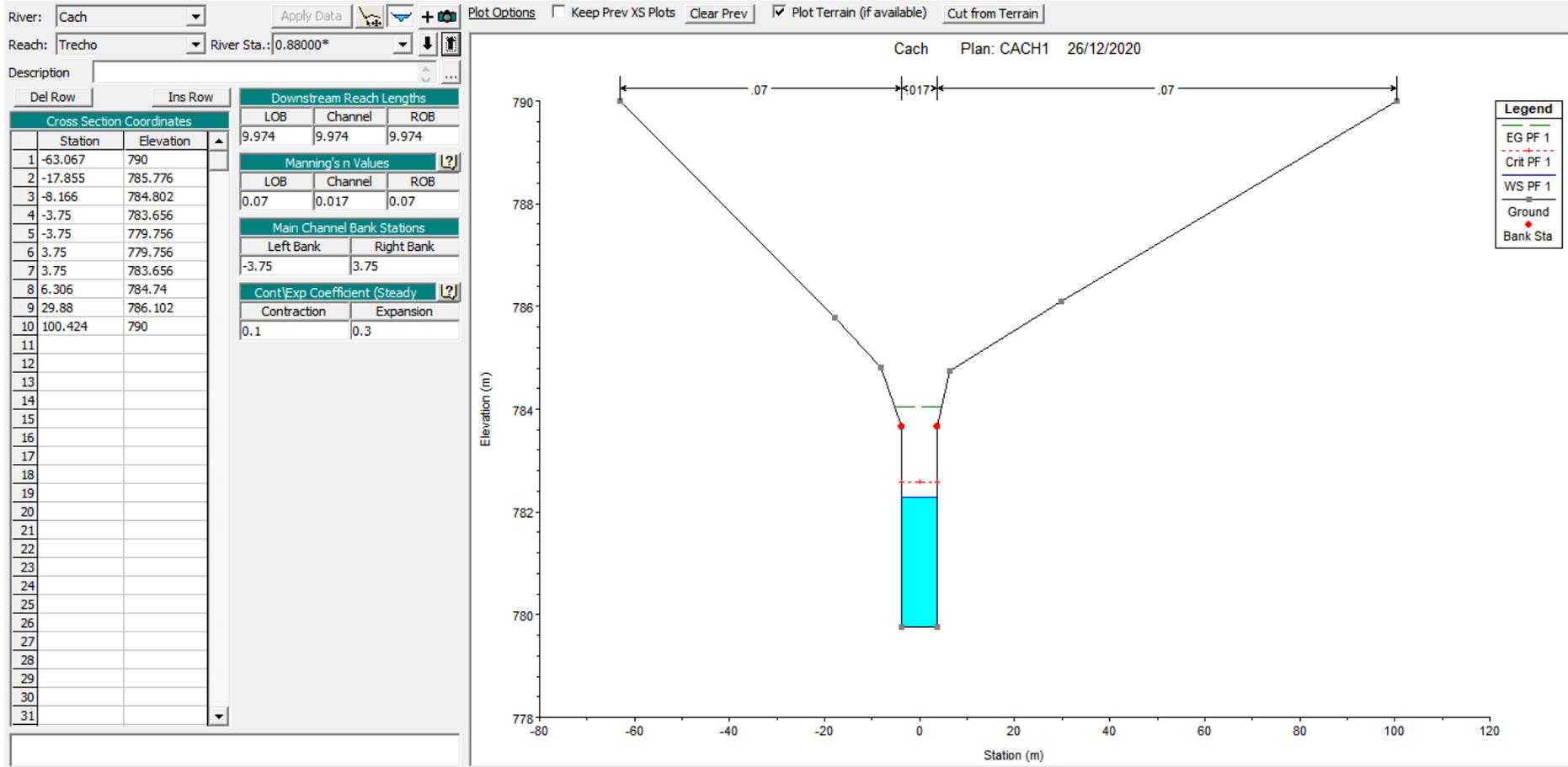
SEÇÃO 0,80



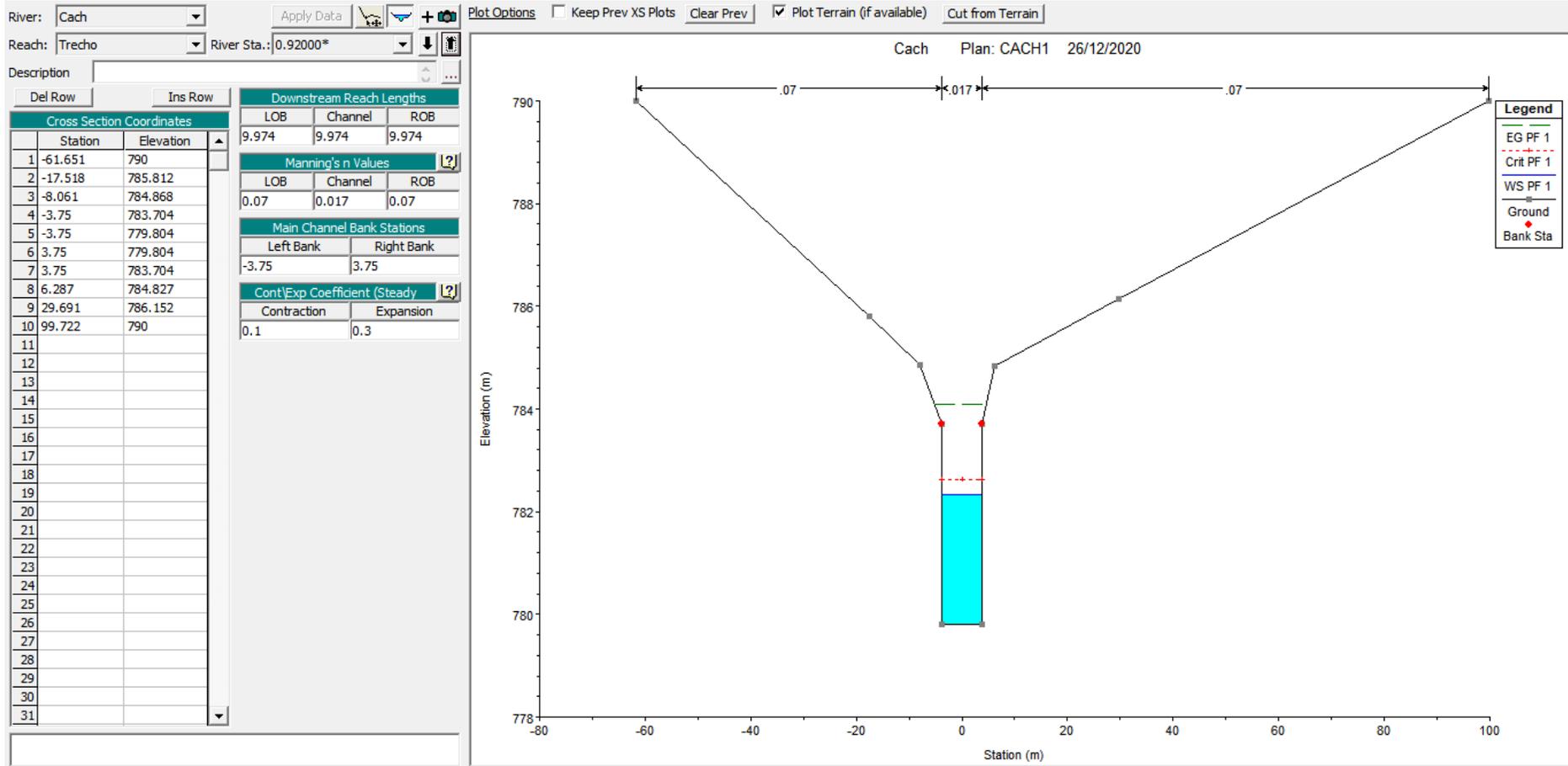
SEÇÃO 0,84



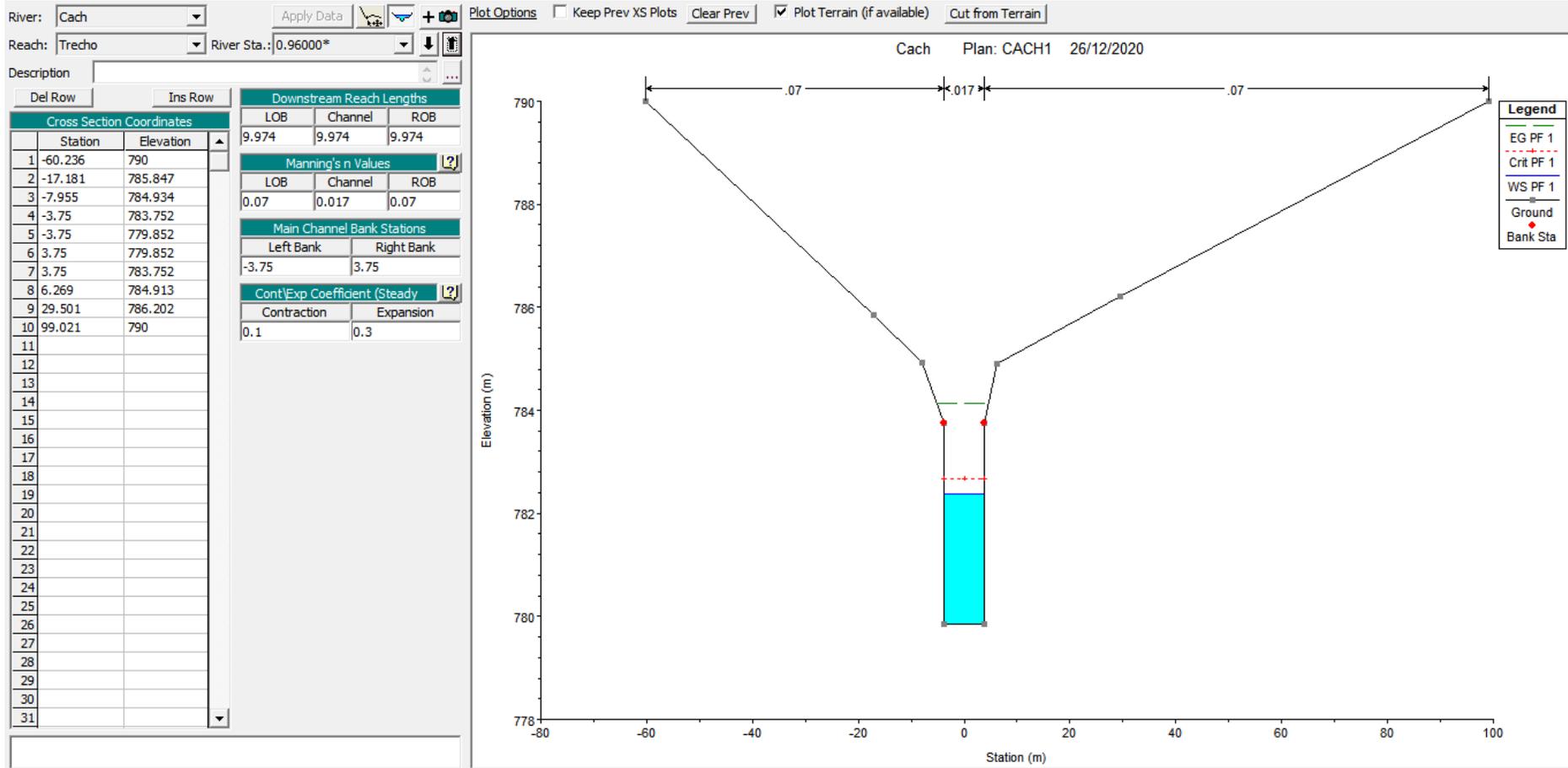
SEÇÃO 0,88



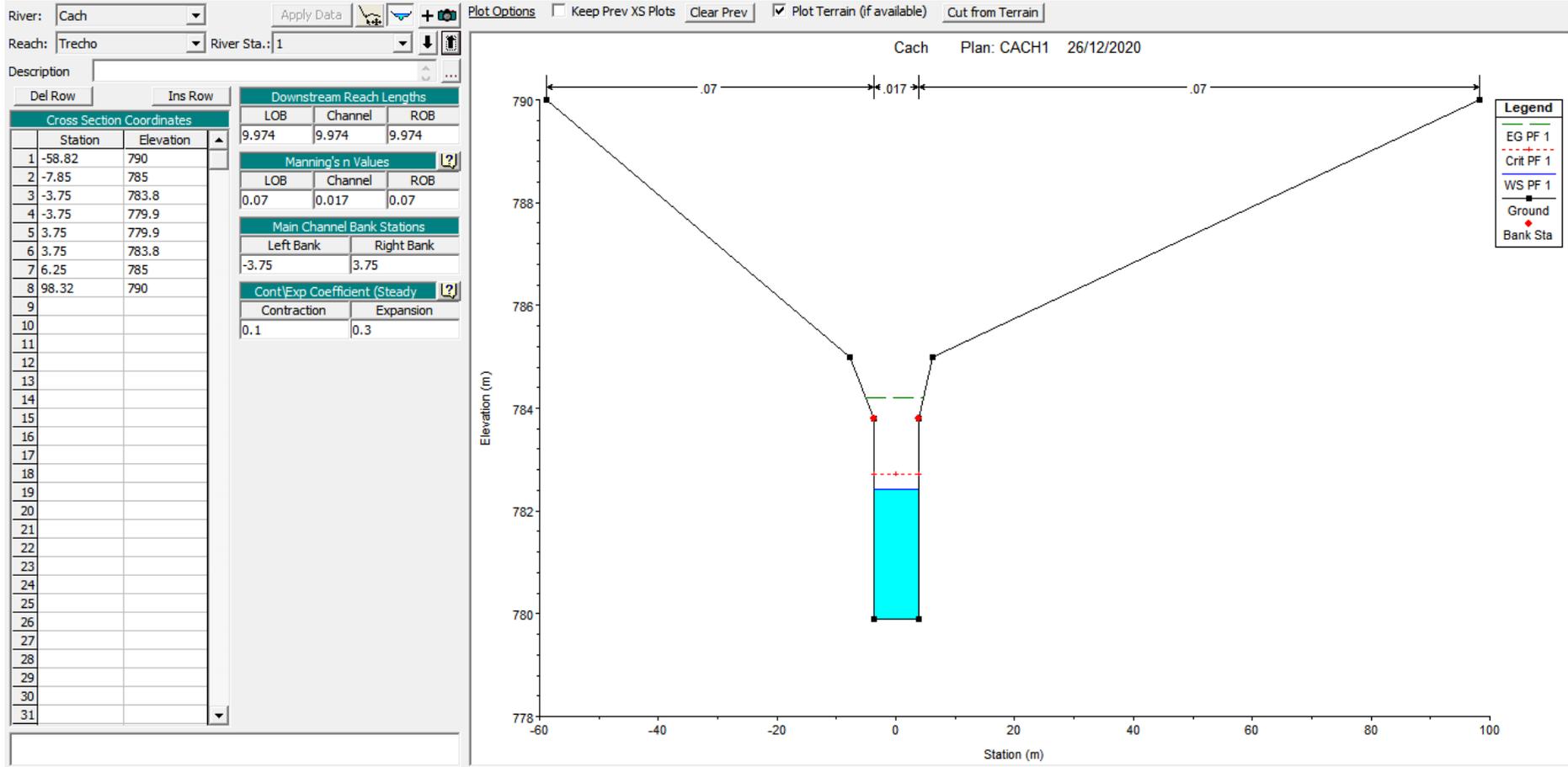
SEÇÃO 0,92



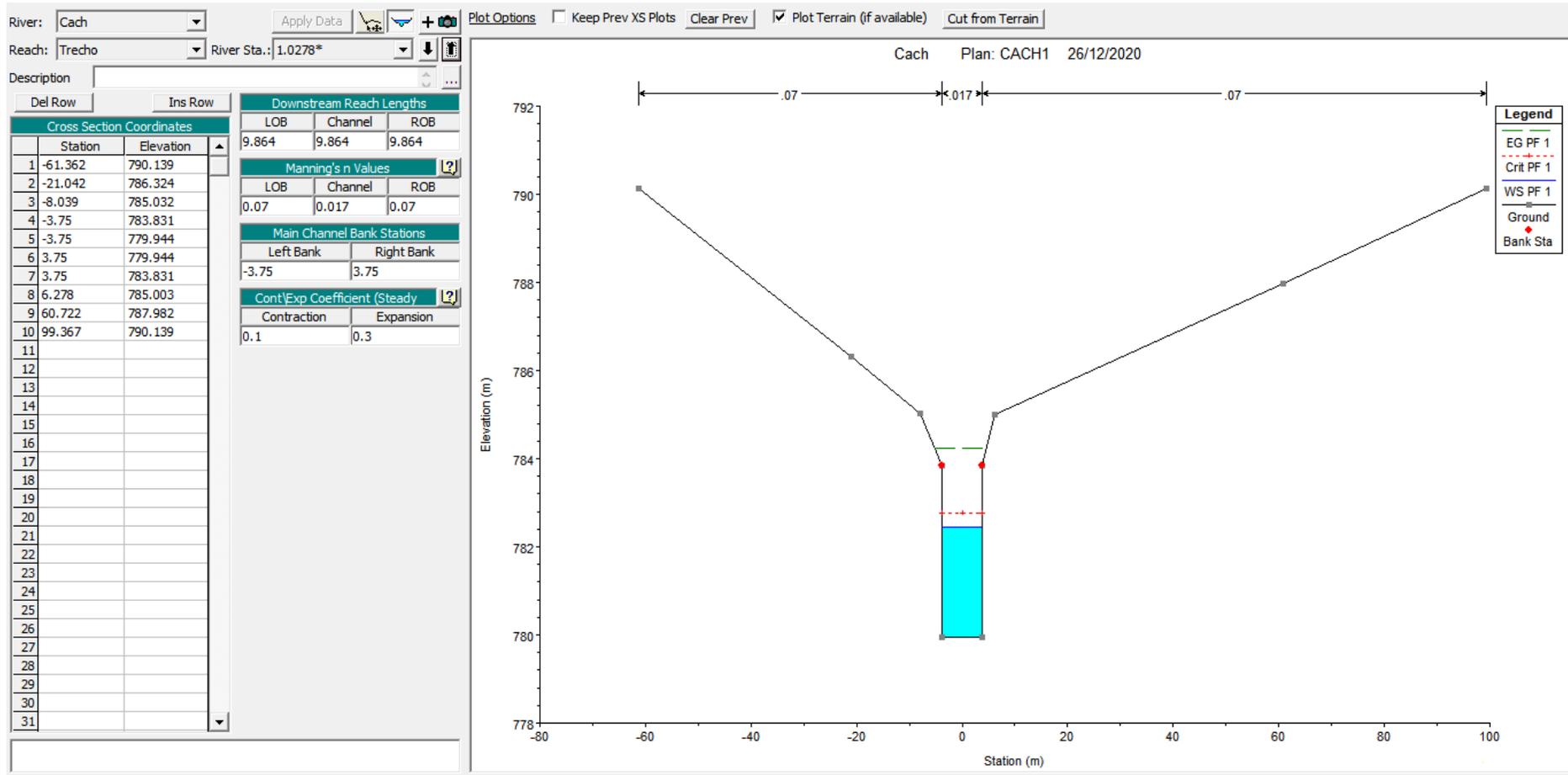
SEÇÃO 0,96



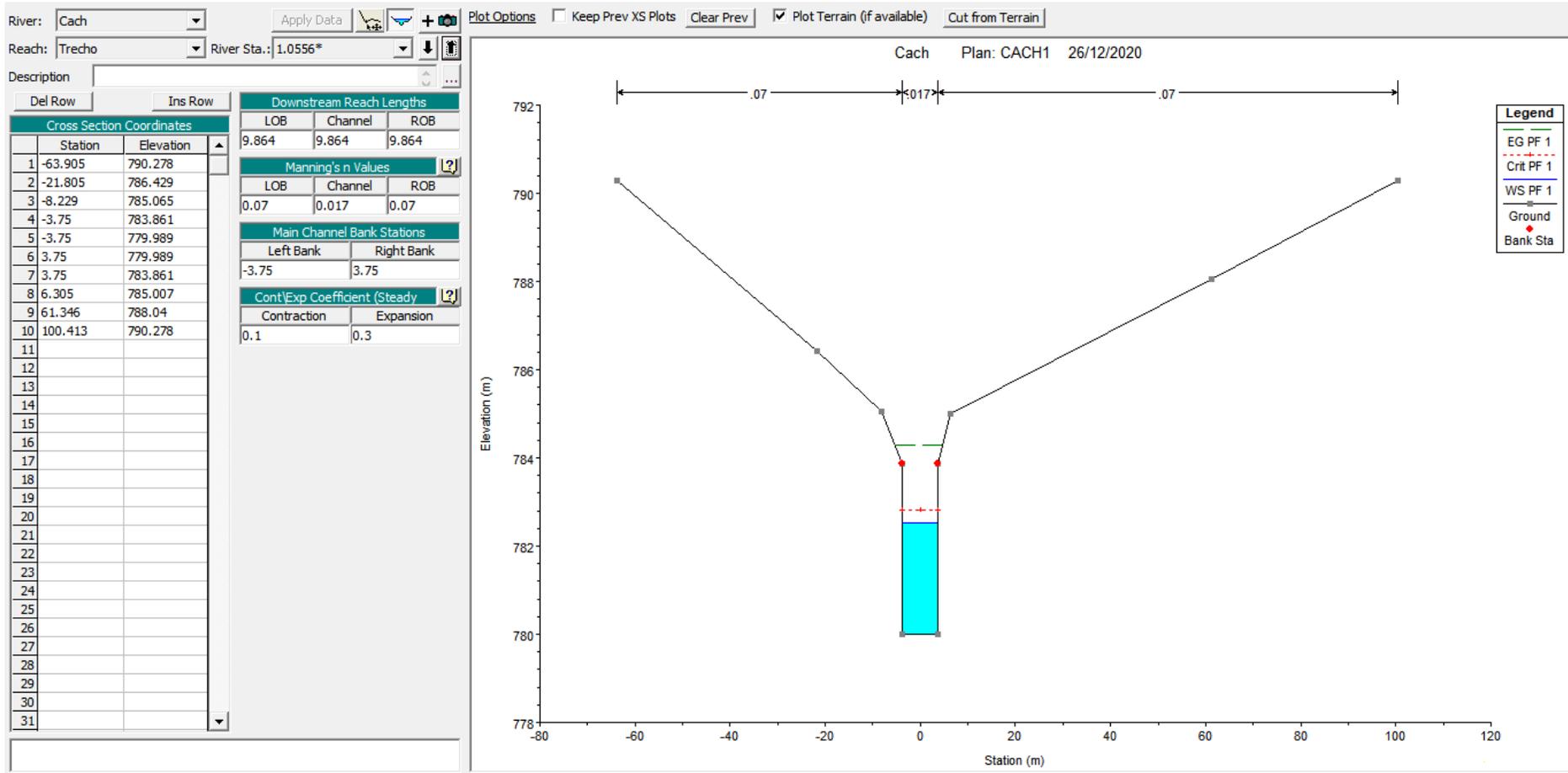
SEÇÃO 1



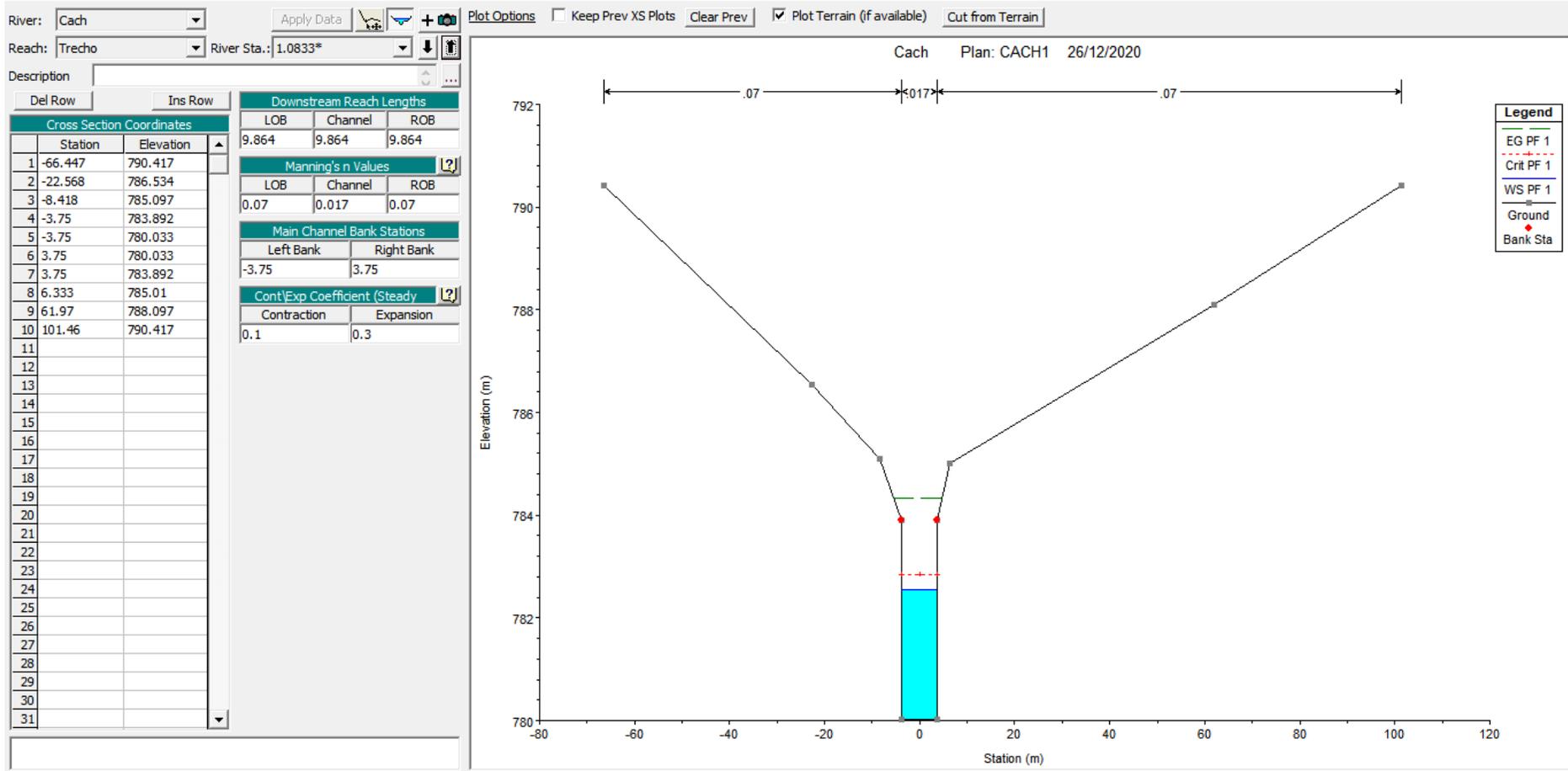
SEÇÃO 1,0278



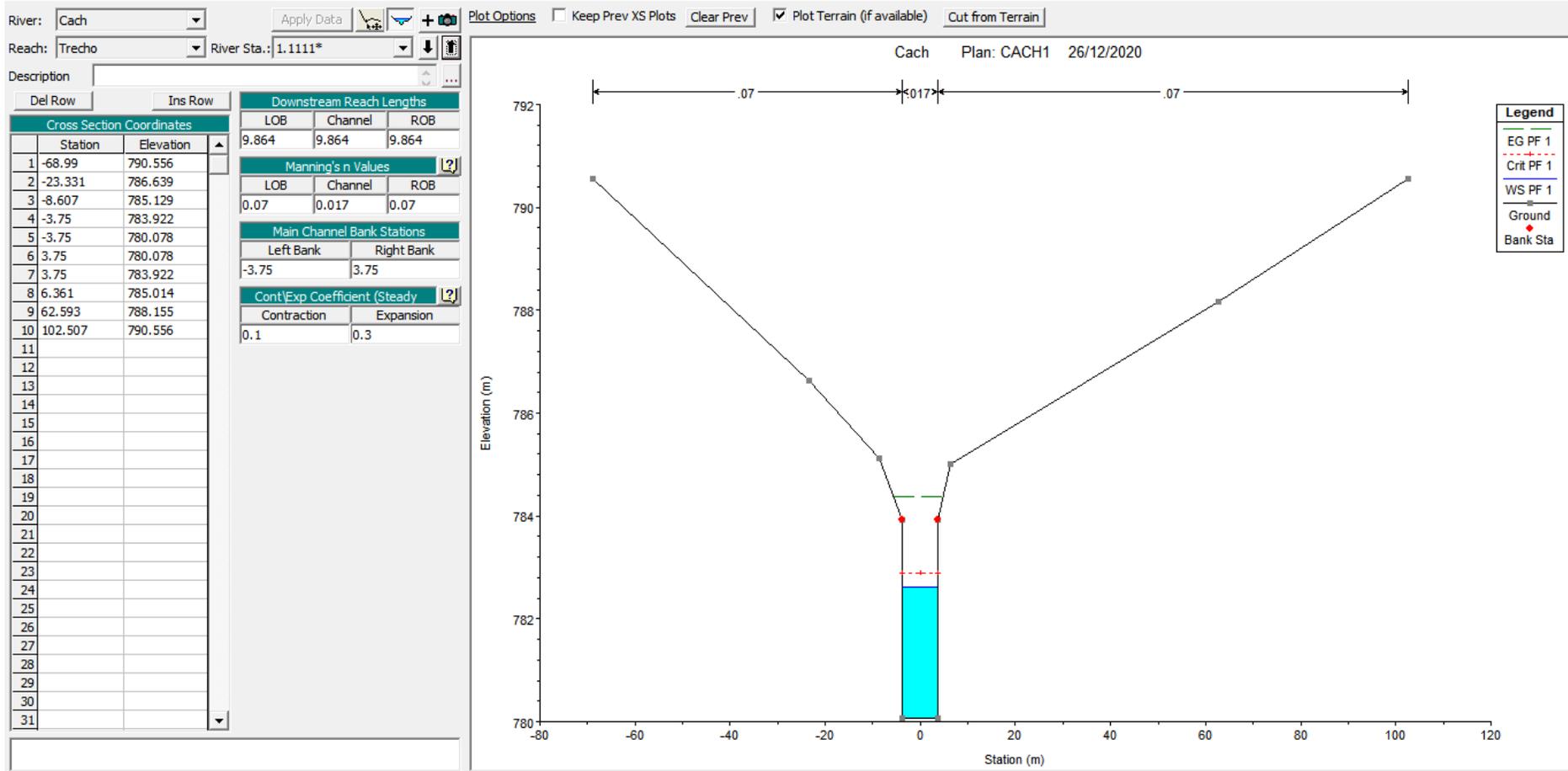
SEÇÃO 1,0556



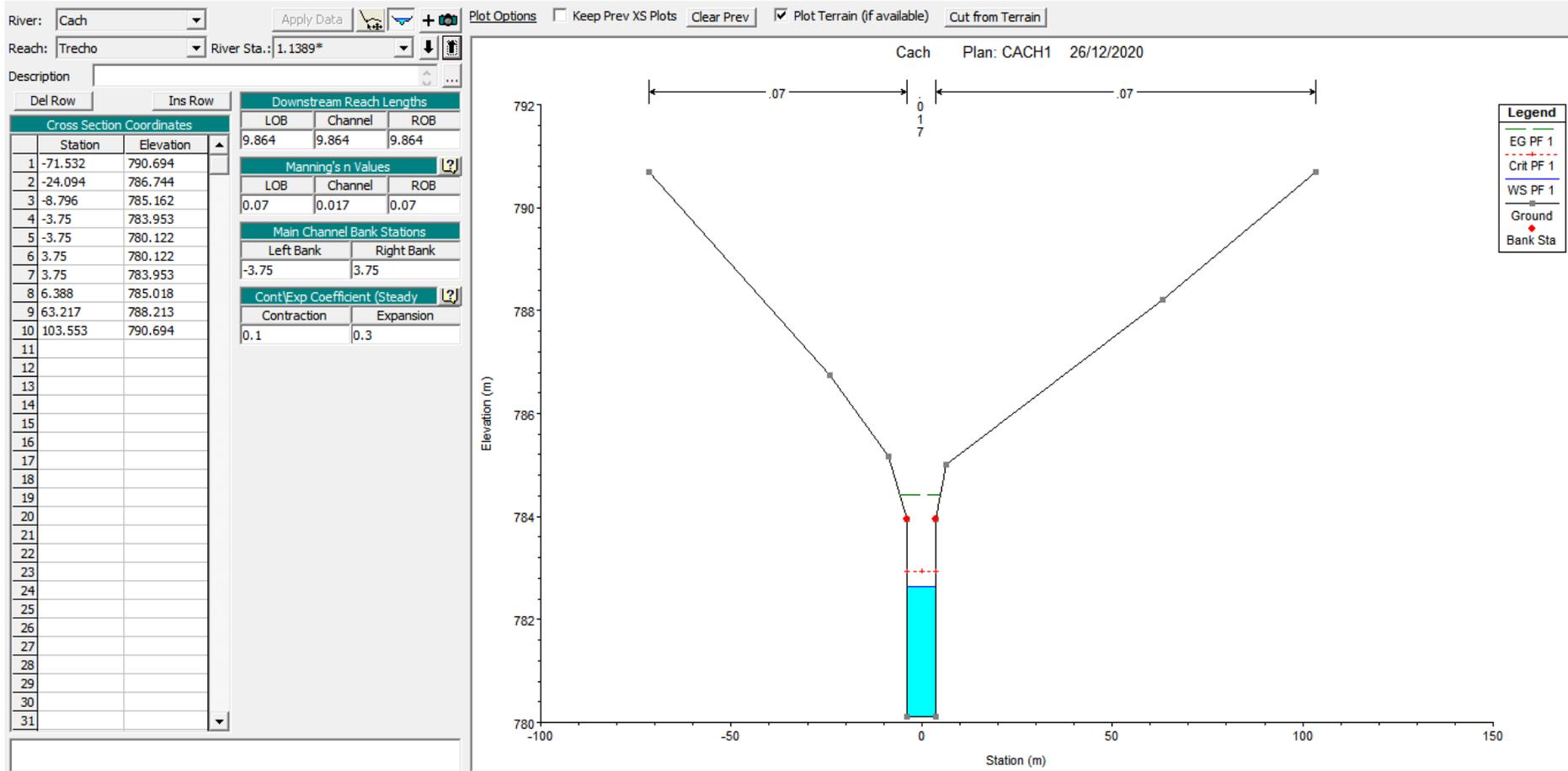
SEÇÃO 1,0833



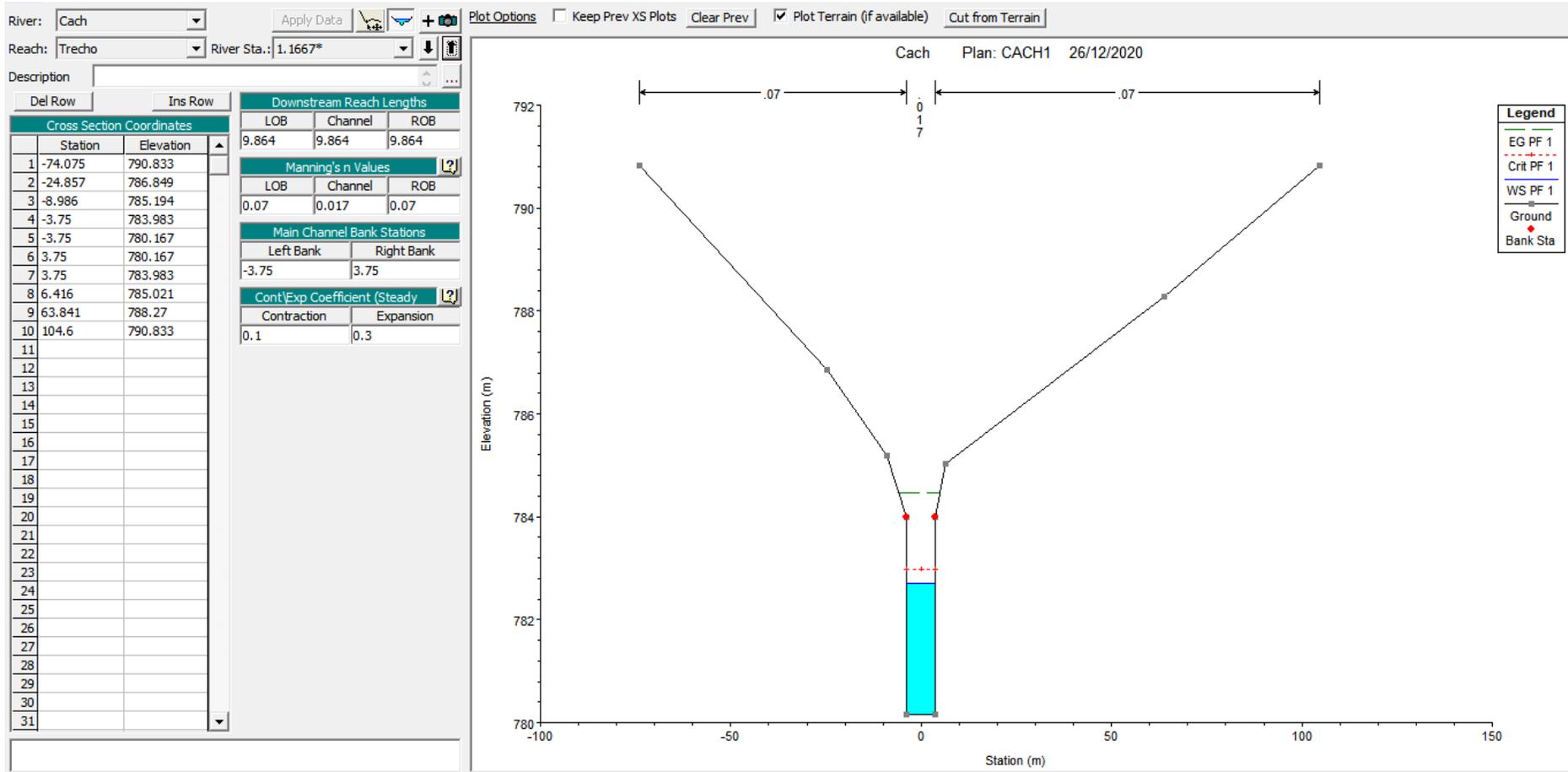
SEÇÃO 1,111



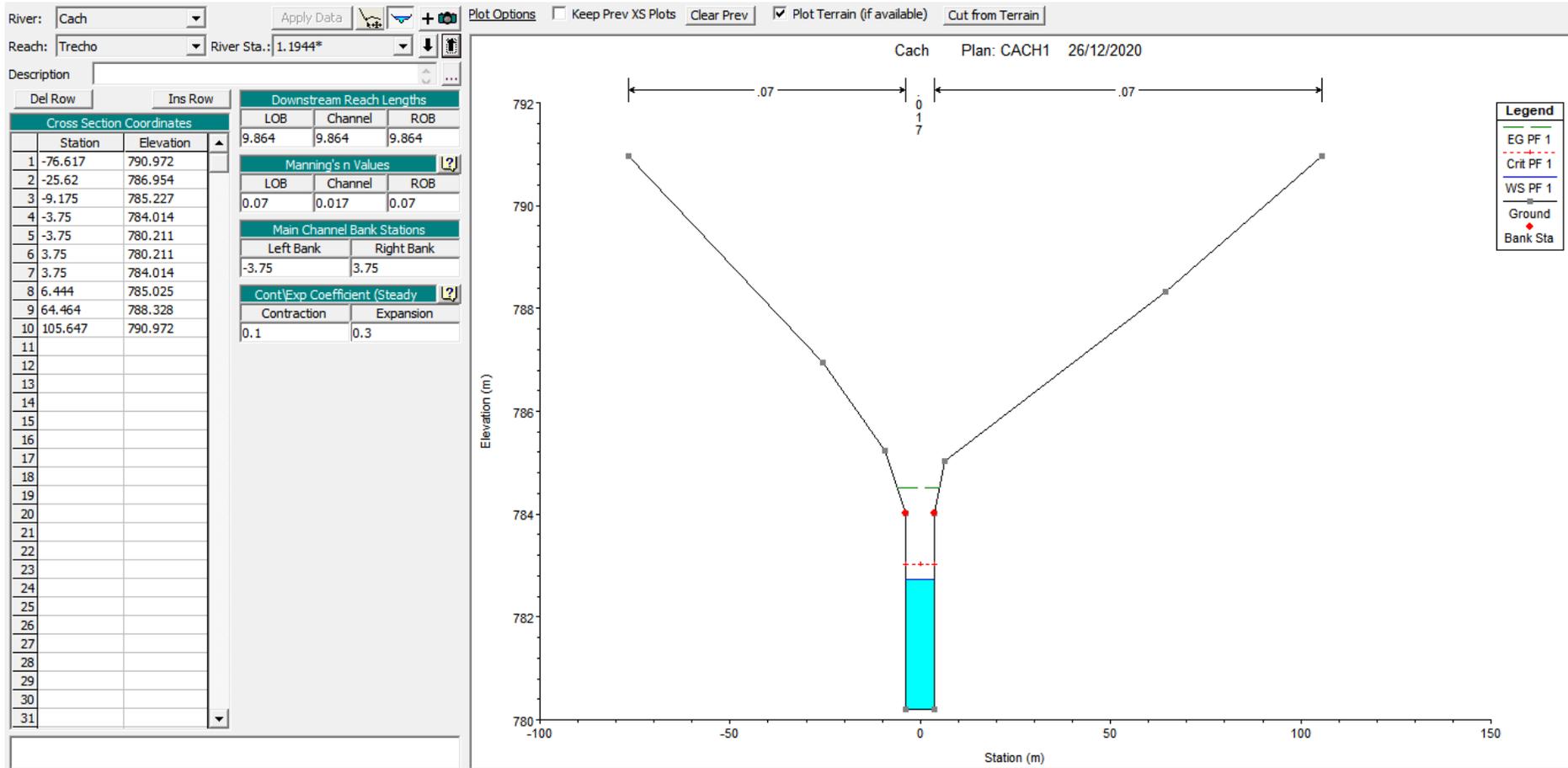
SEÇÃO 1,1389



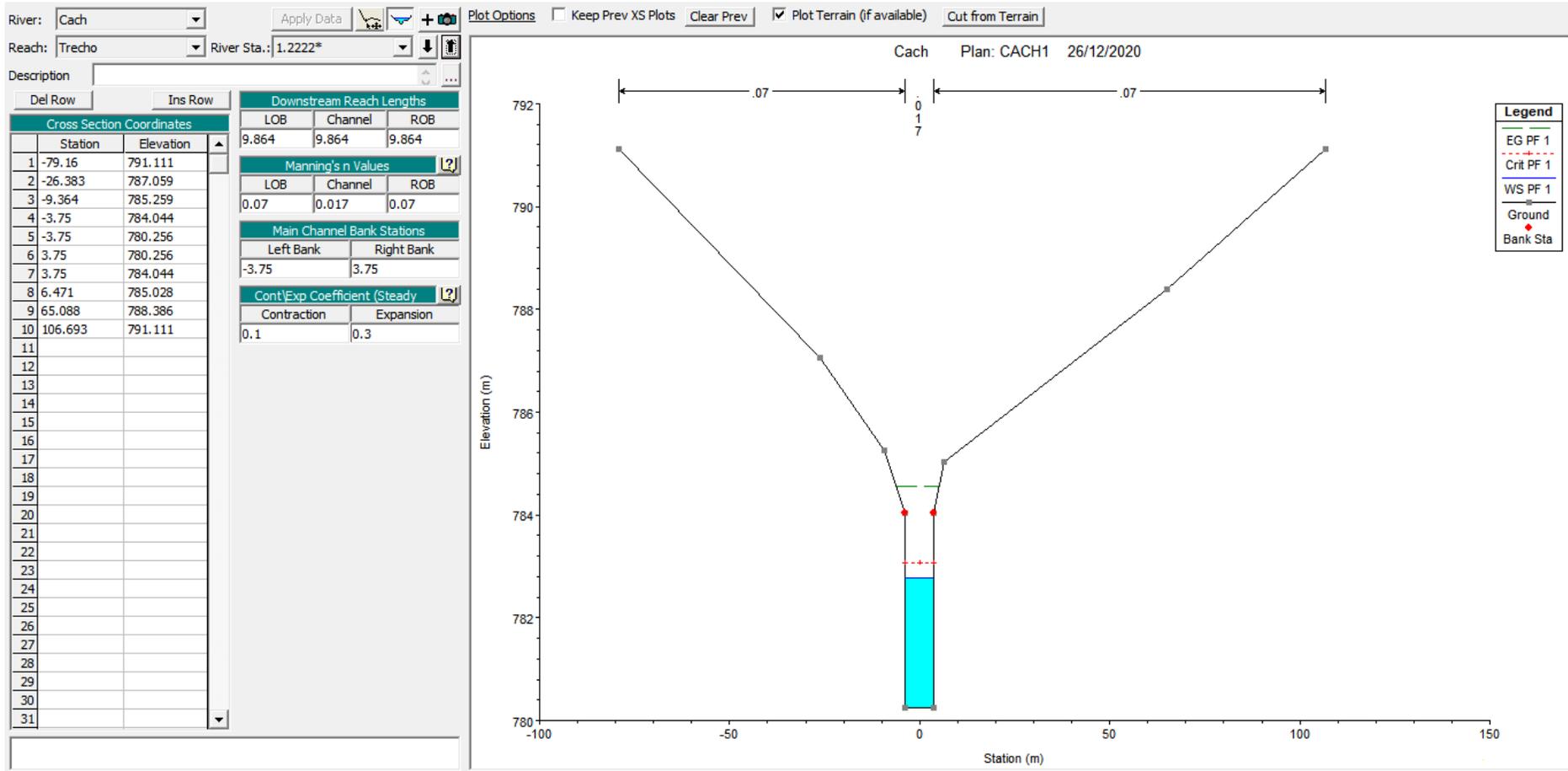
SEÇÃO 1,1667



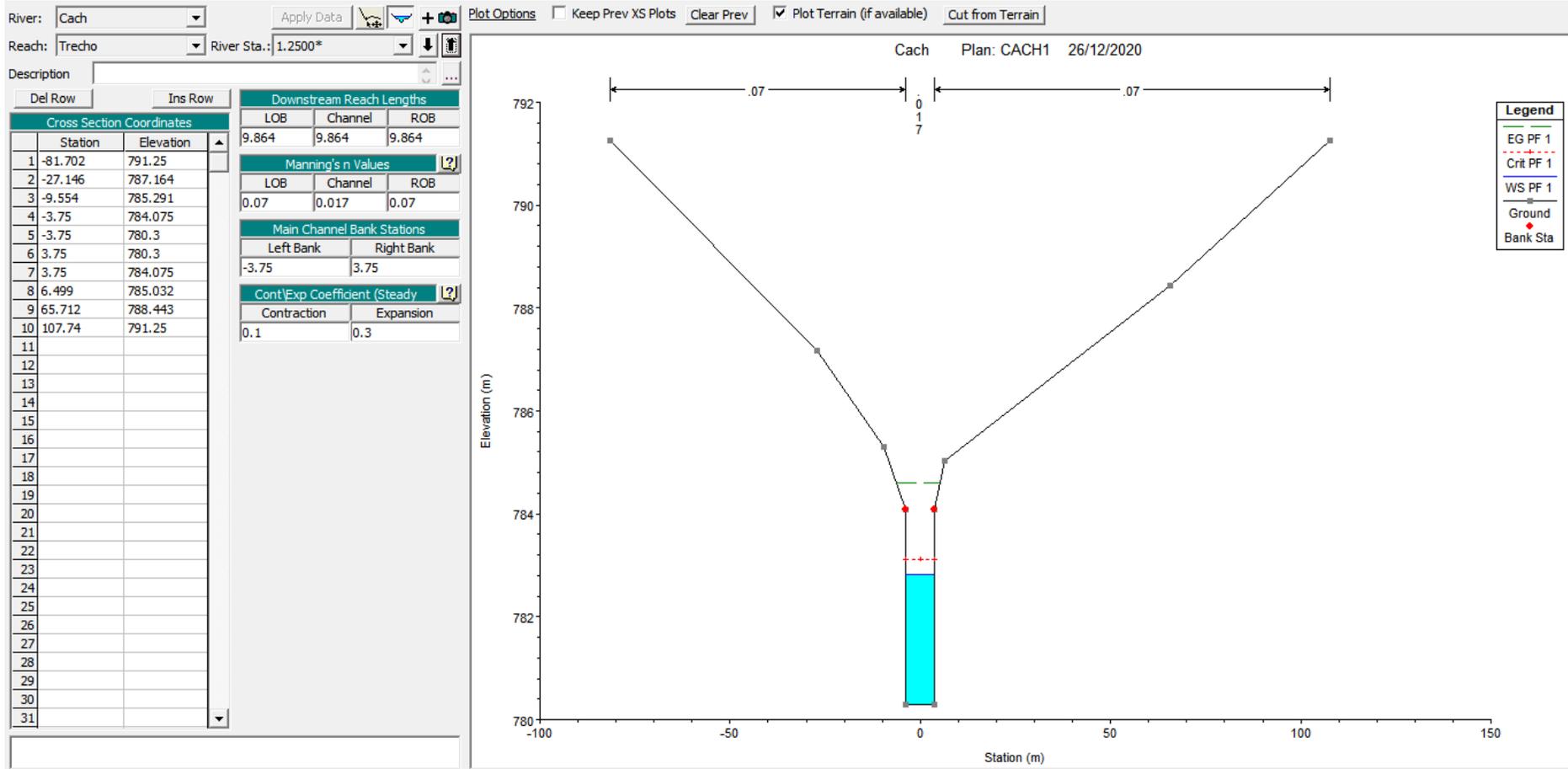
SEÇÃO 1,1944



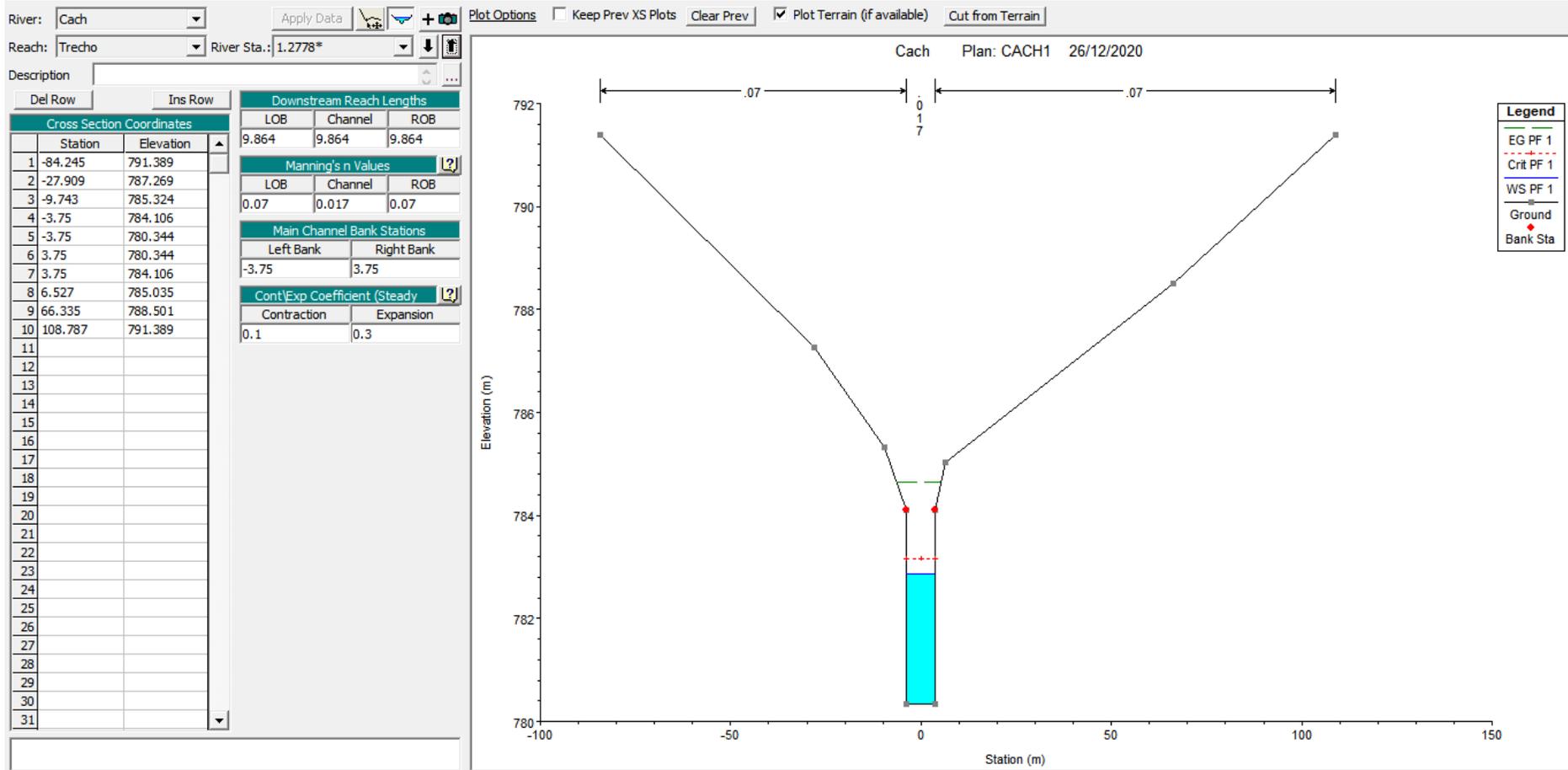
SEÇÃO 1,2222



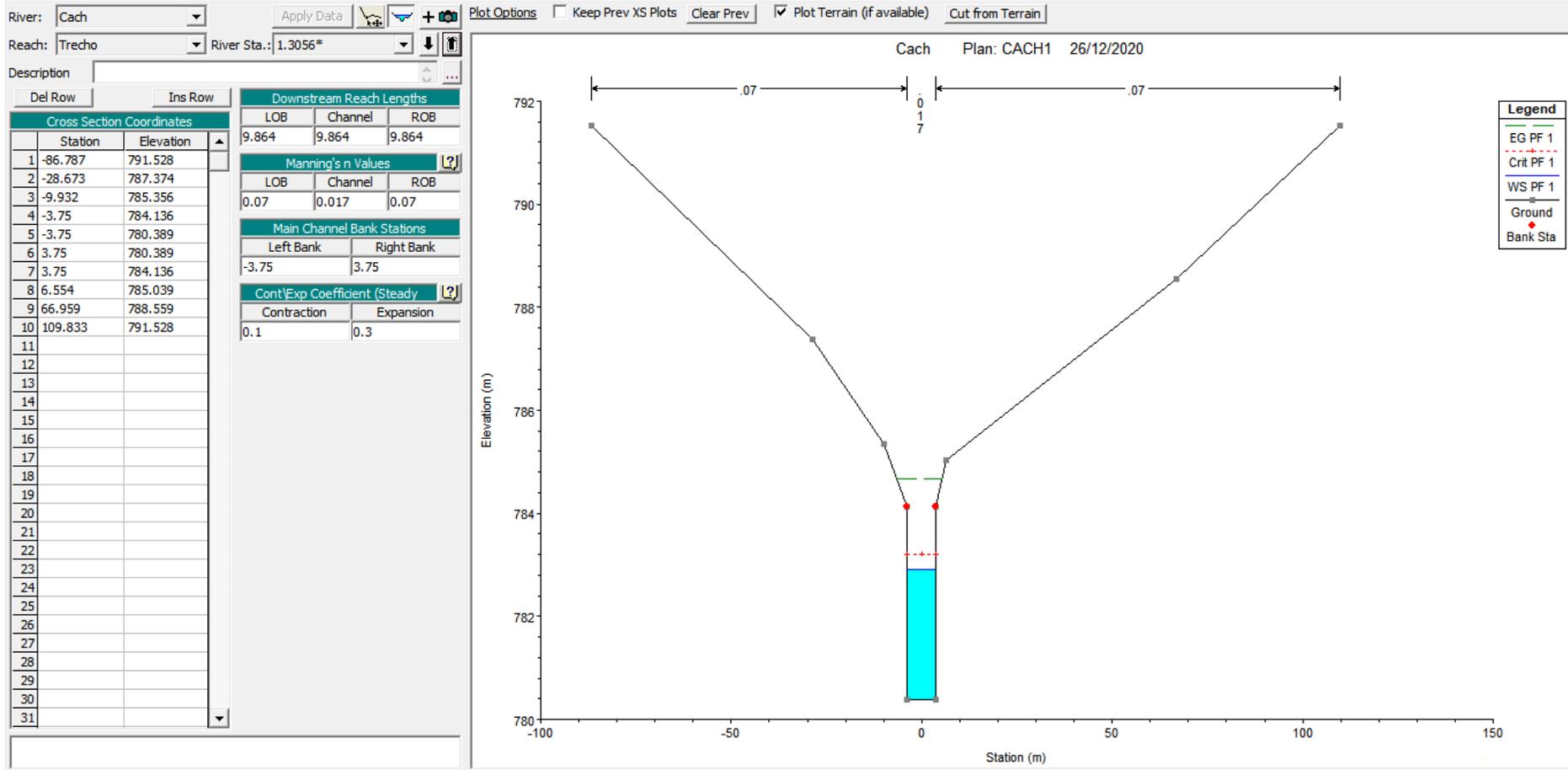
SEÇÃO 1,2500



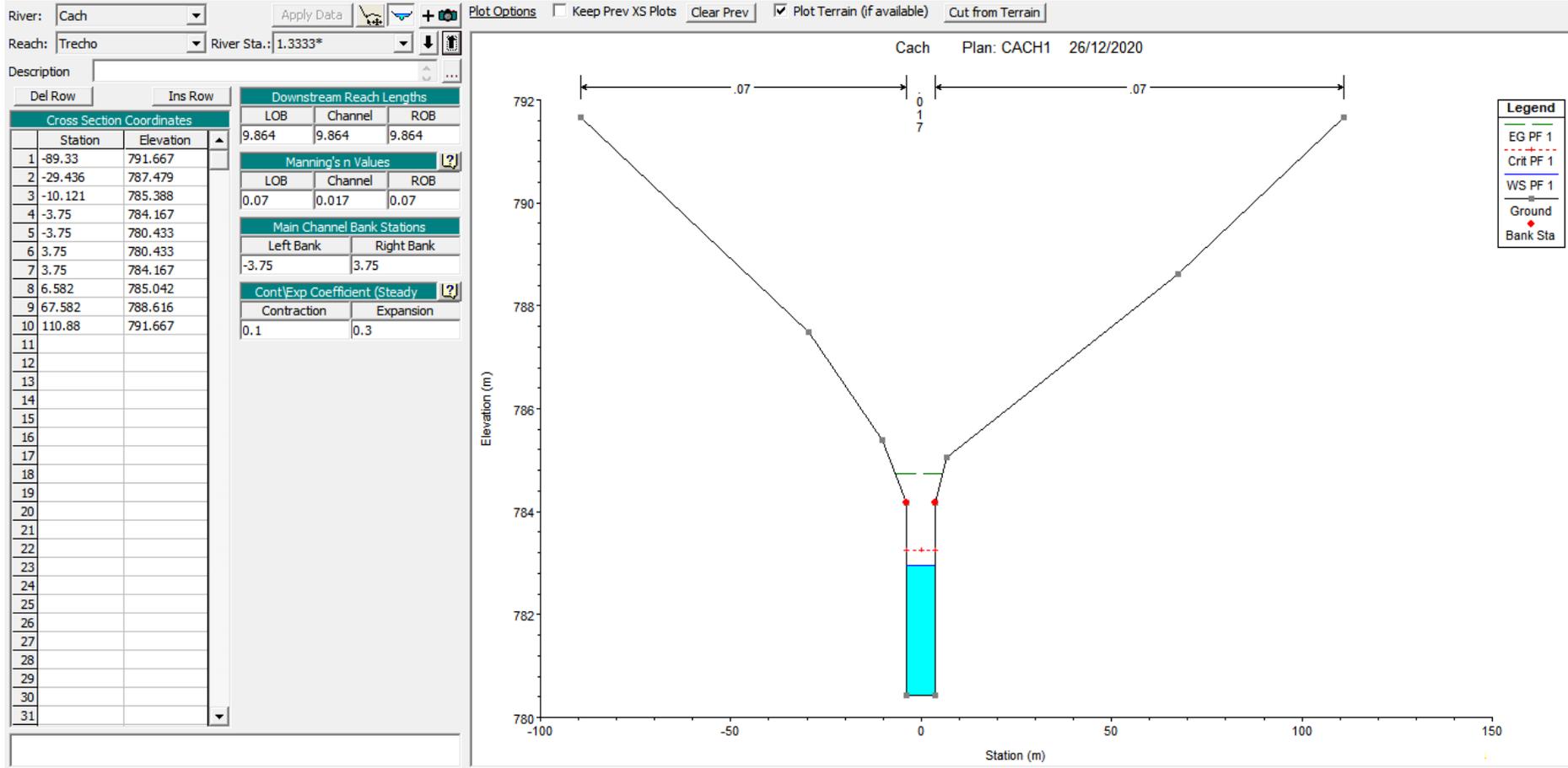
SEÇÃO 1,2778



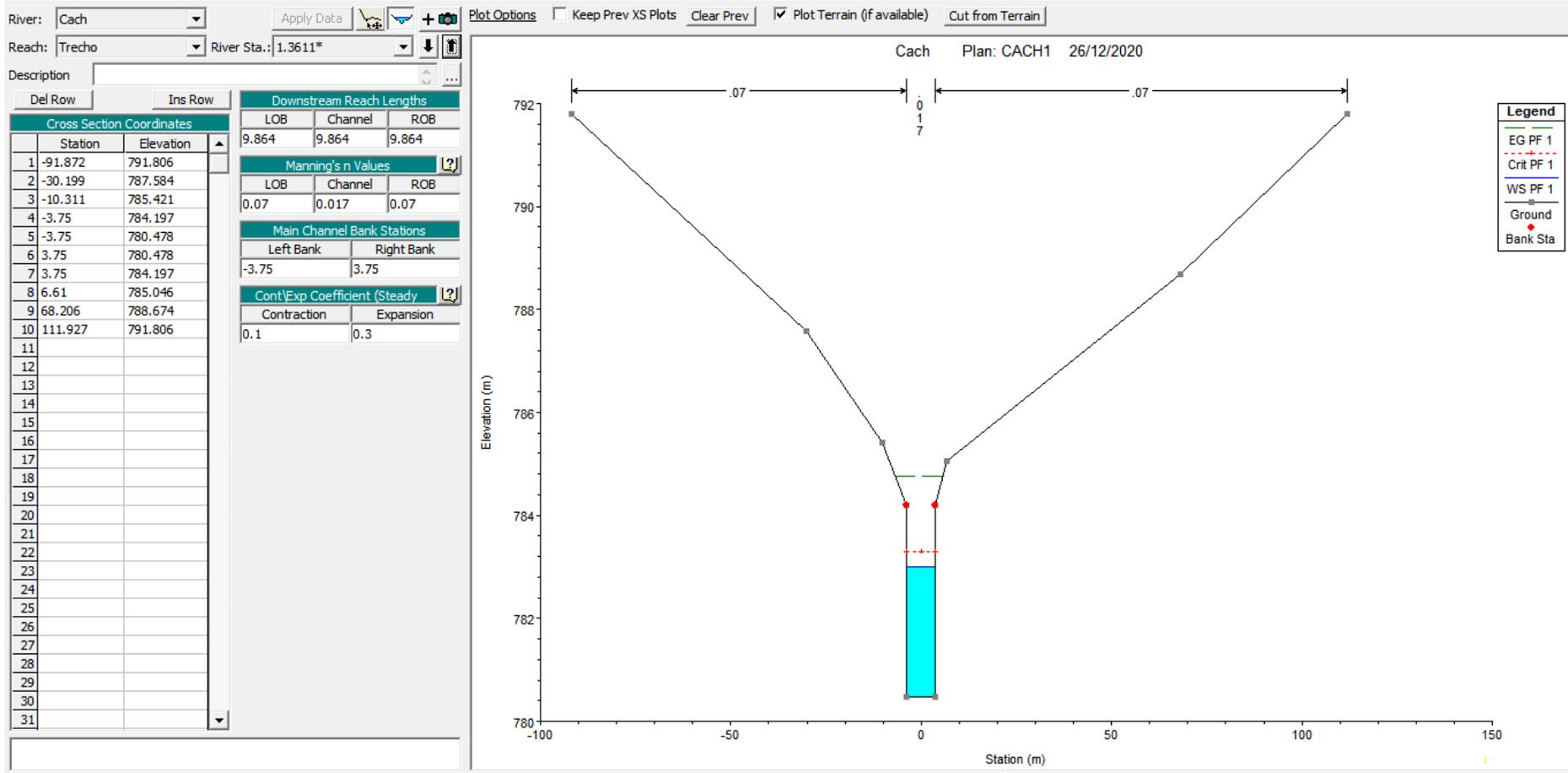
SEÇÃO 1,3056



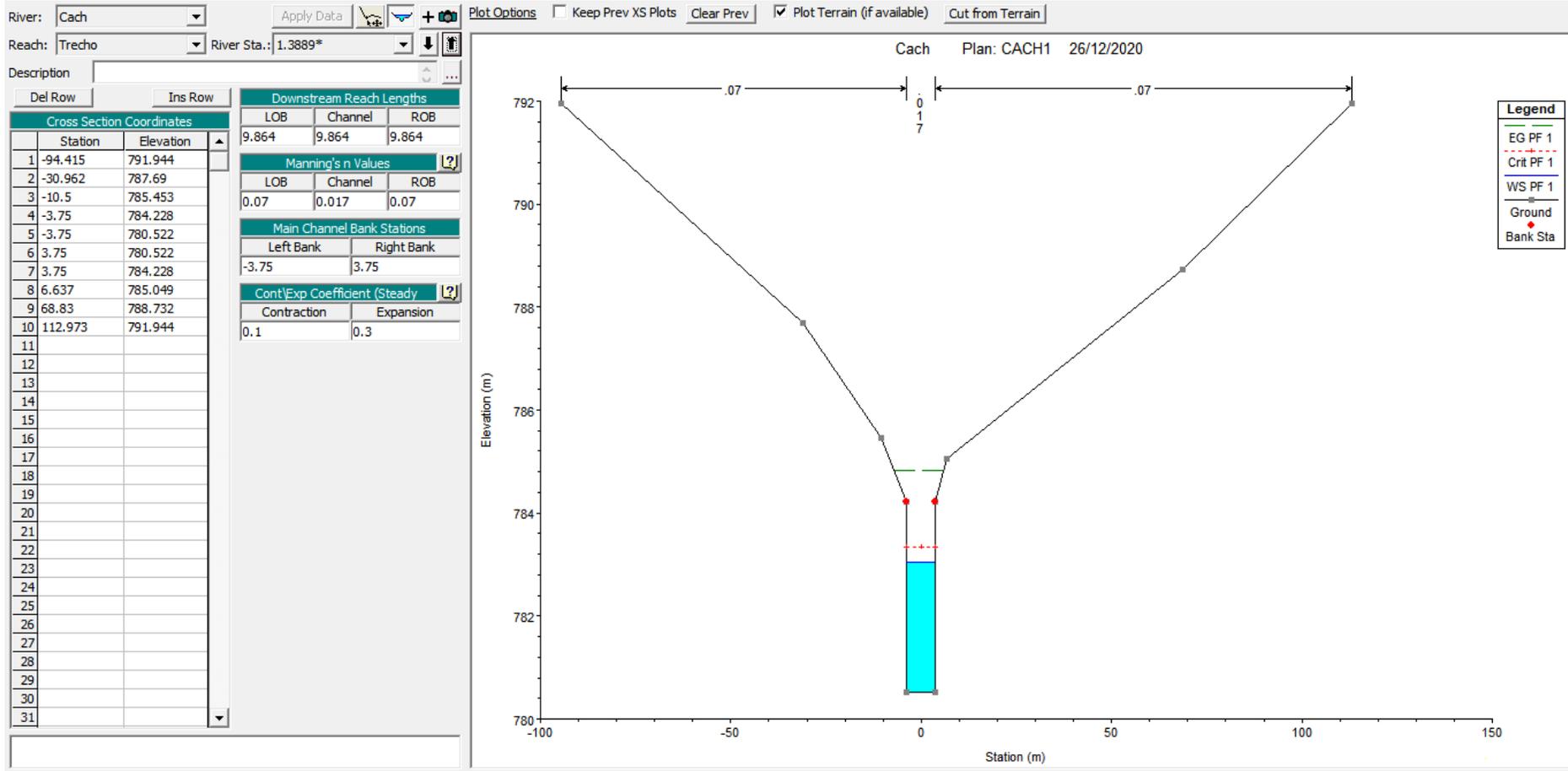
SEÇÃO 1,3333



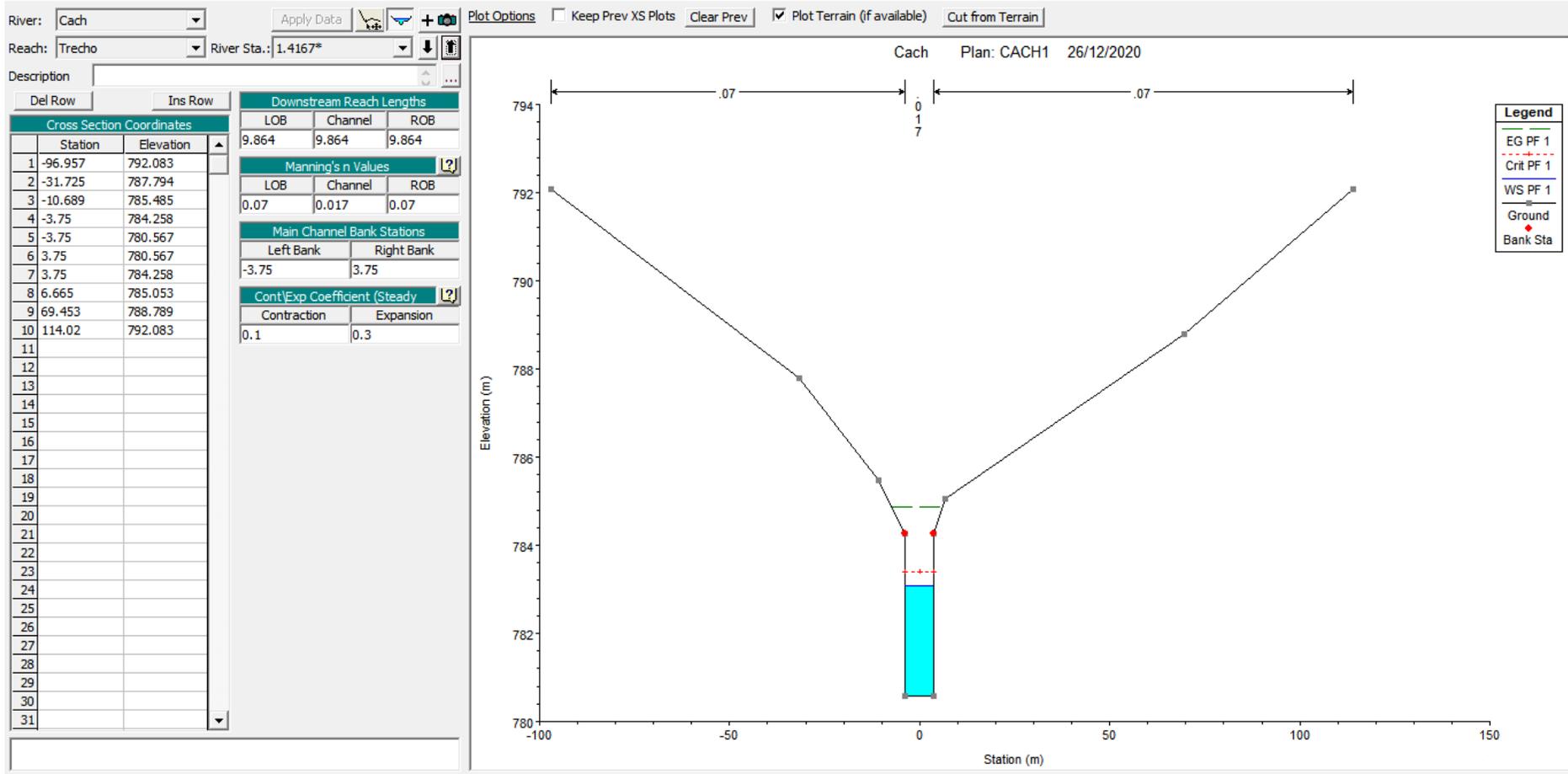
SEÇÃO 1,3611



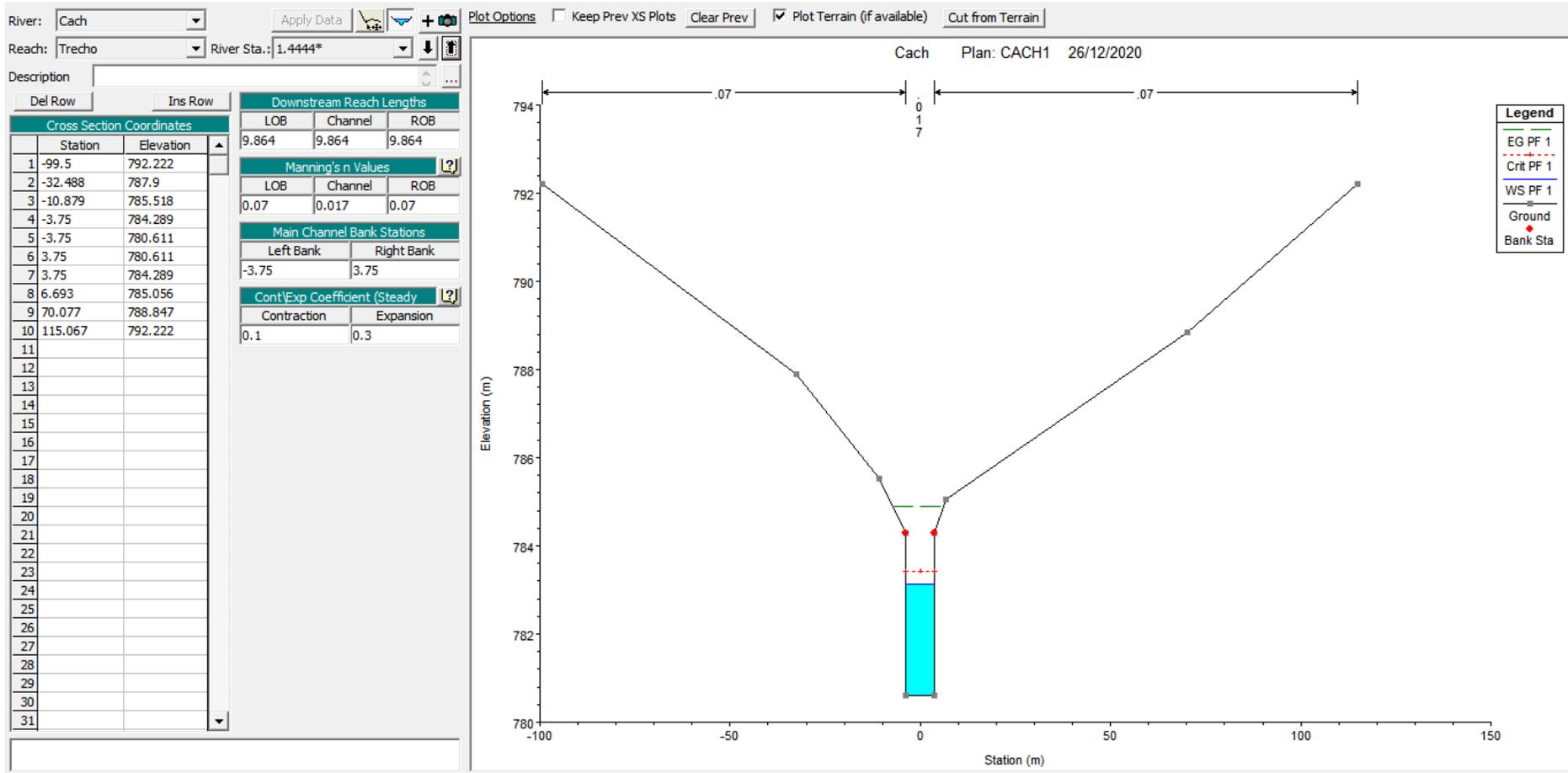
SEÇÃO 1,3889



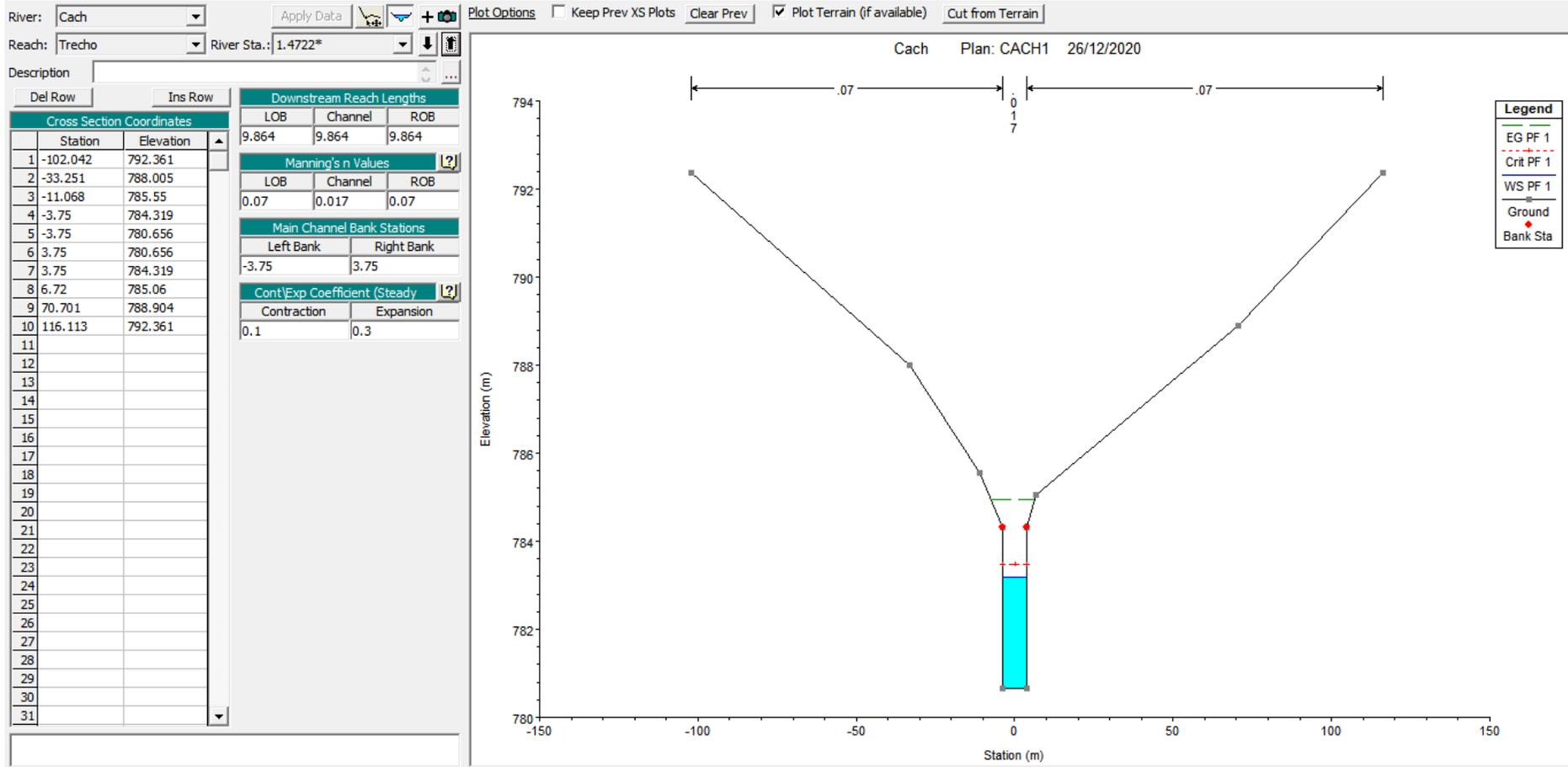
SEÇÃO 1,4167



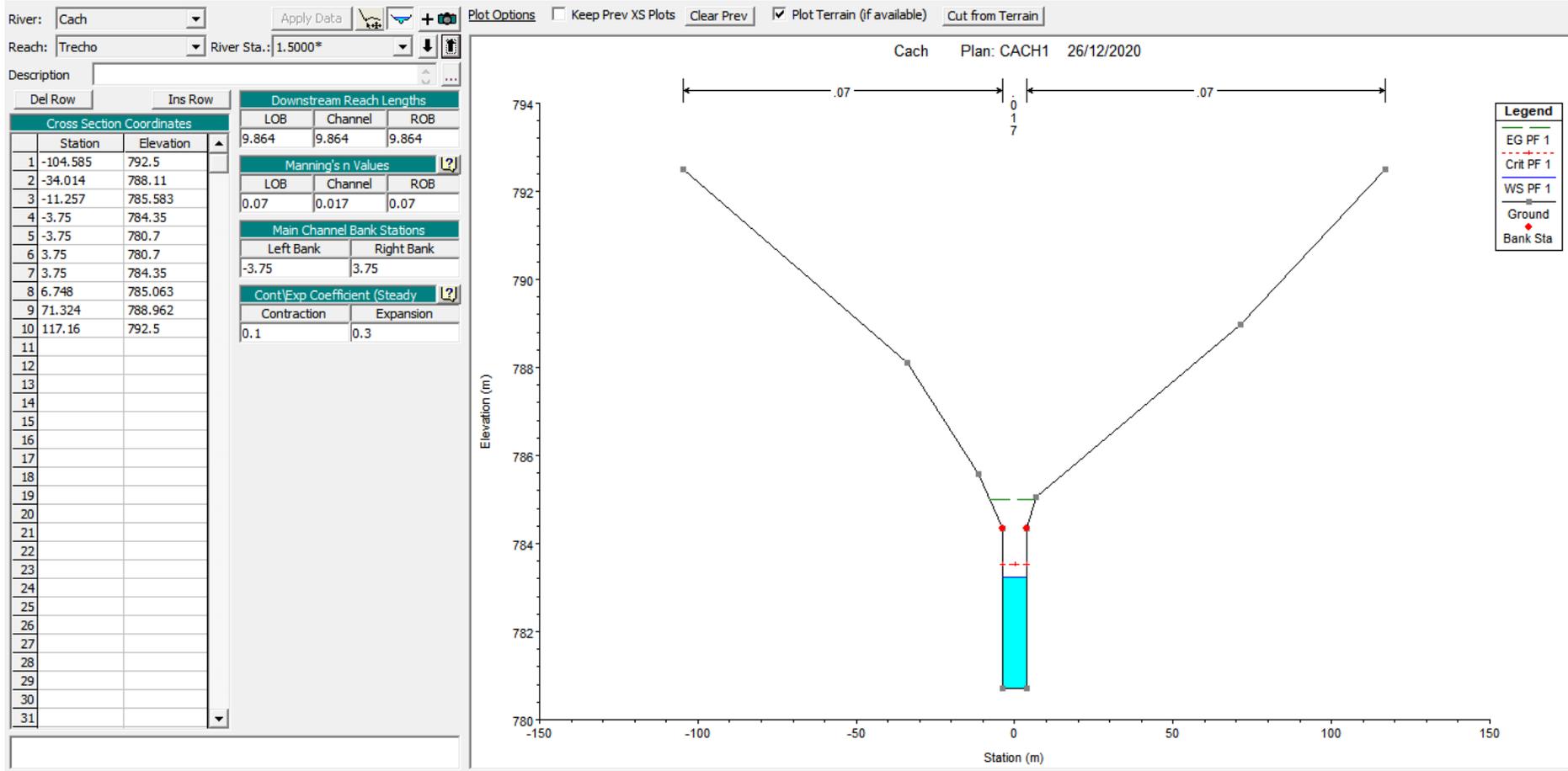
SEÇÃO 1,4444



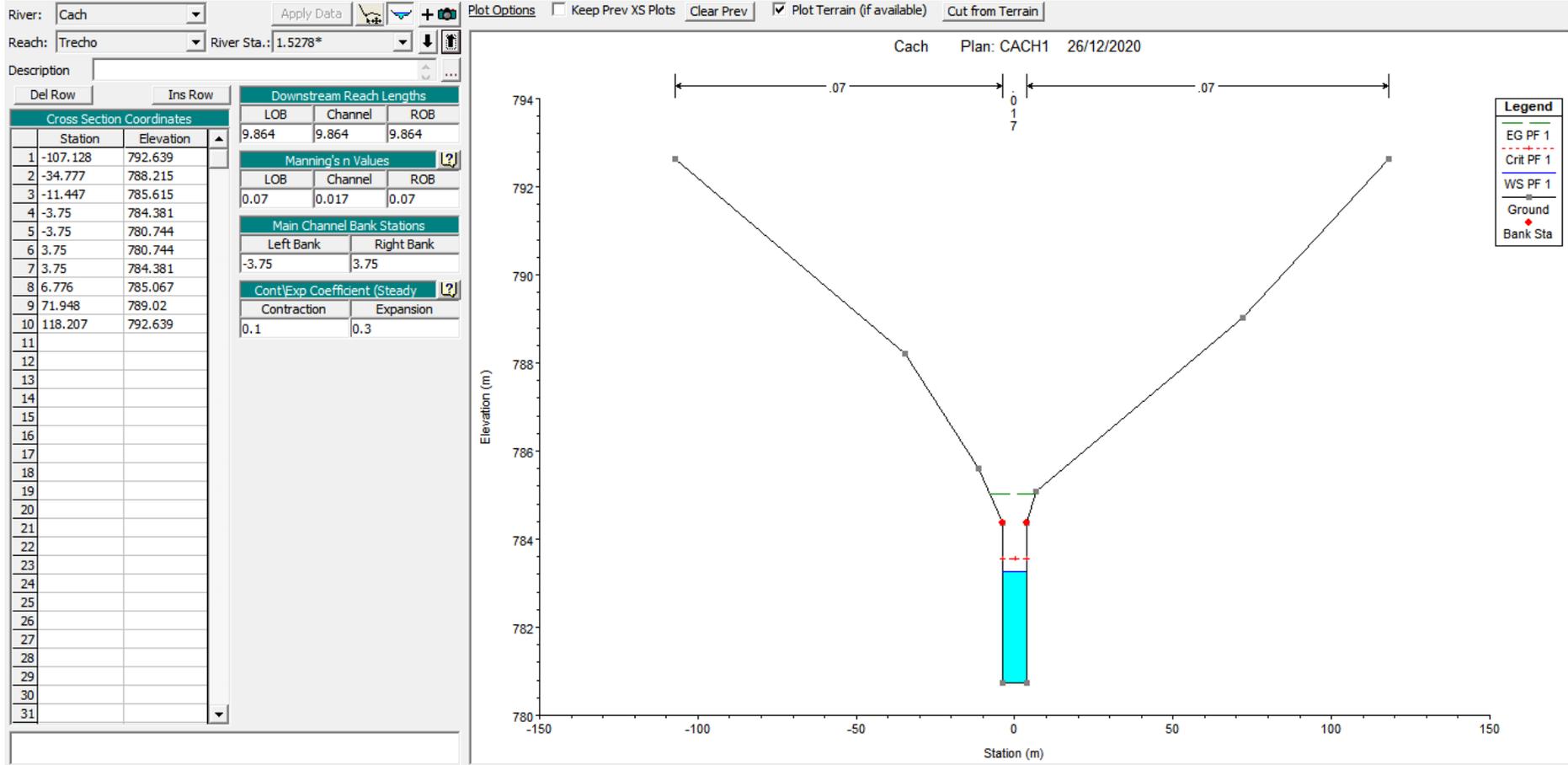
SEÇÃO 1,4722



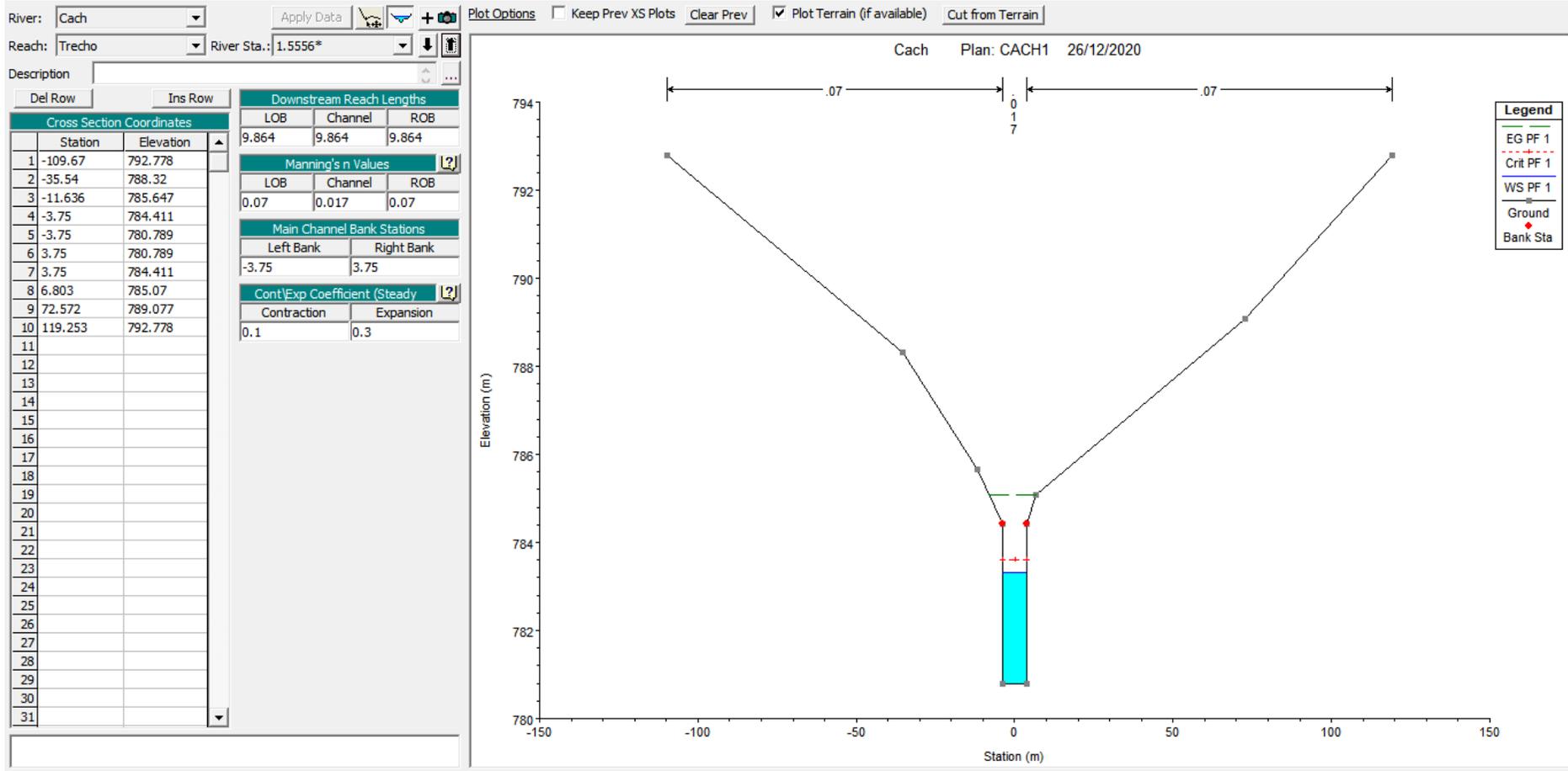
SEÇÃO 1,5000



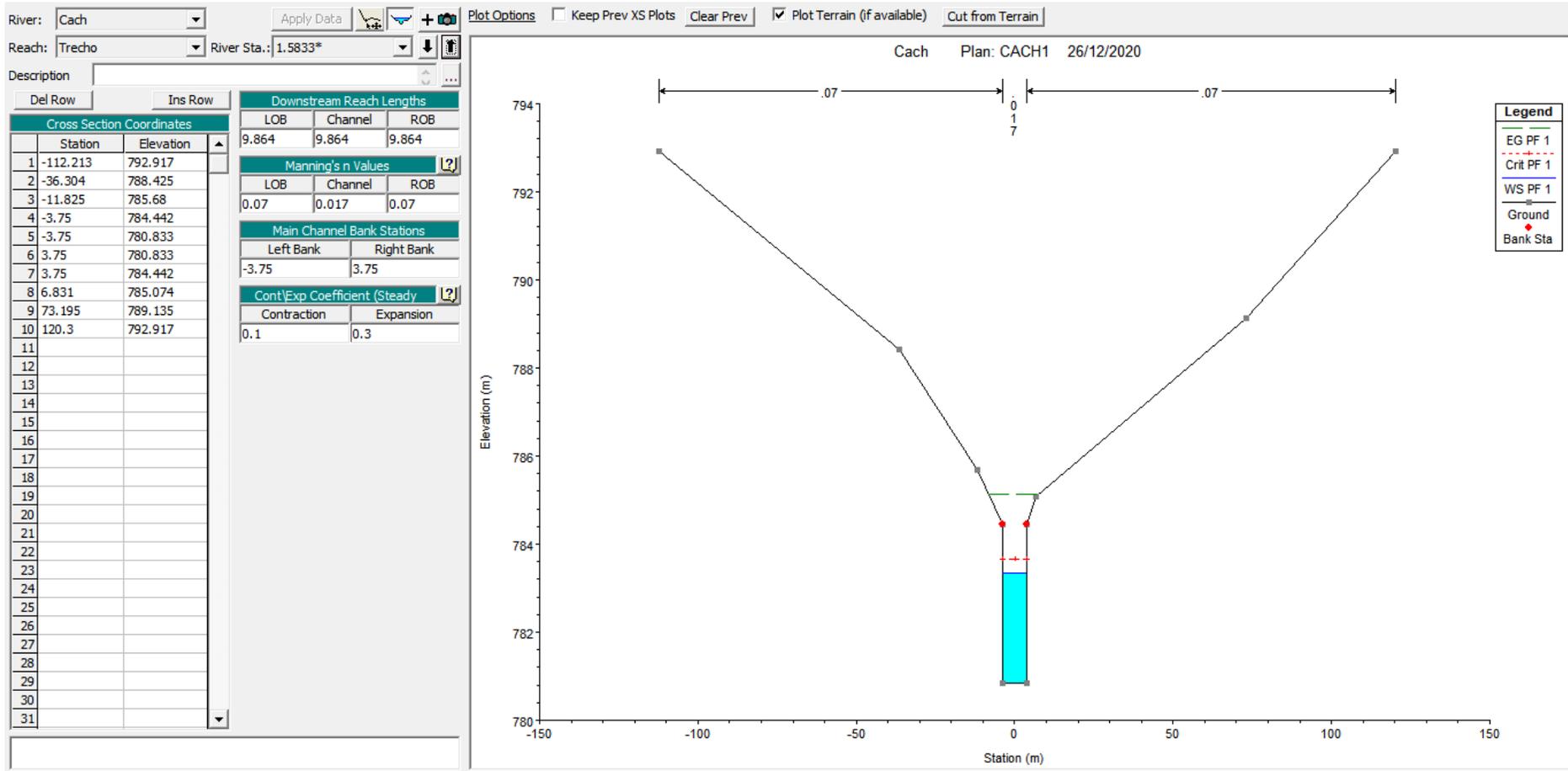
SEÇÃO 1,5278



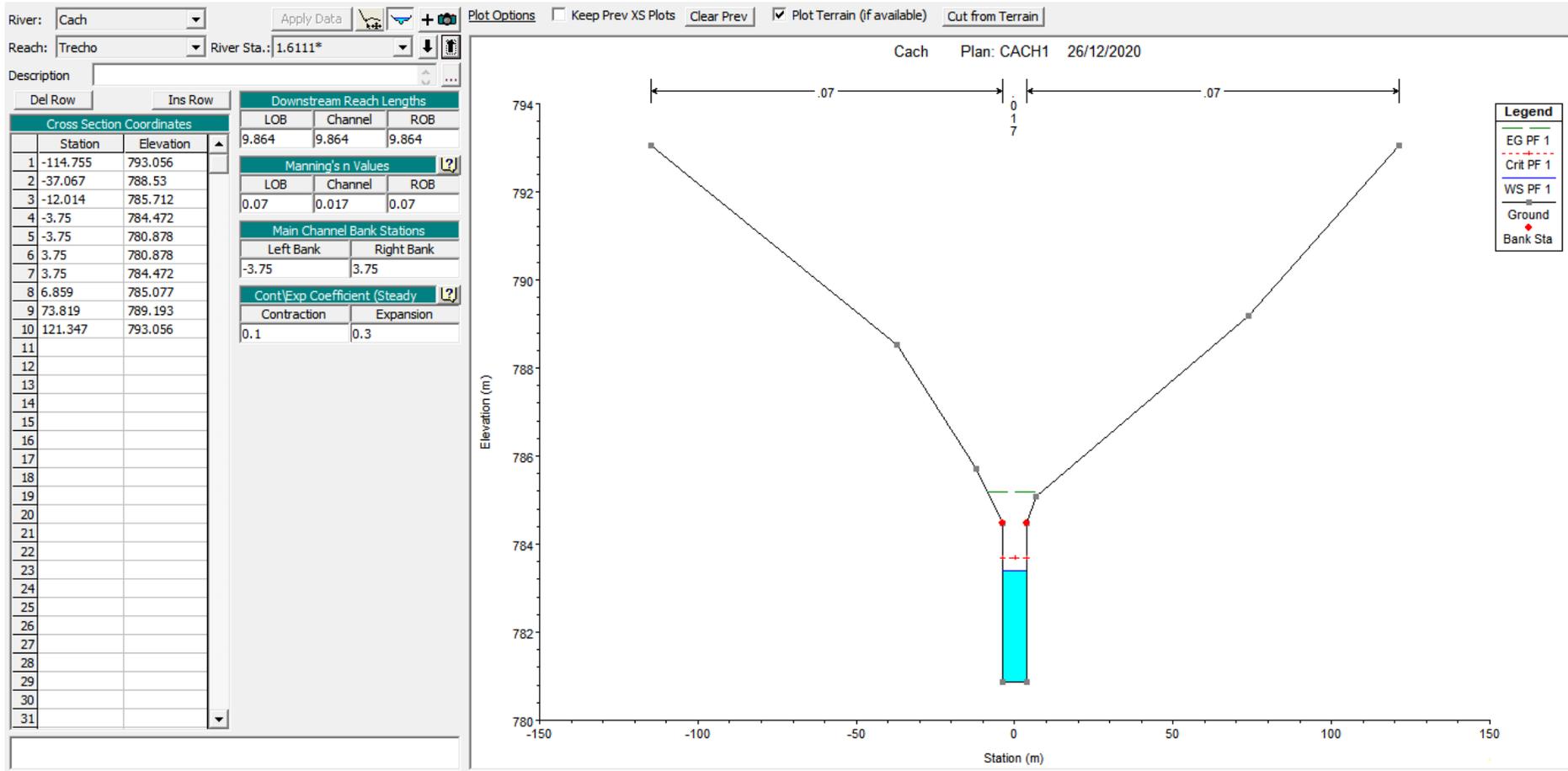
SEÇÃO 1,5556



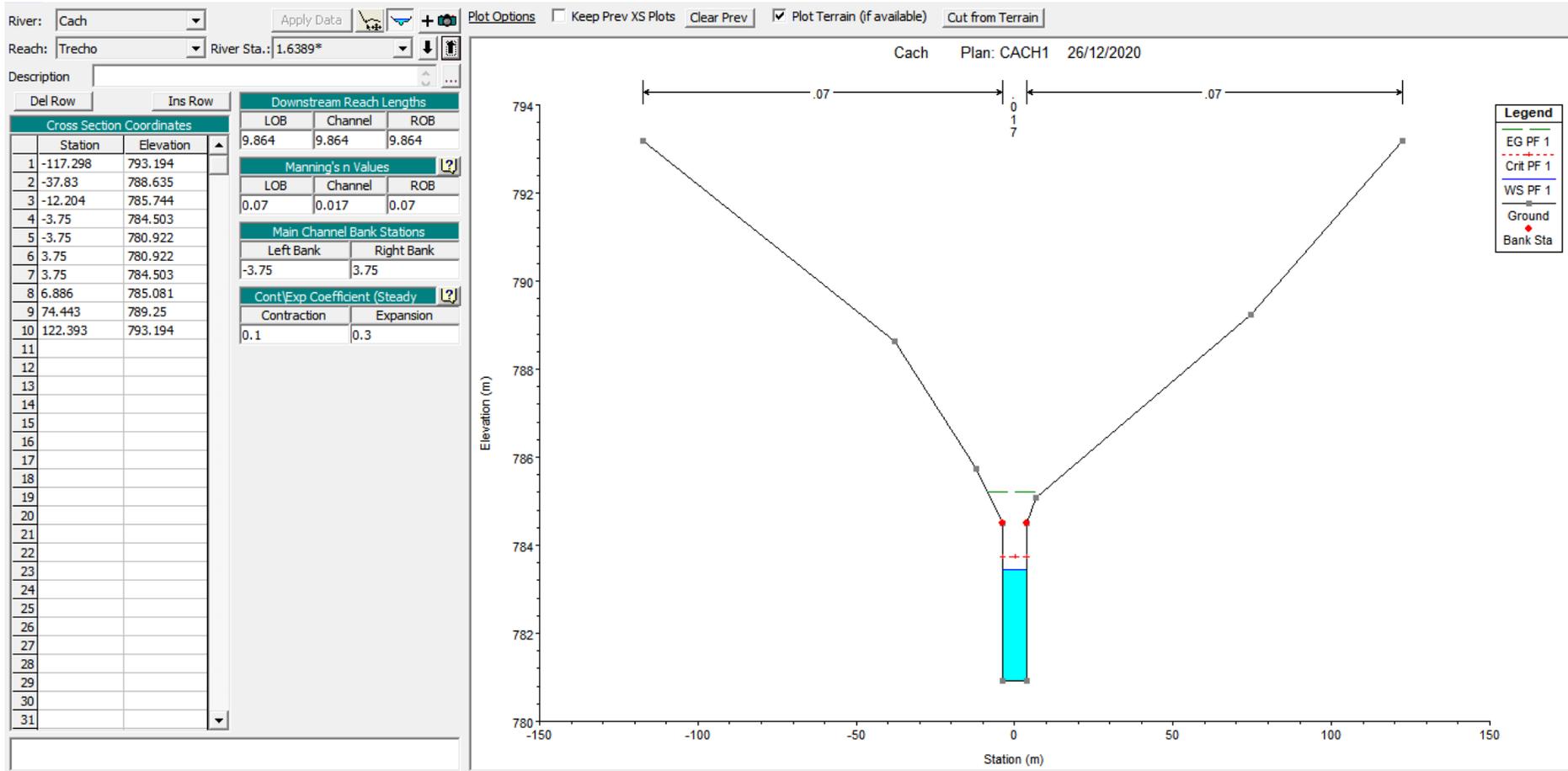
SEÇÃO 1,5833



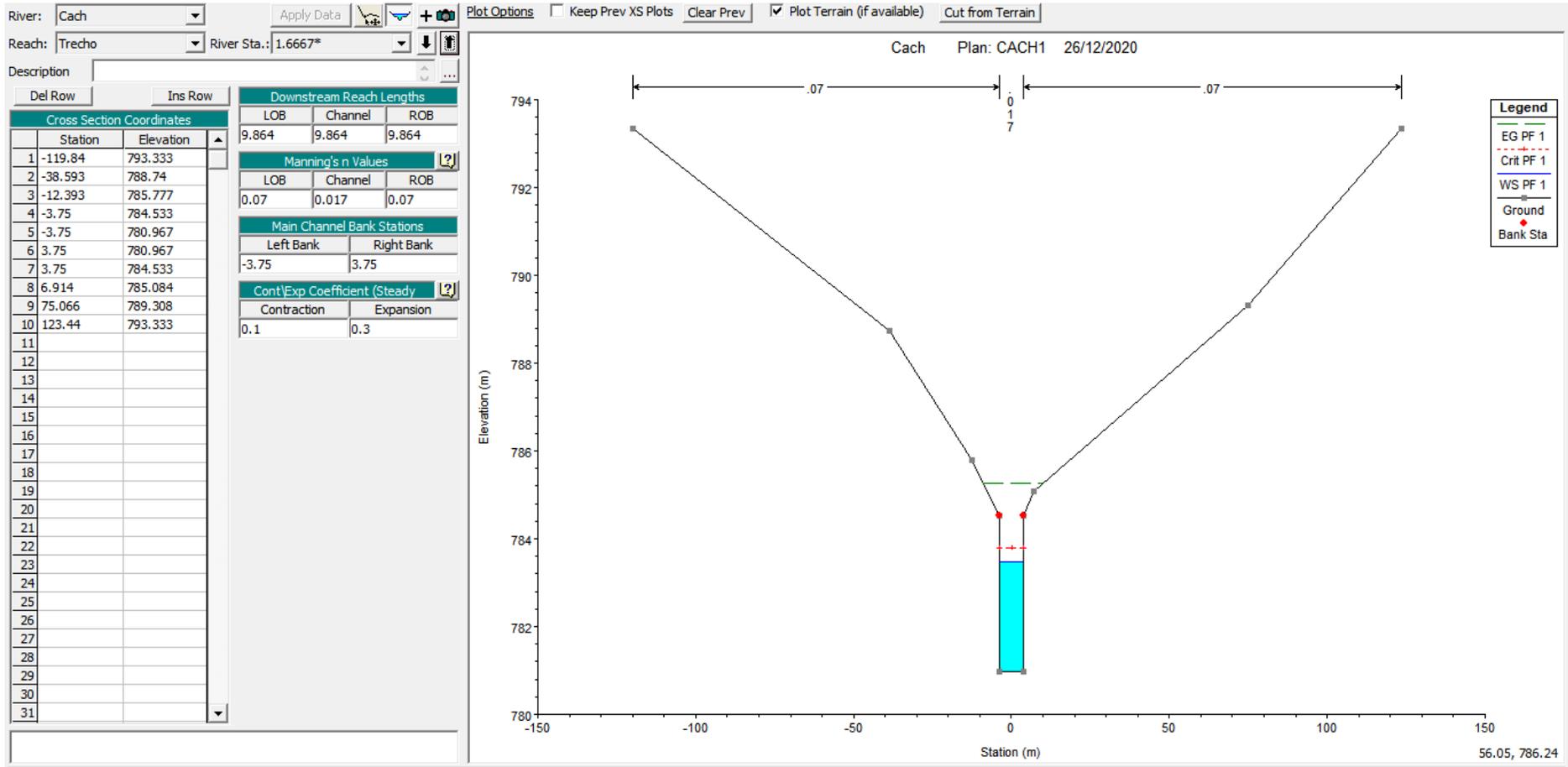
SEÇÃO 1,6111



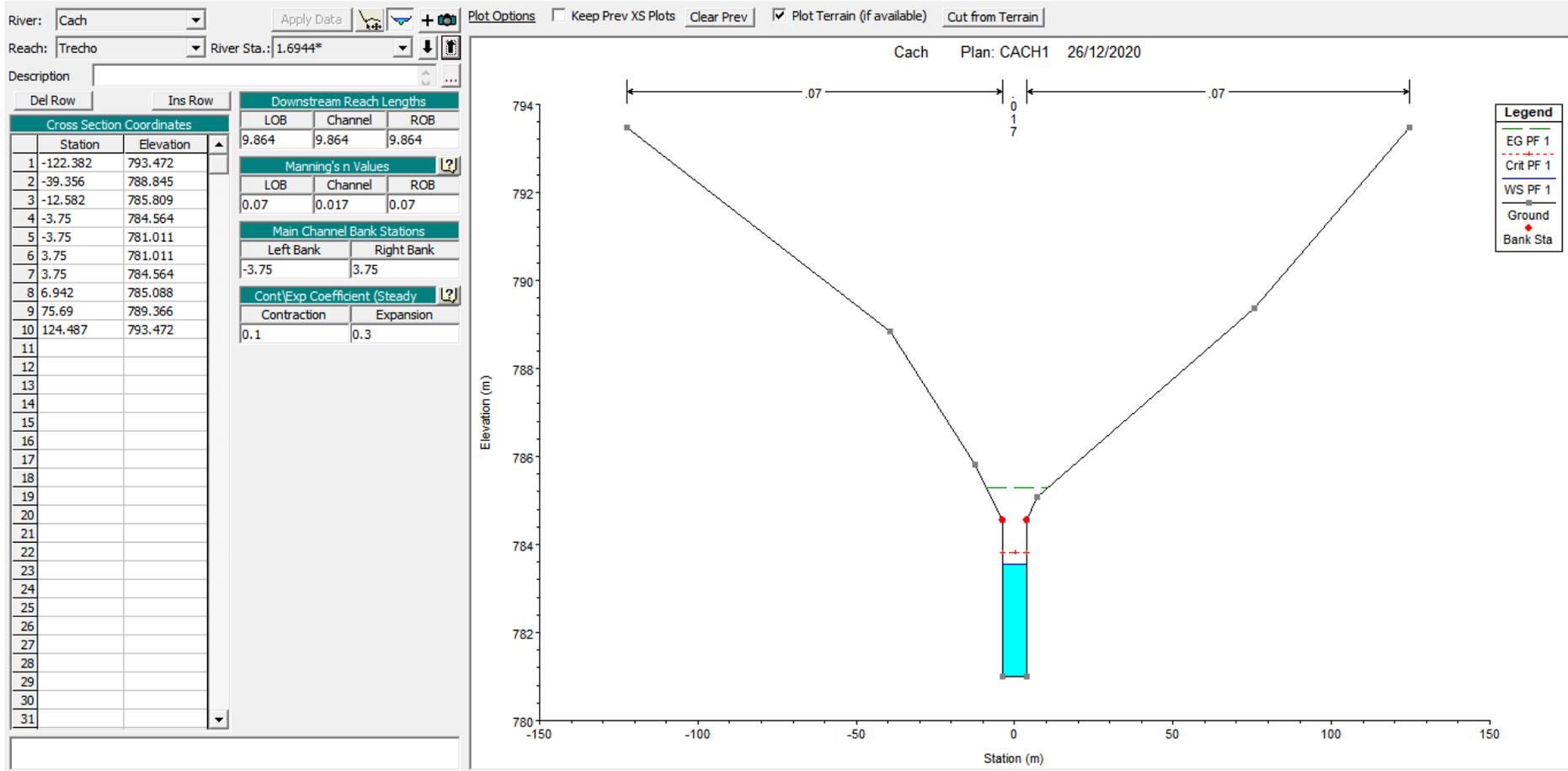
SEÇÃO 1,6389



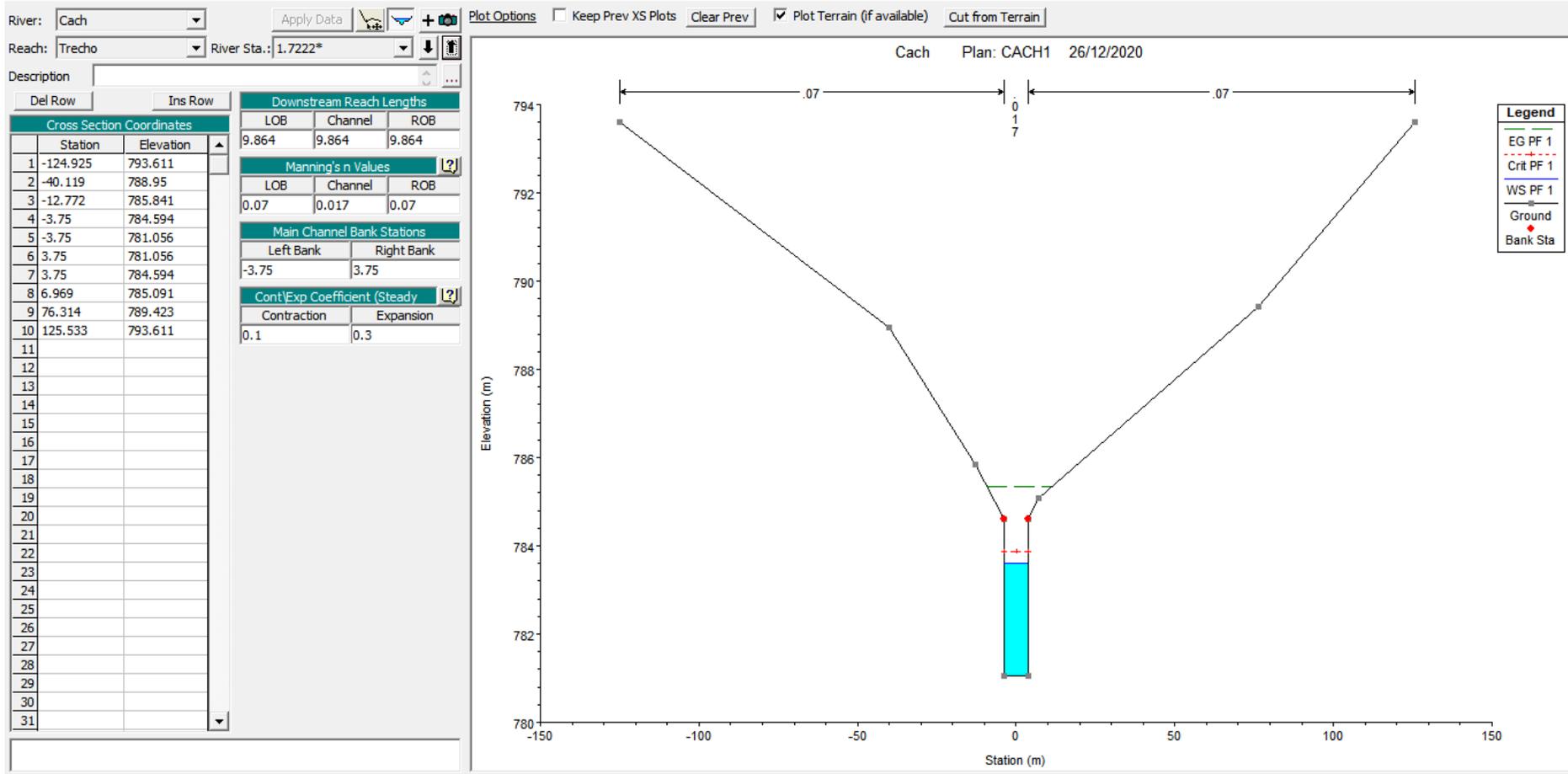
SEÇÃO 1,6667



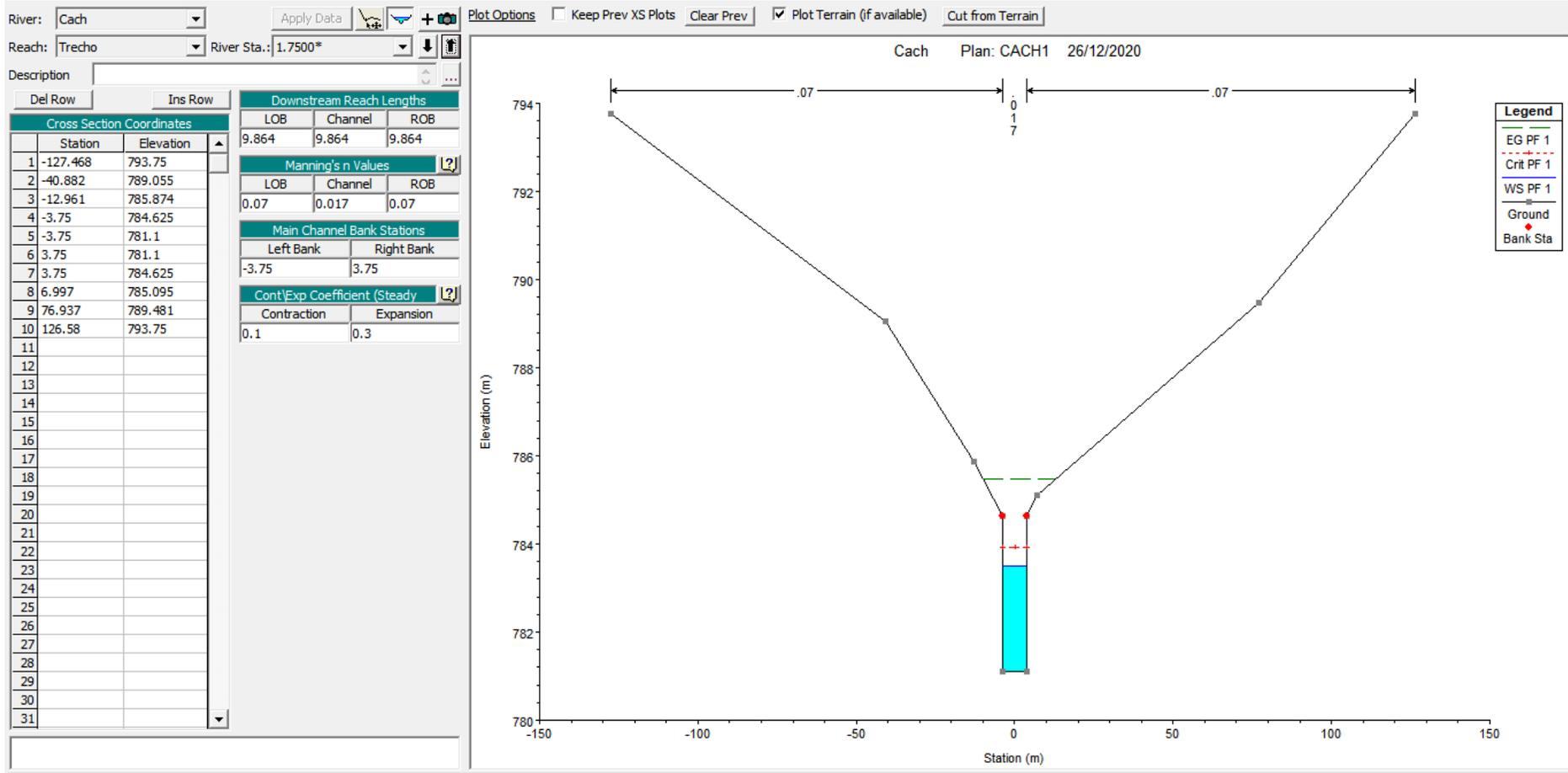
SEÇÃO 1,6944



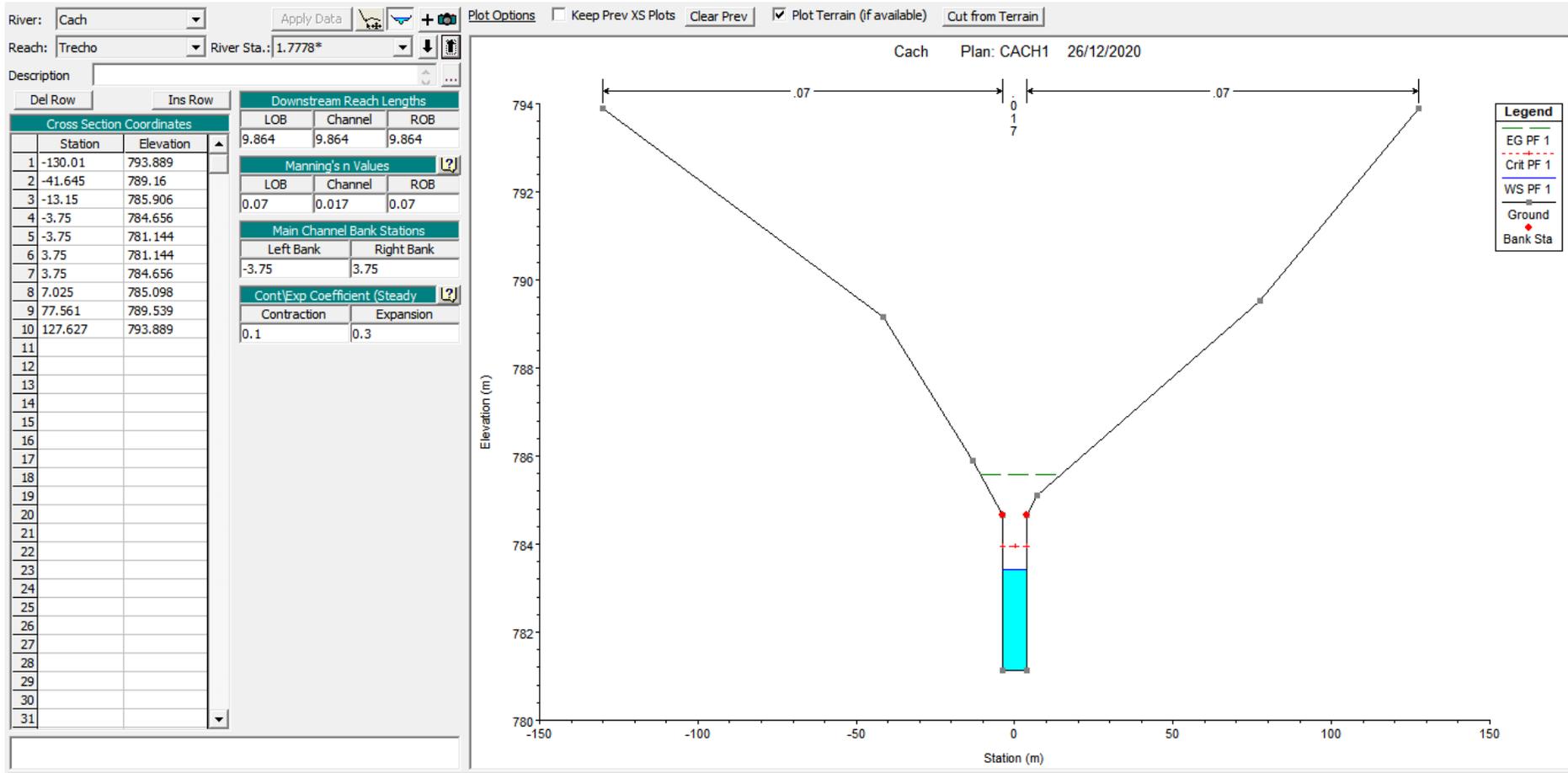
SEÇÃO 1,7222



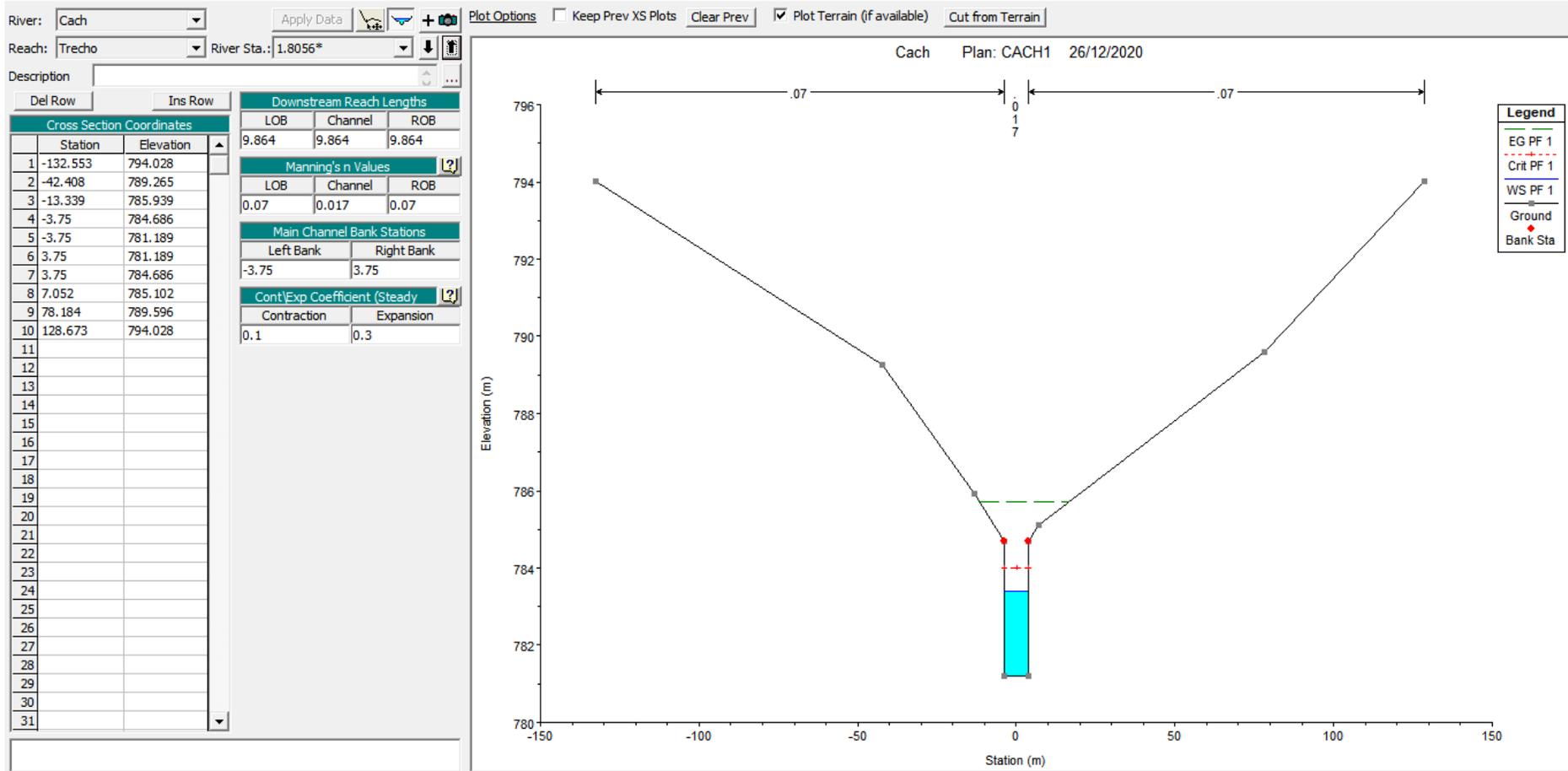
SEÇÃO 1,7500



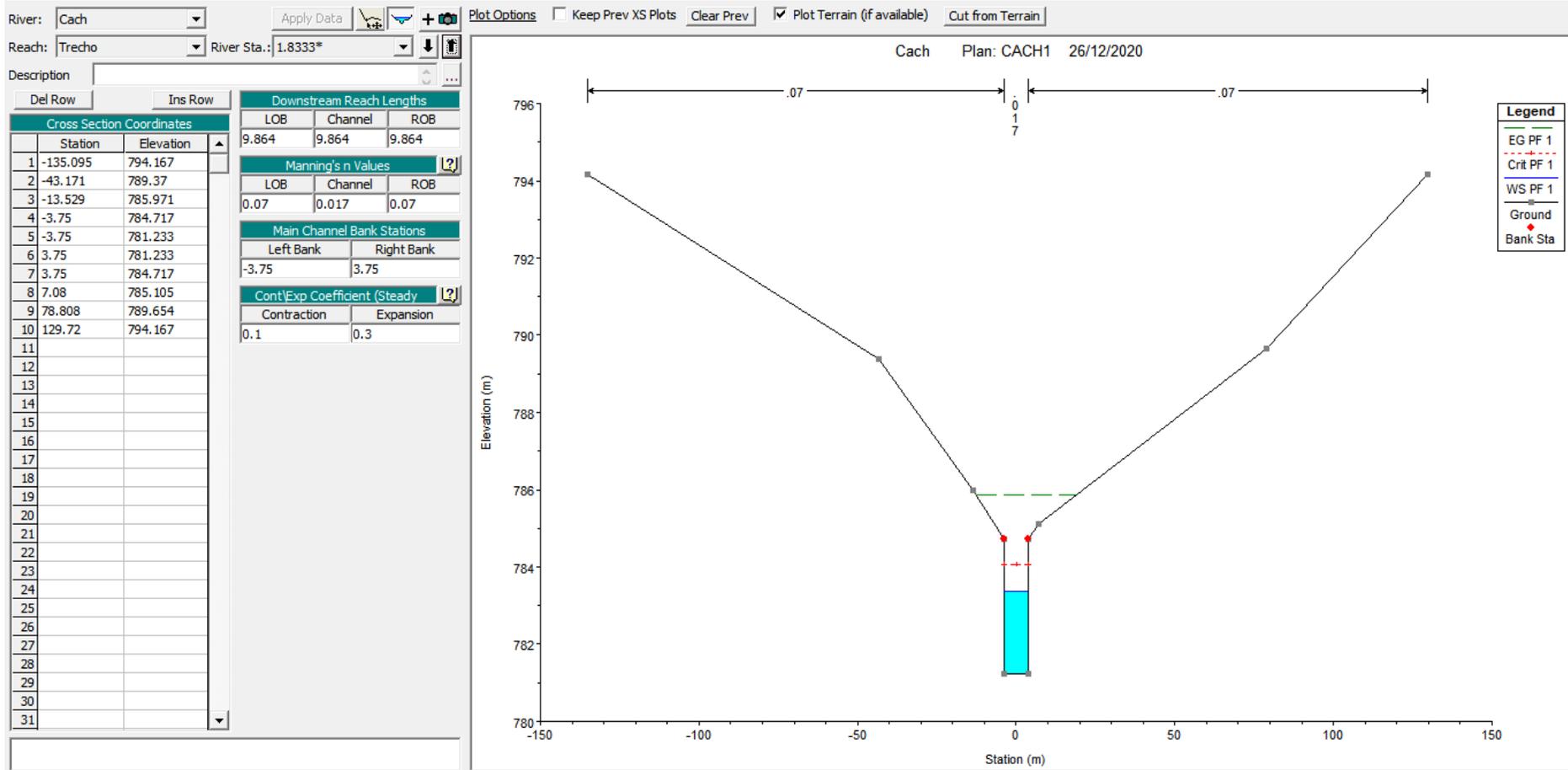
SEÇÃO 1,7778



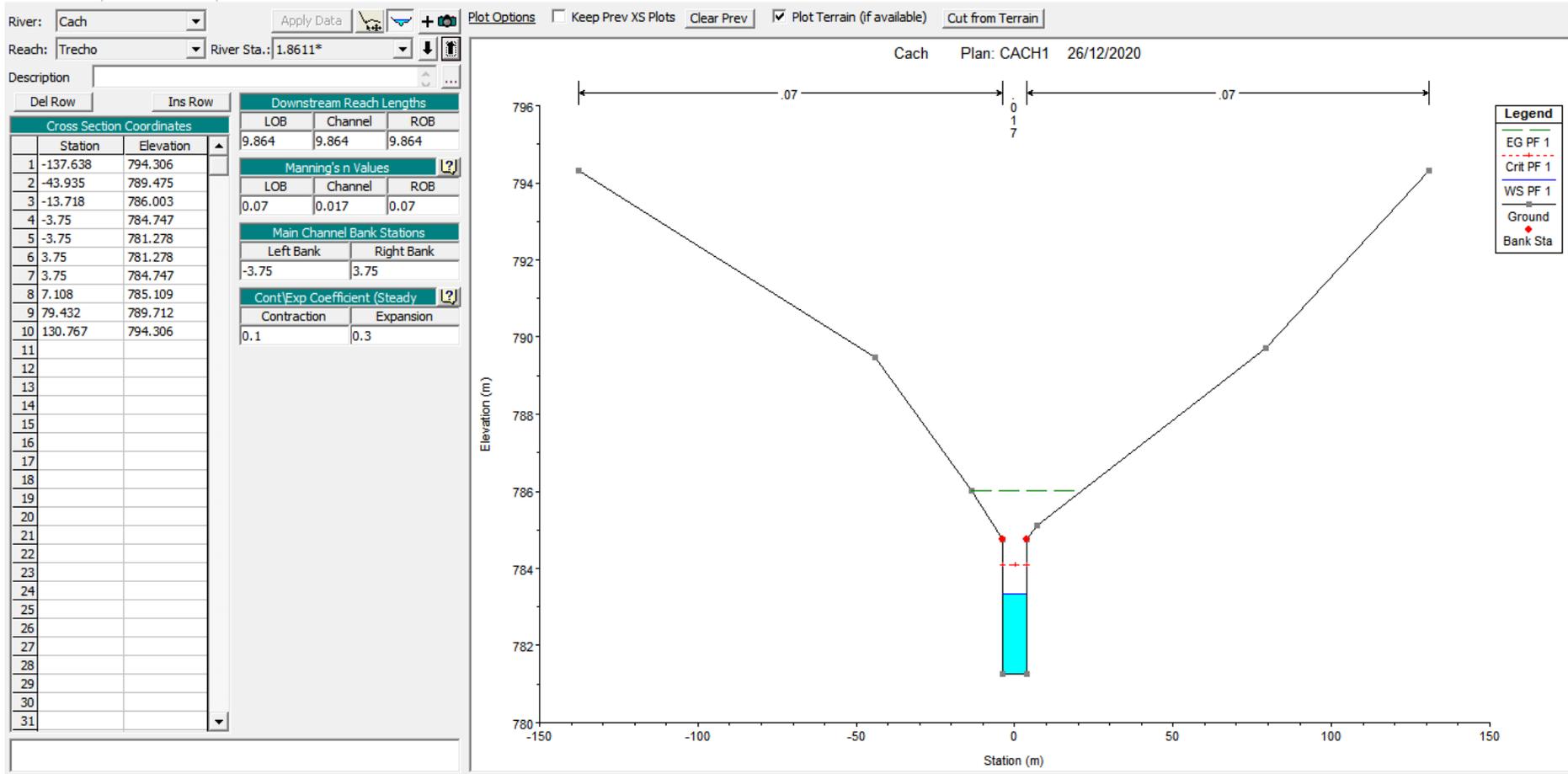
SEÇÃO 1,8056



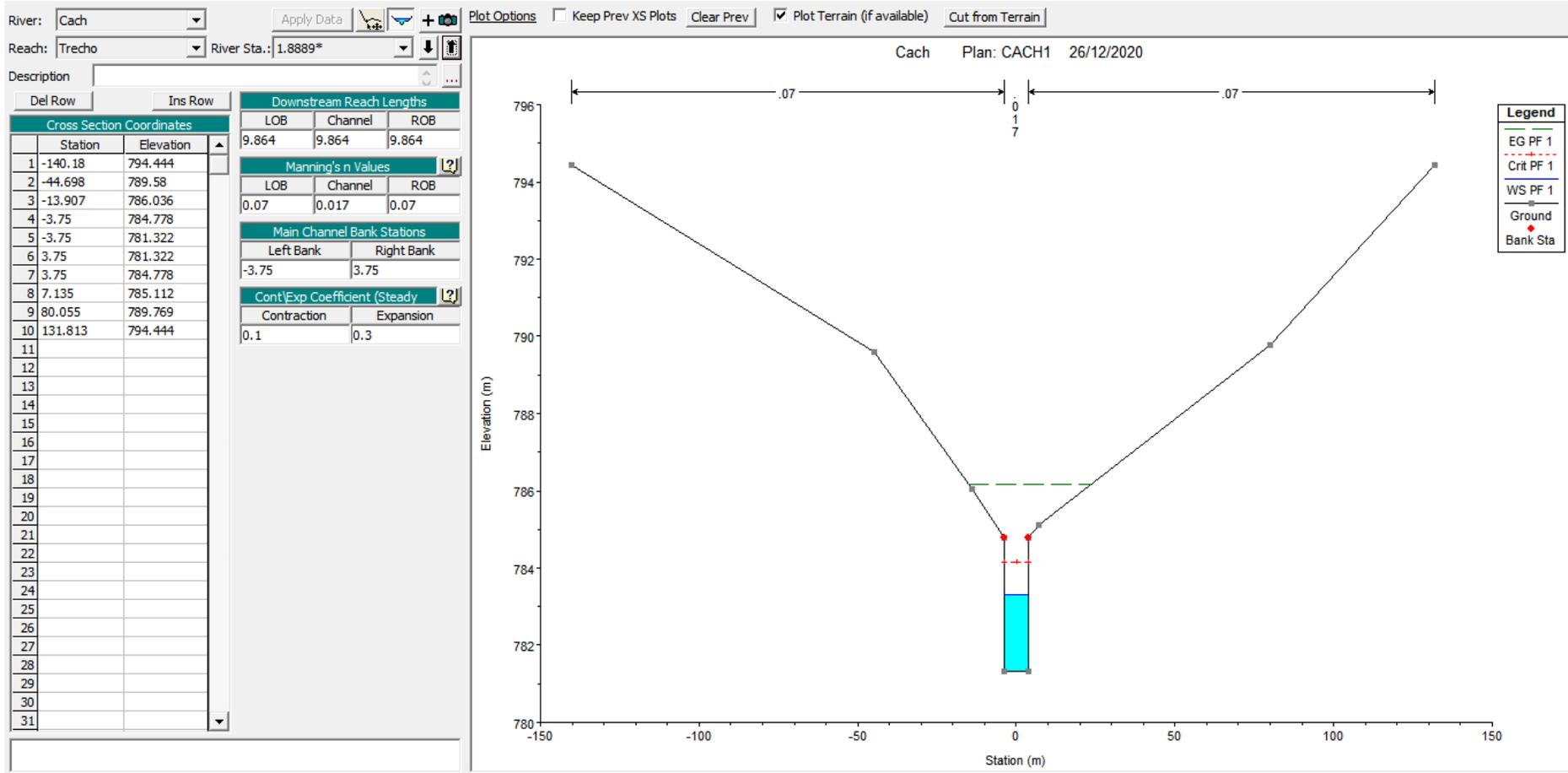
SEÇÃO 1,8333



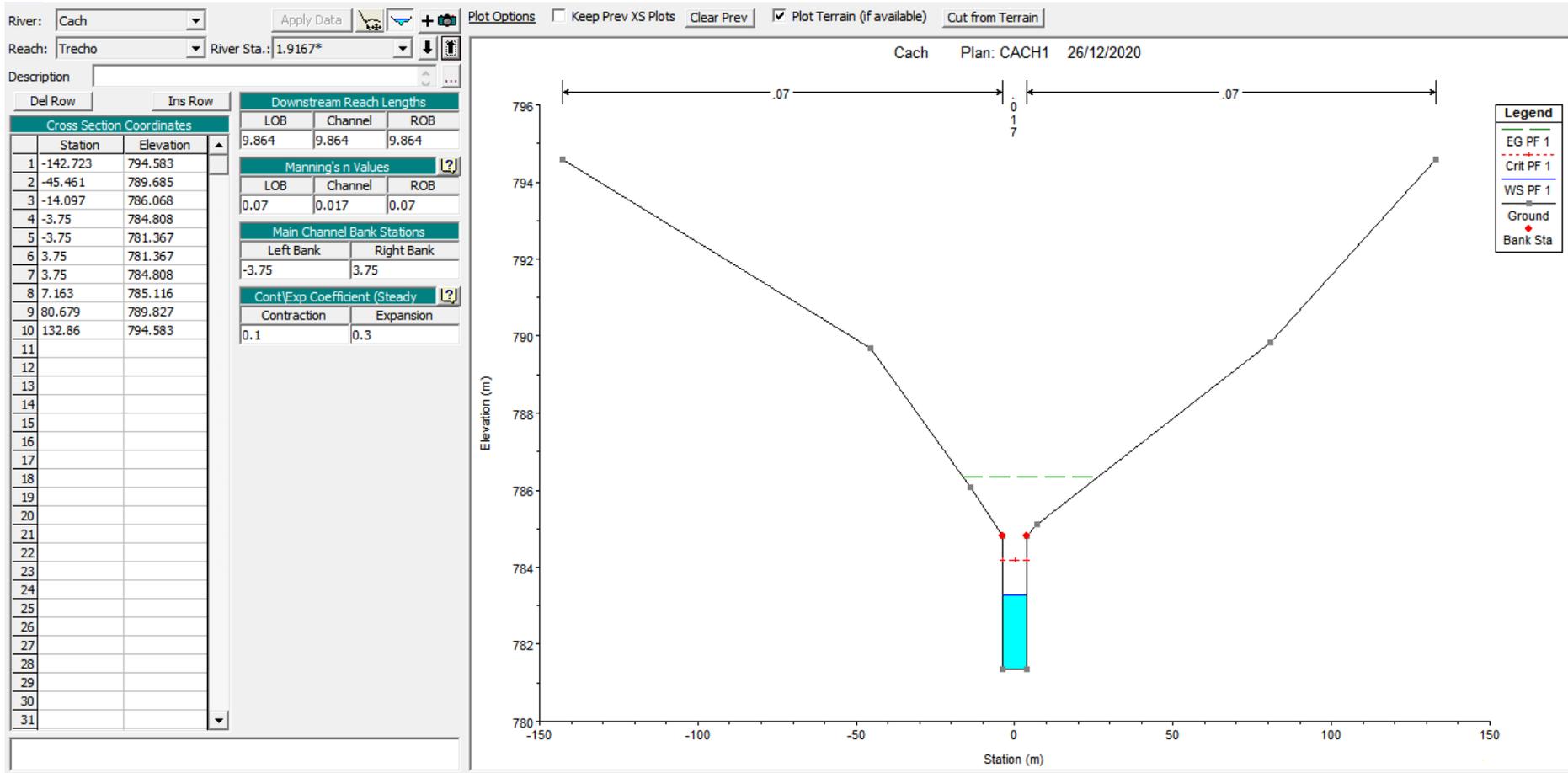
SEÇÃO 1,8611



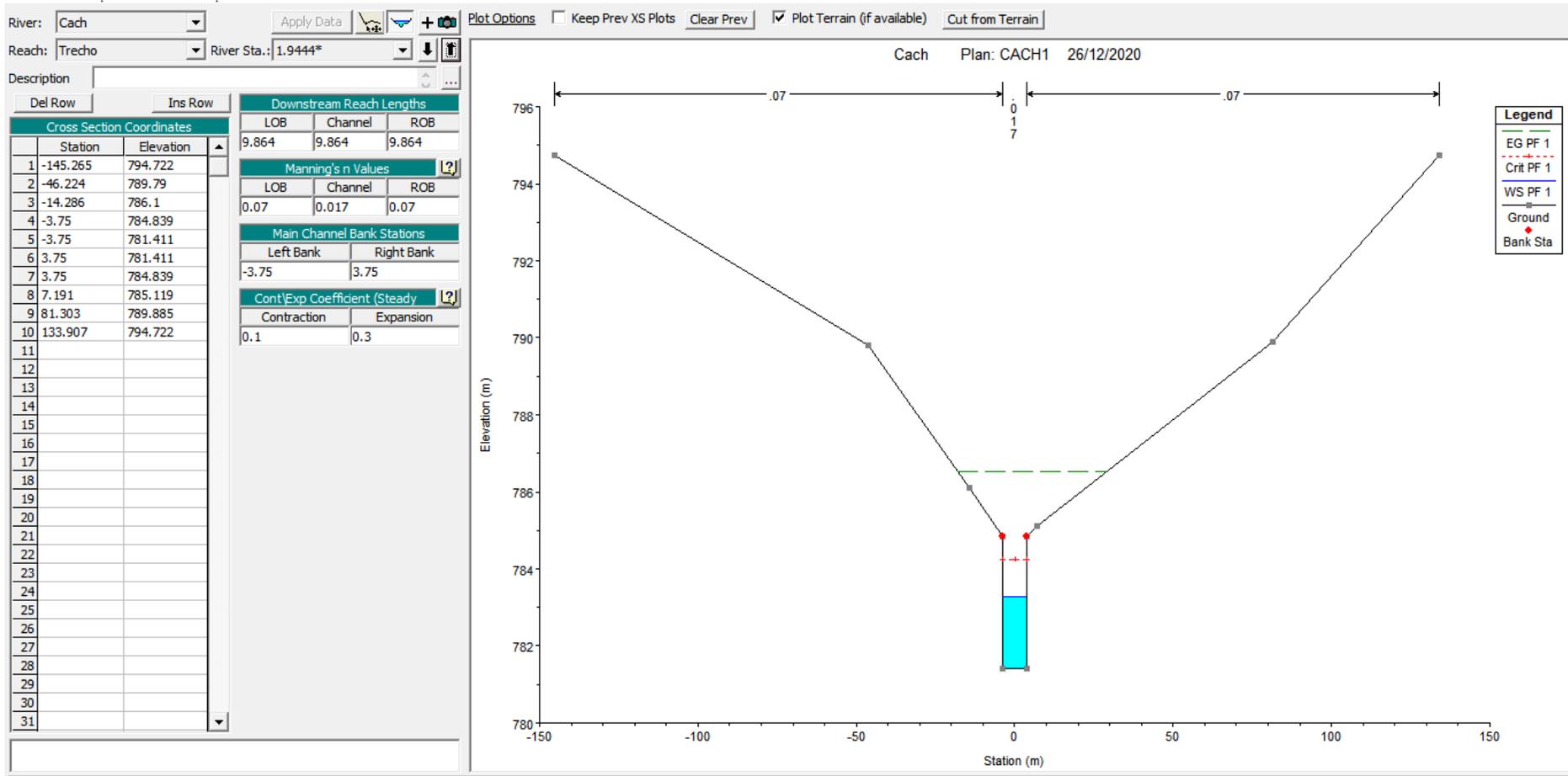
SEÇÃO 1,8889



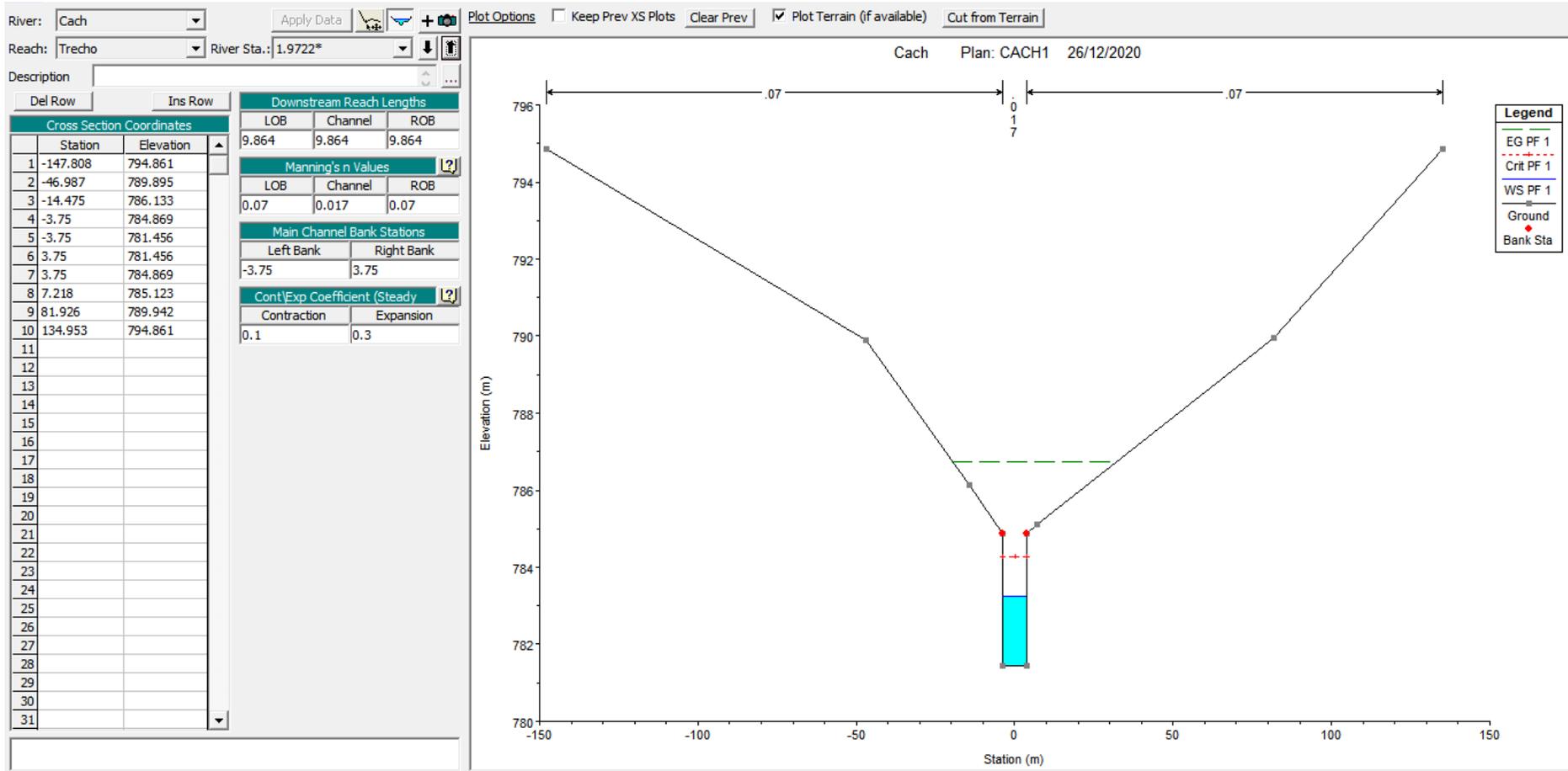
SEÇÃO 1,9167



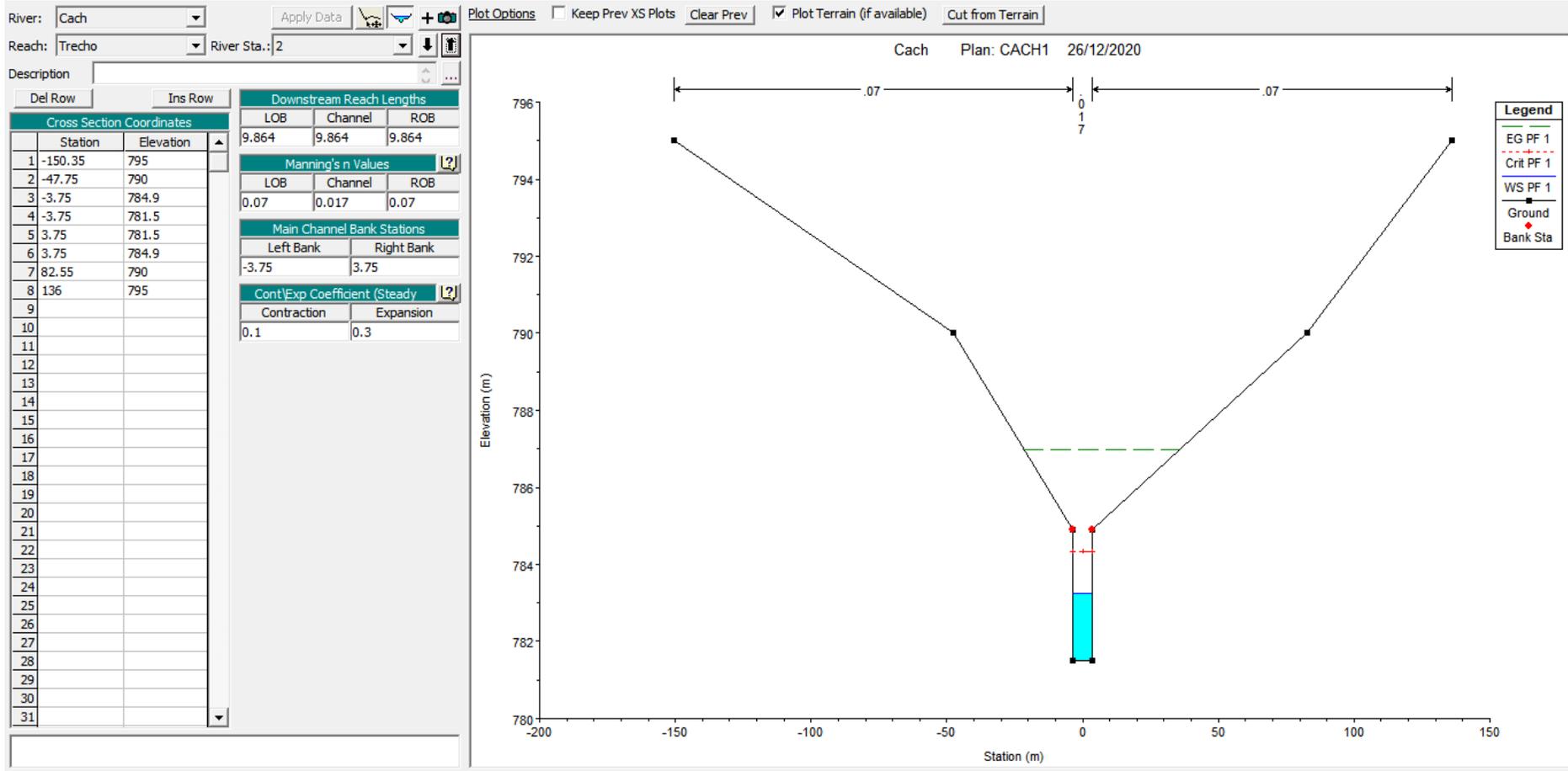
SEÇÃO 1,9444



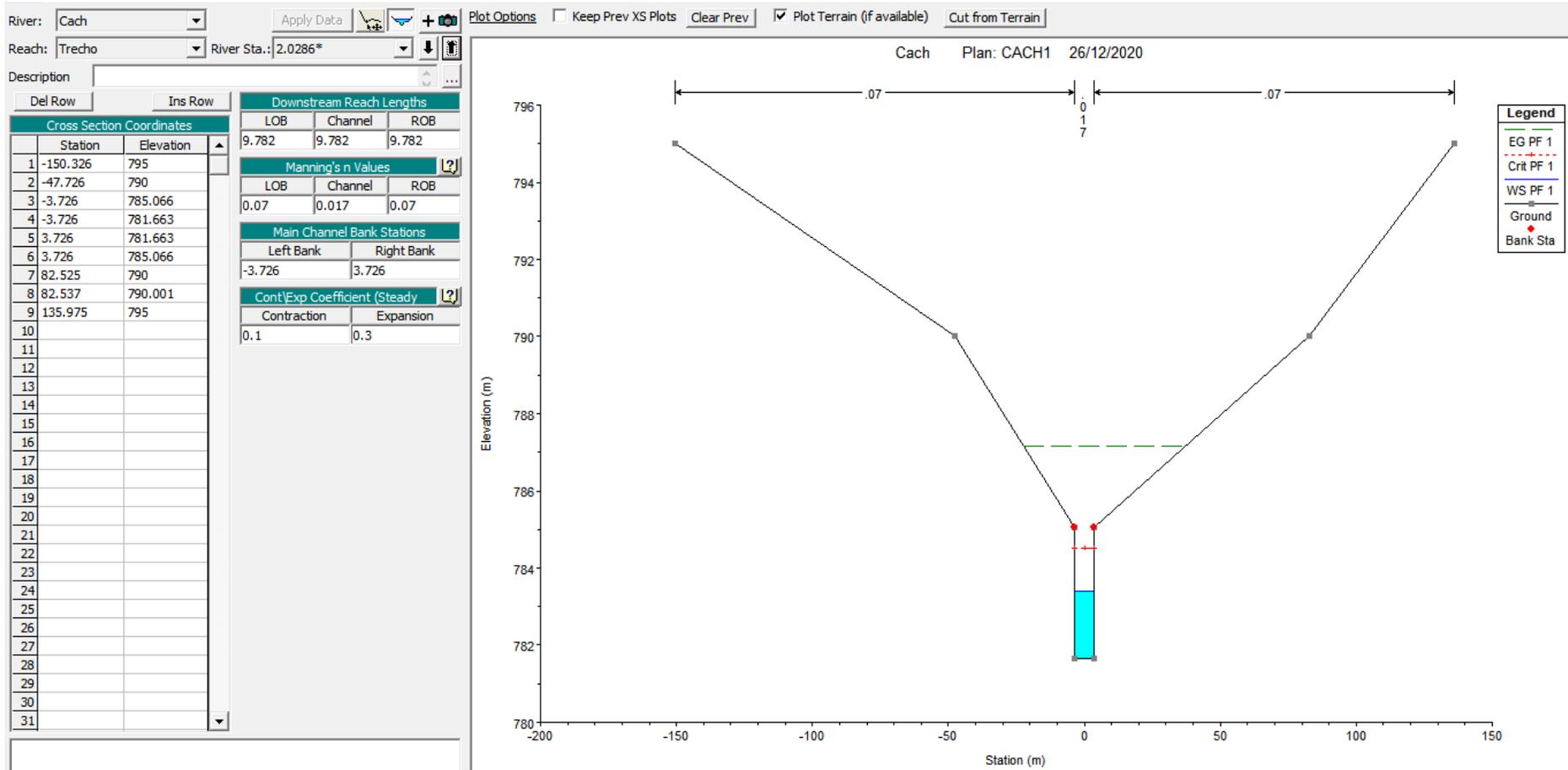
SEÇÃO 1,9722



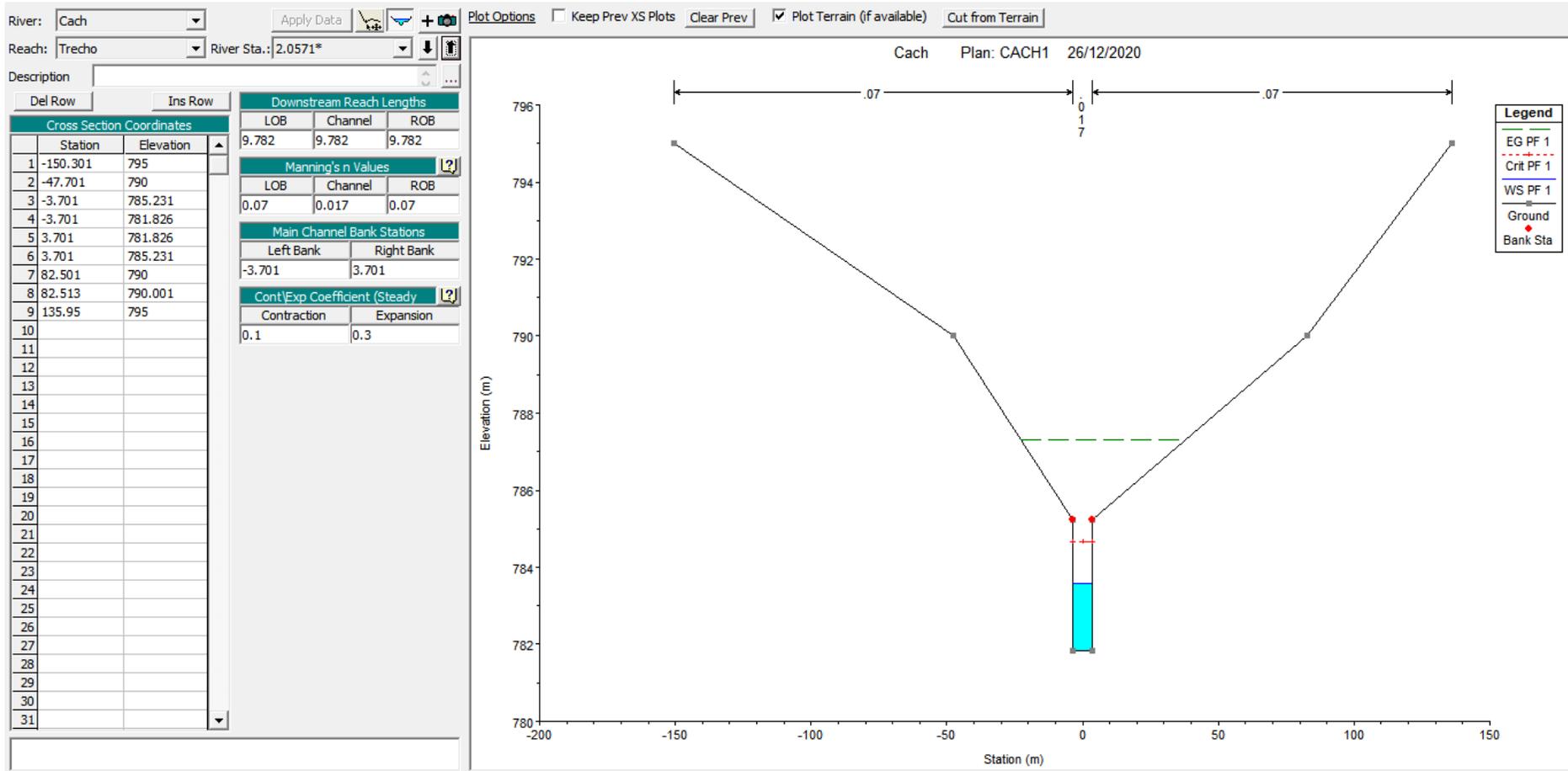
SEÇÃO 2



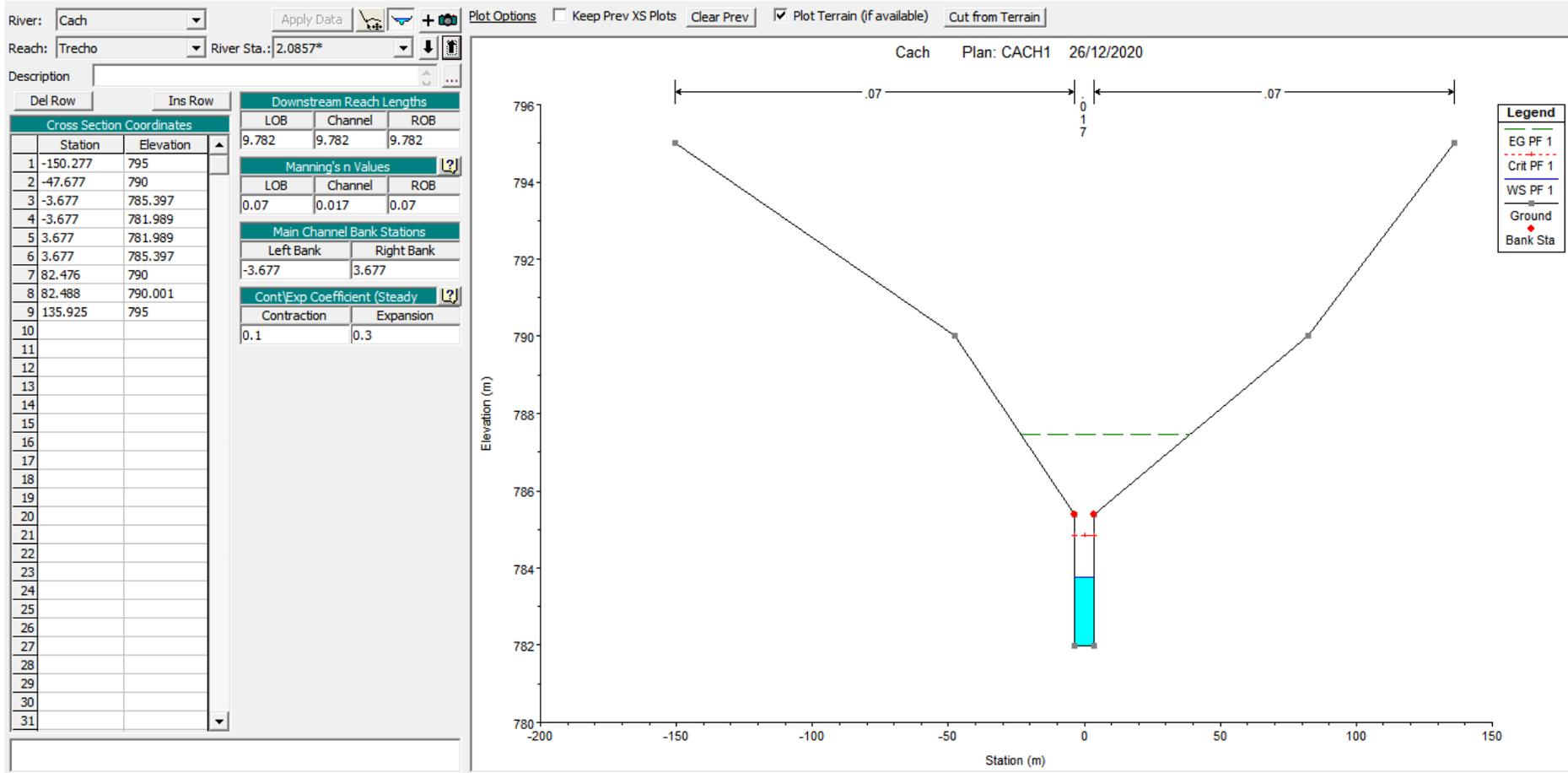
SEÇÃO 2,0286



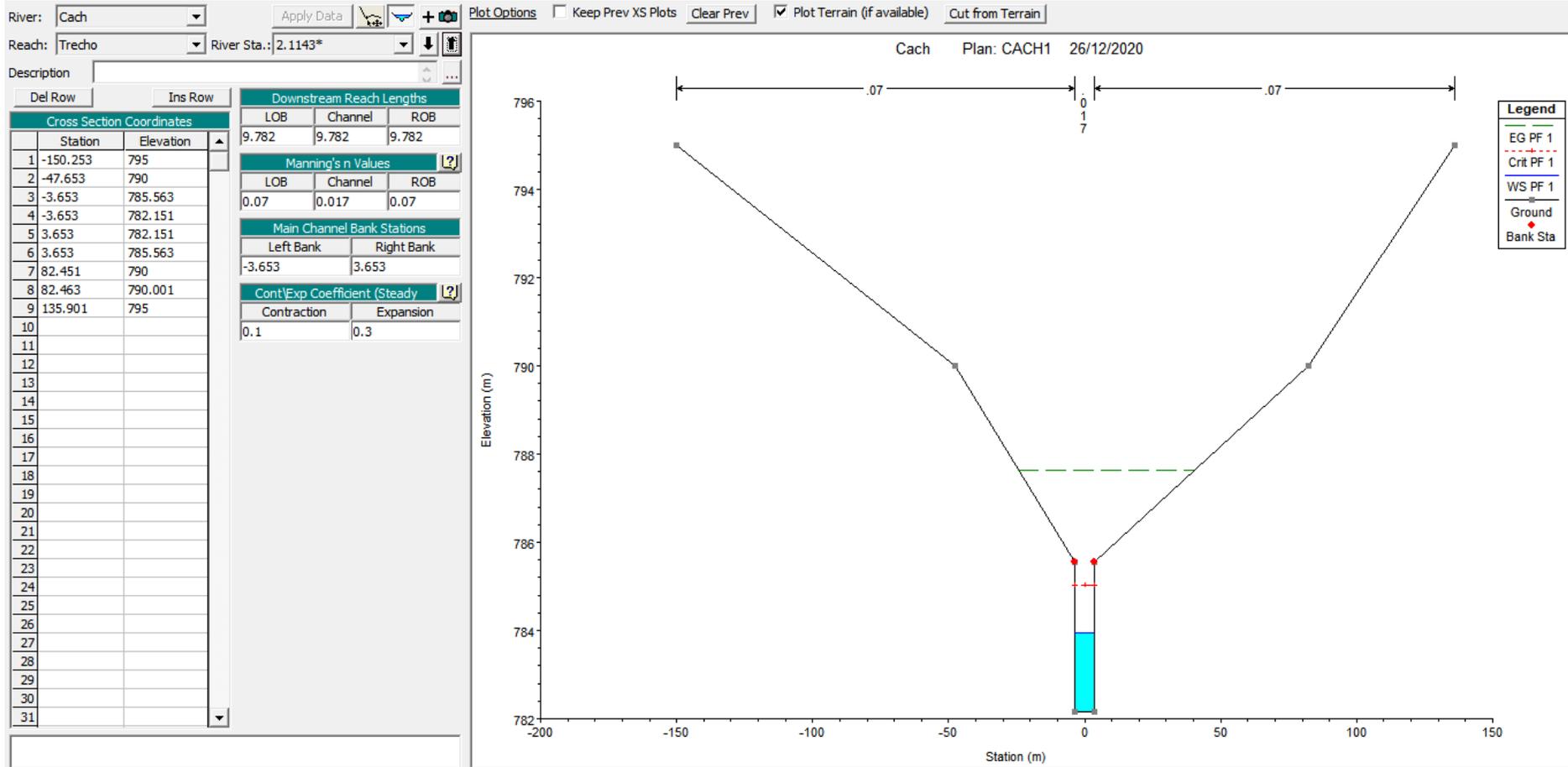
SEÇÃO 2,0571



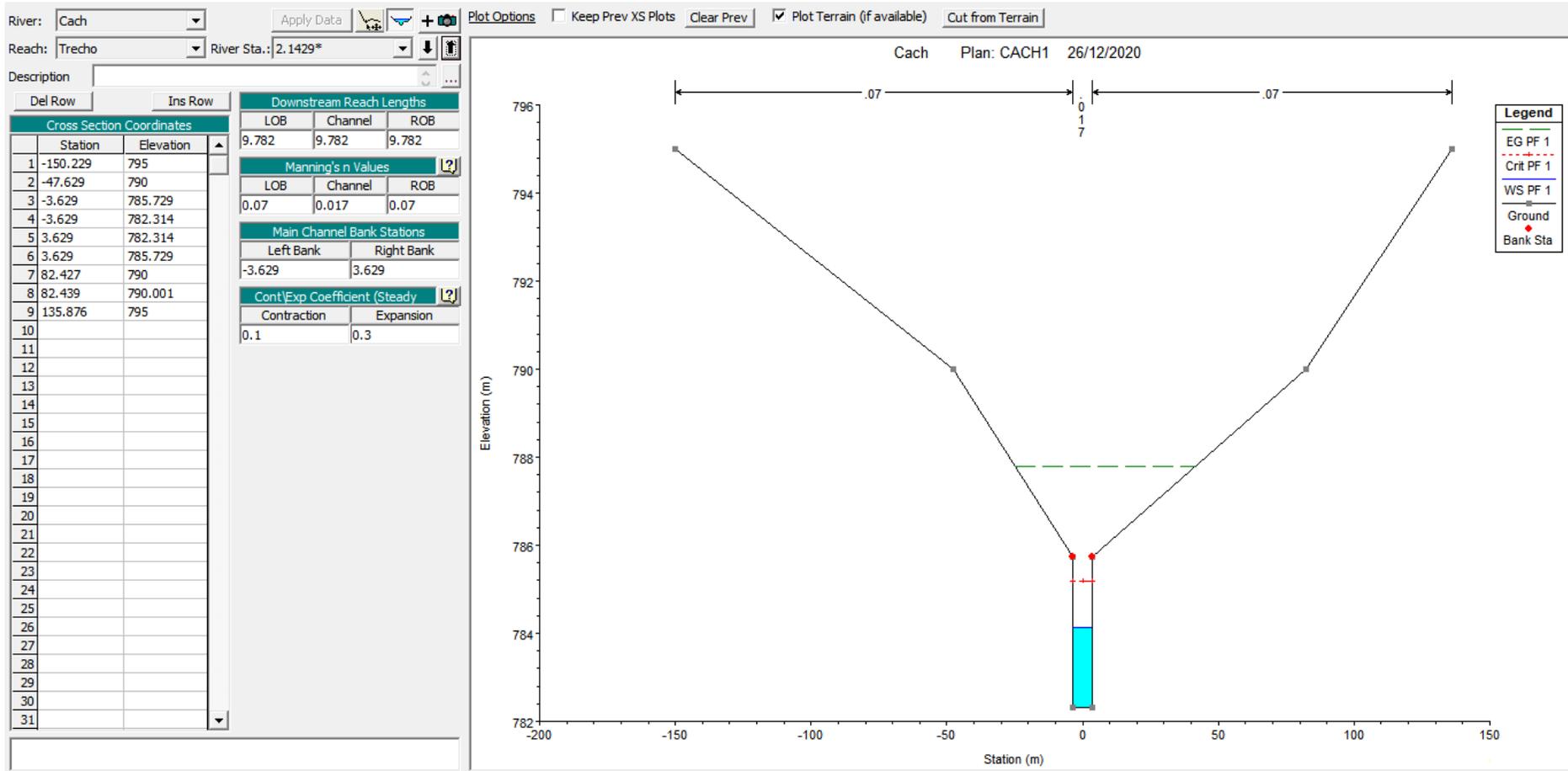
SEÇÃO 2,0857



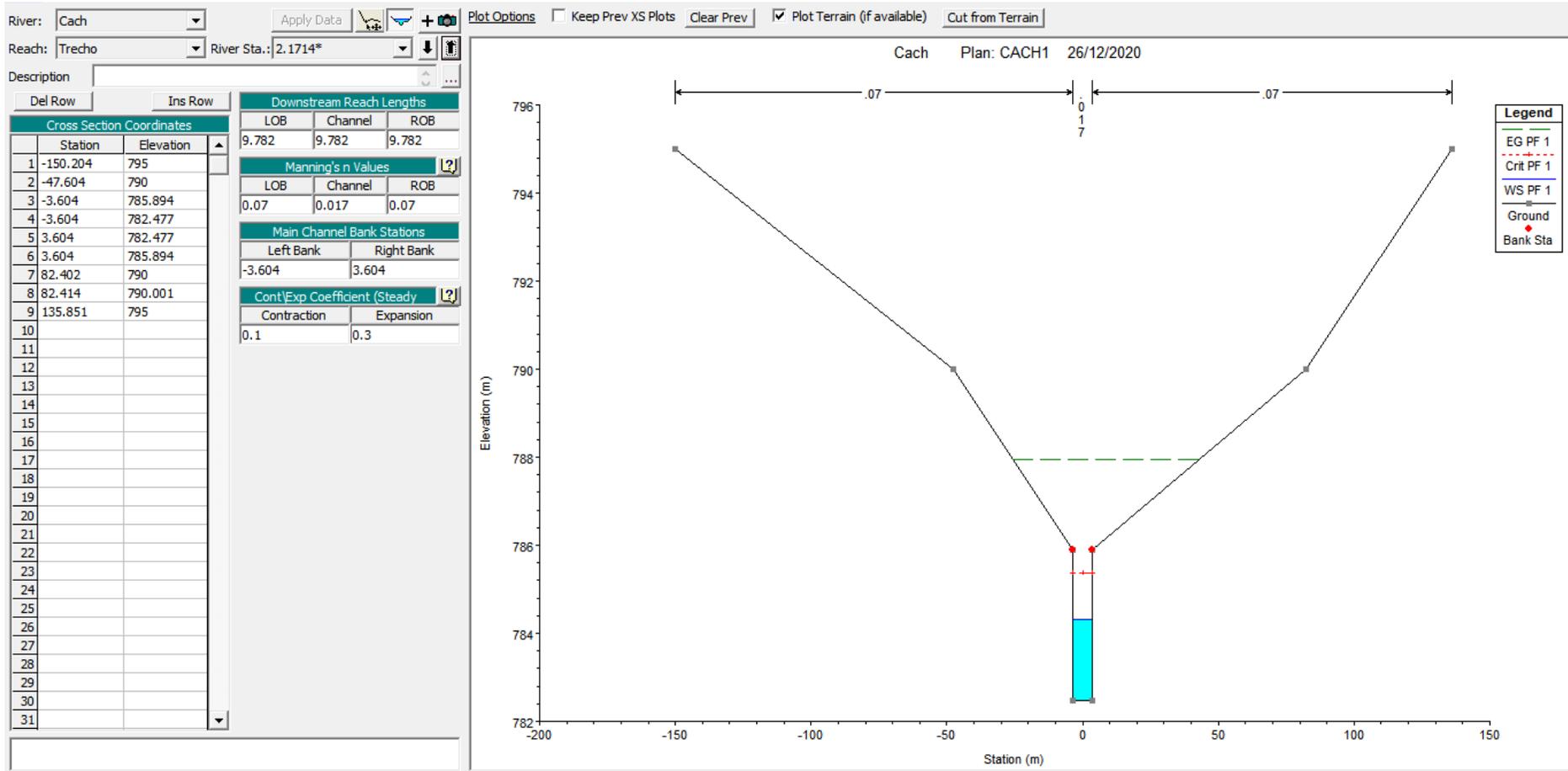
SEÇÃO 2,1143



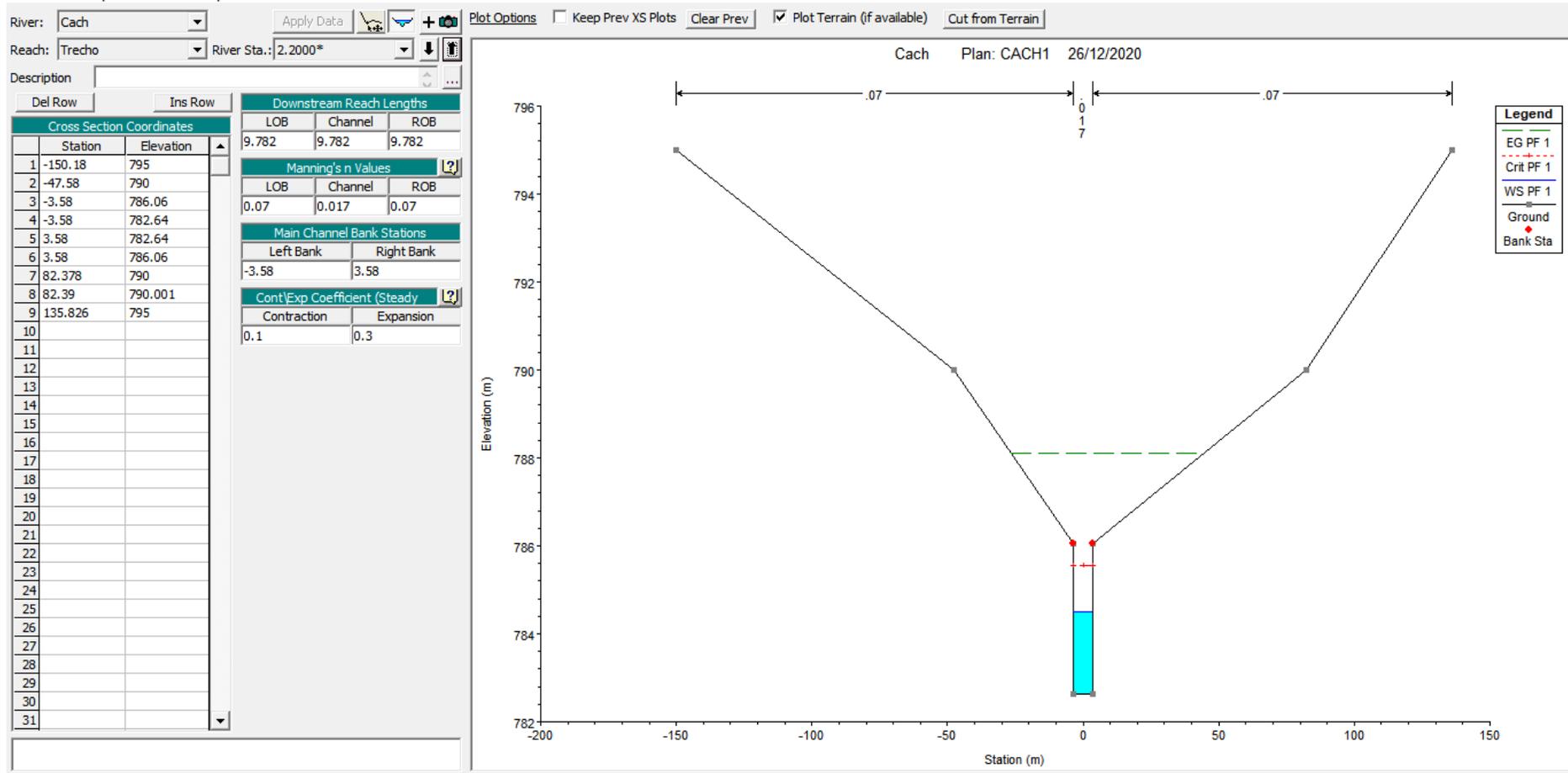
SEÇÃO 2,1429



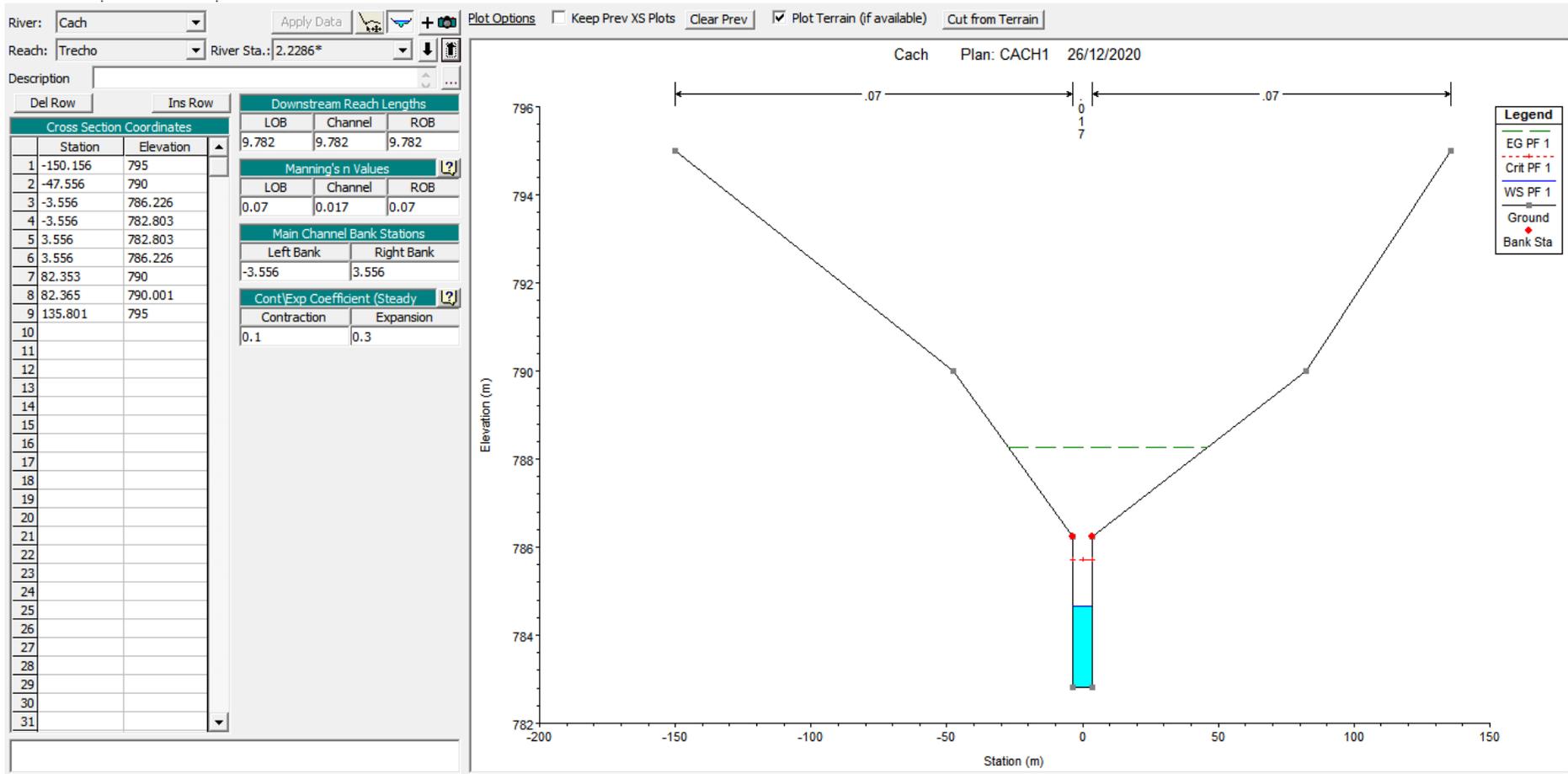
SEÇÃO 2,1714



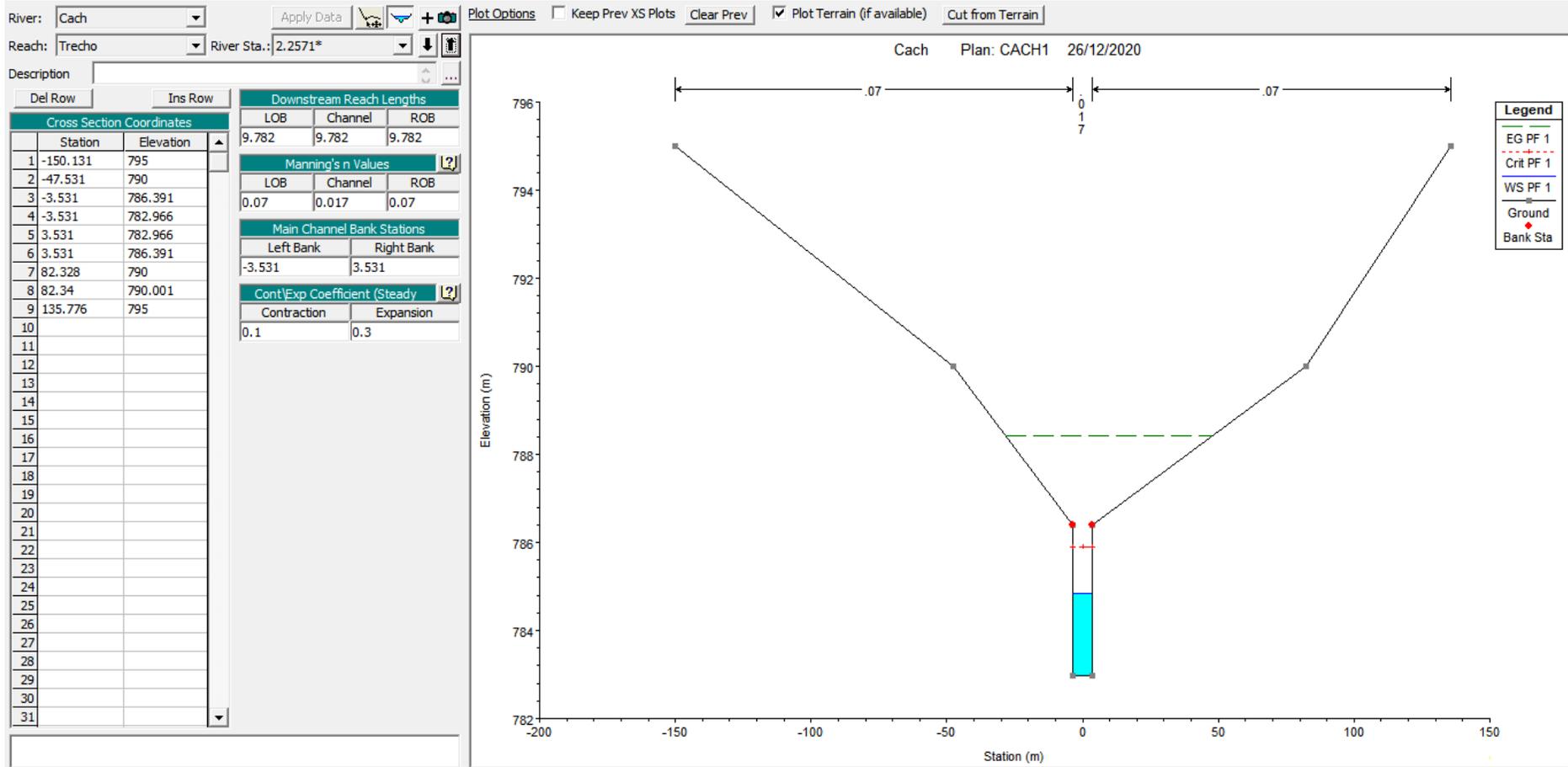
SEÇÃO 2,2000



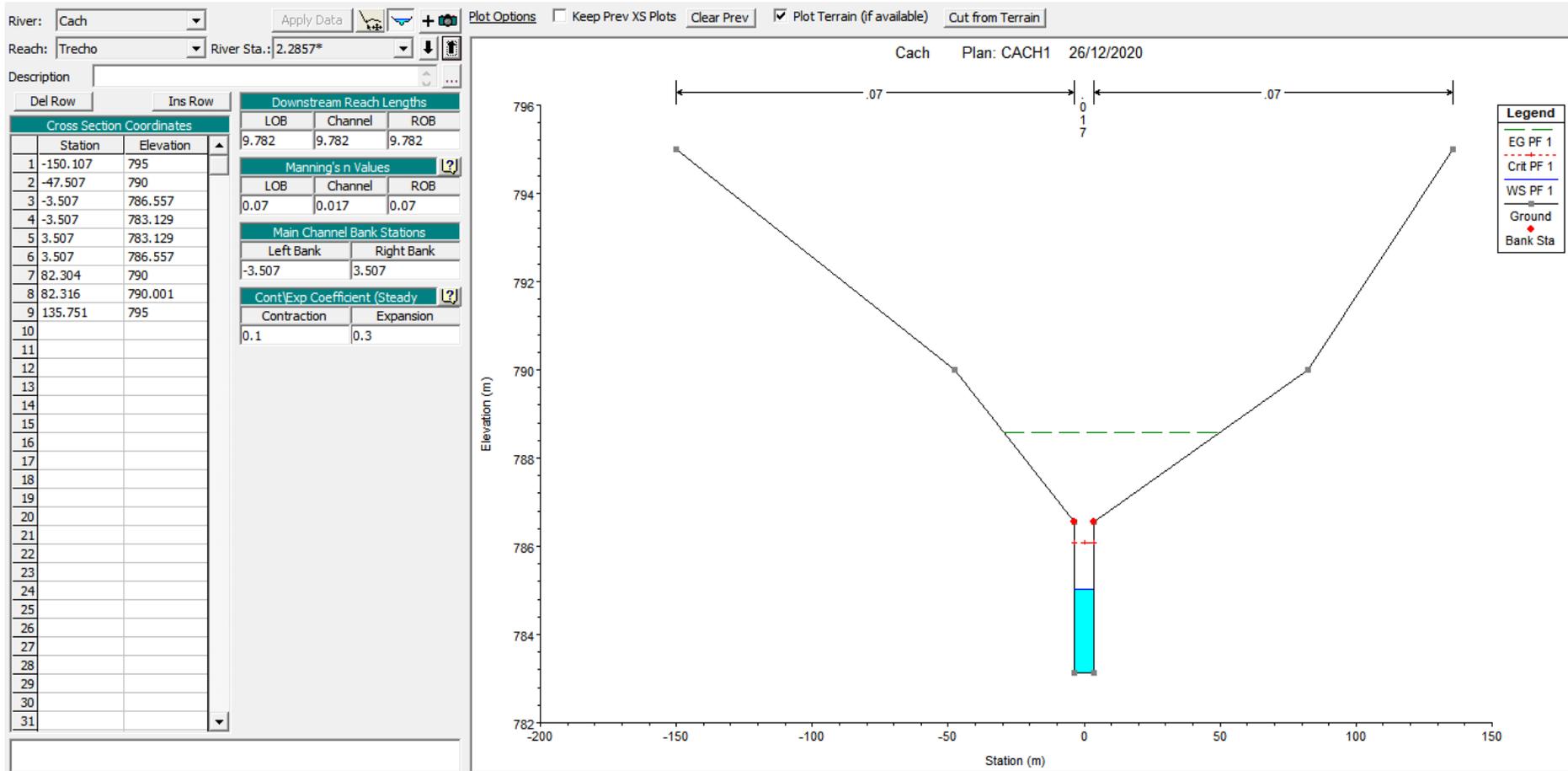
SEÇÃO 2,2286



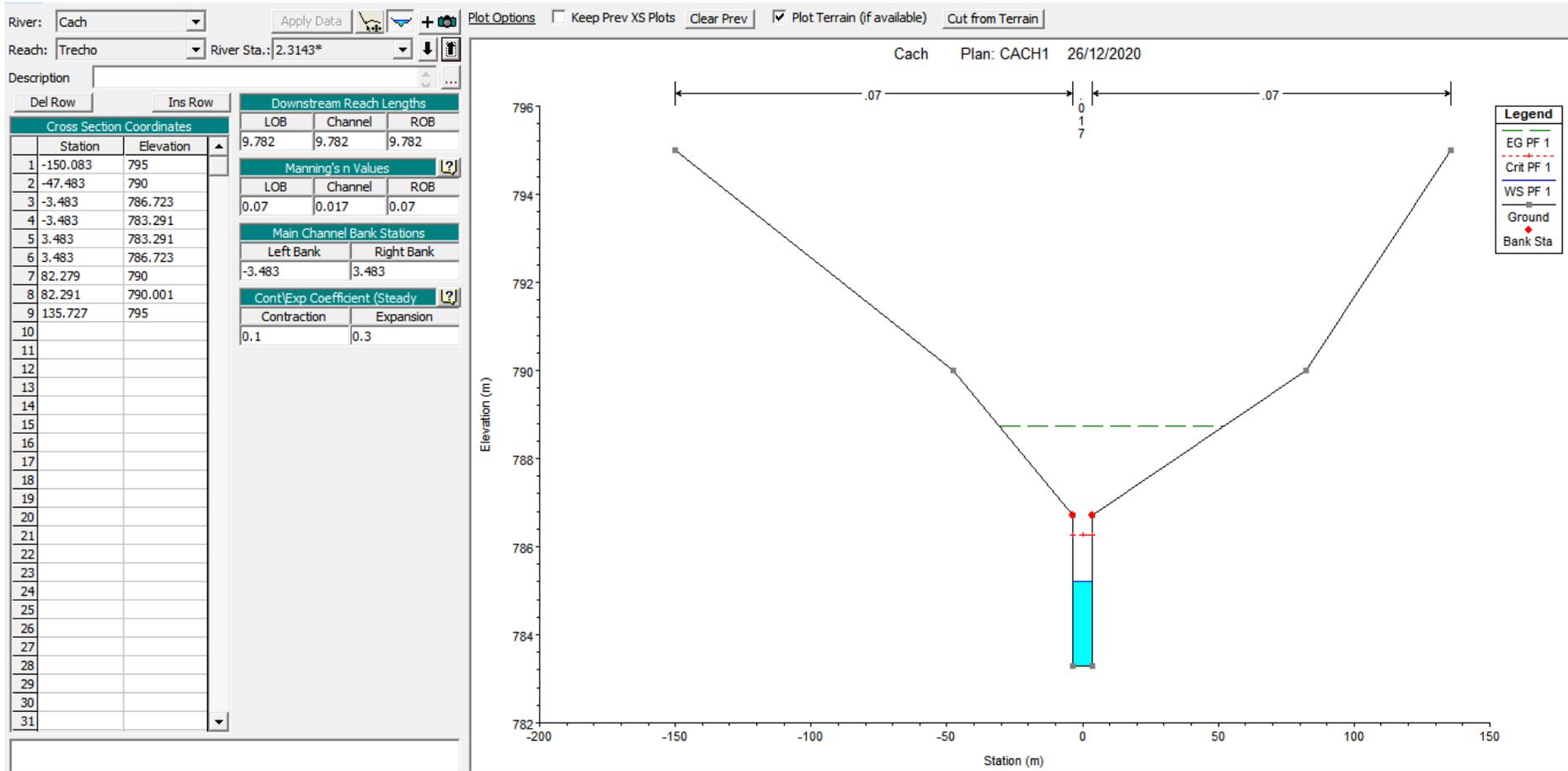
SEÇÃO 2,2571



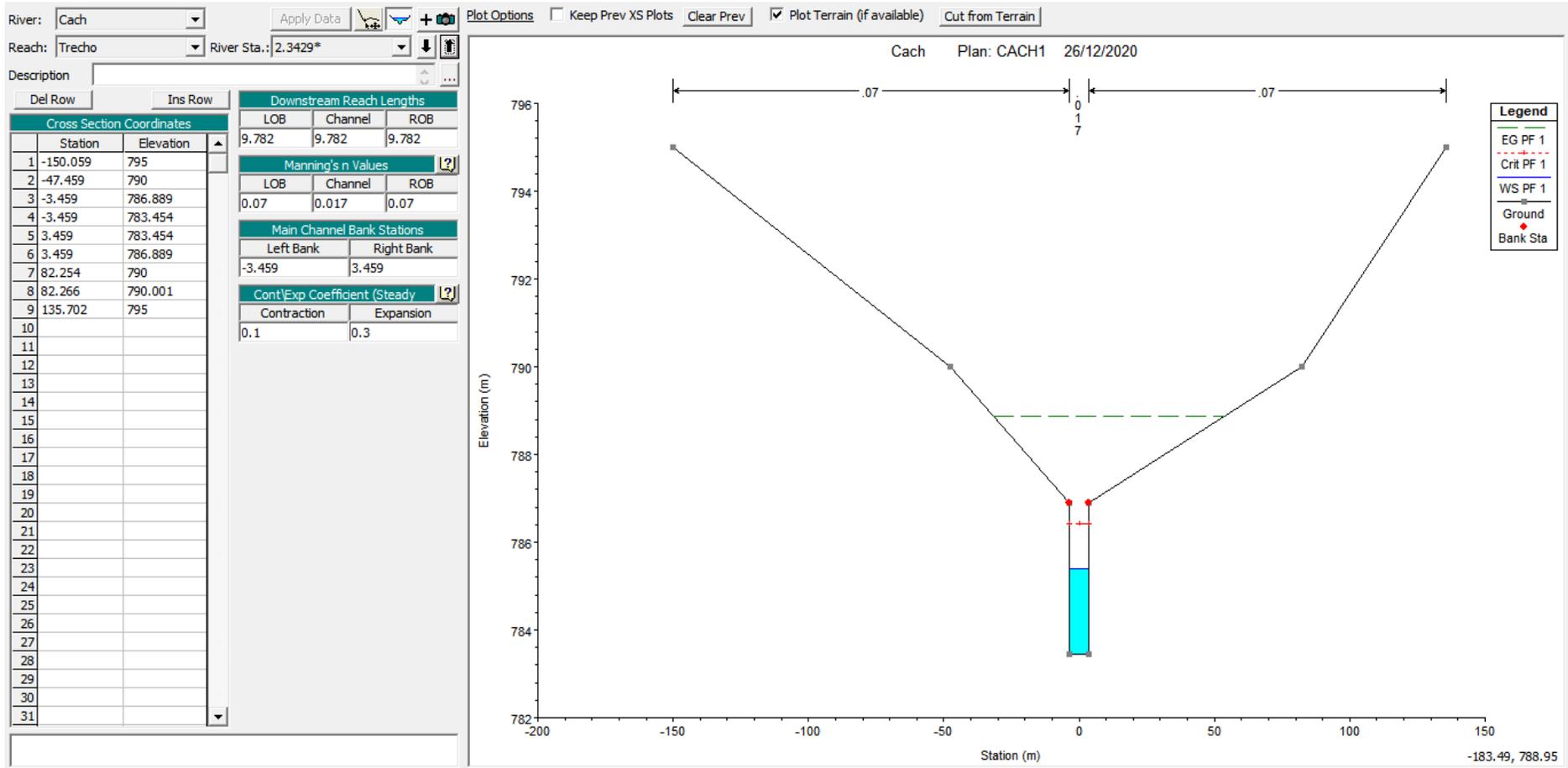
SEÇÃO 2,2857



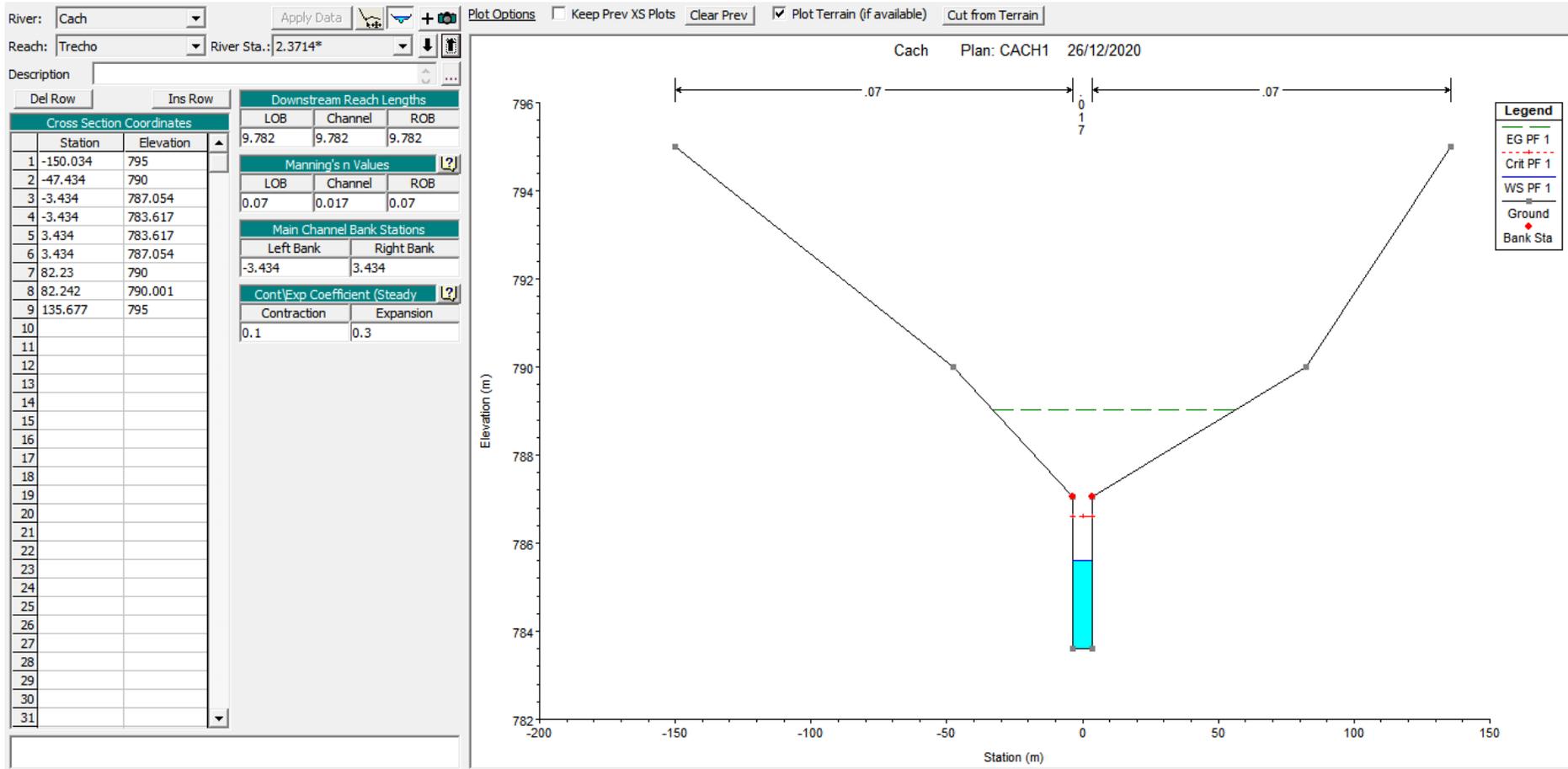
SEÇÃO 2,3143



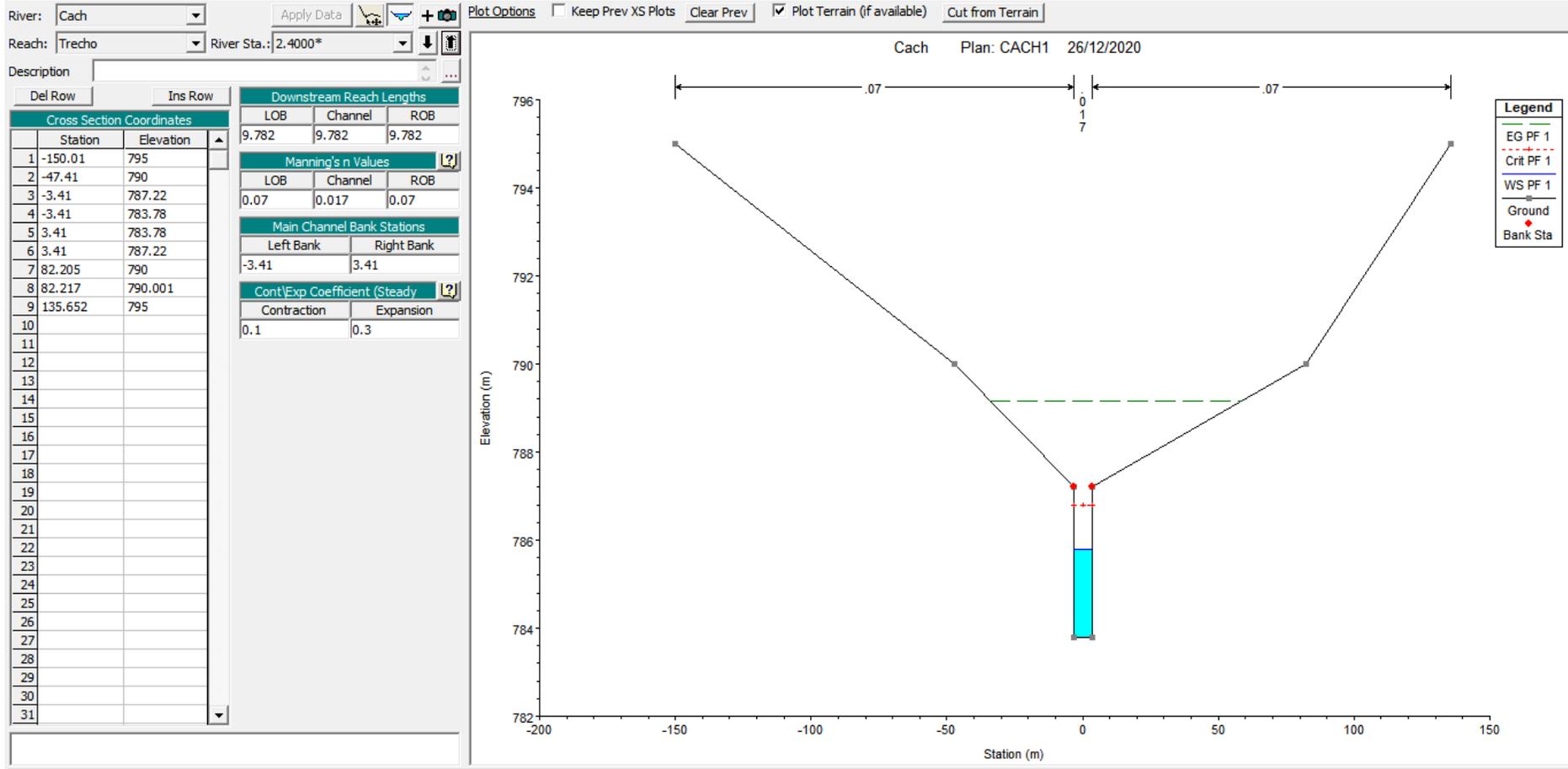
SEÇÃO 2,3429



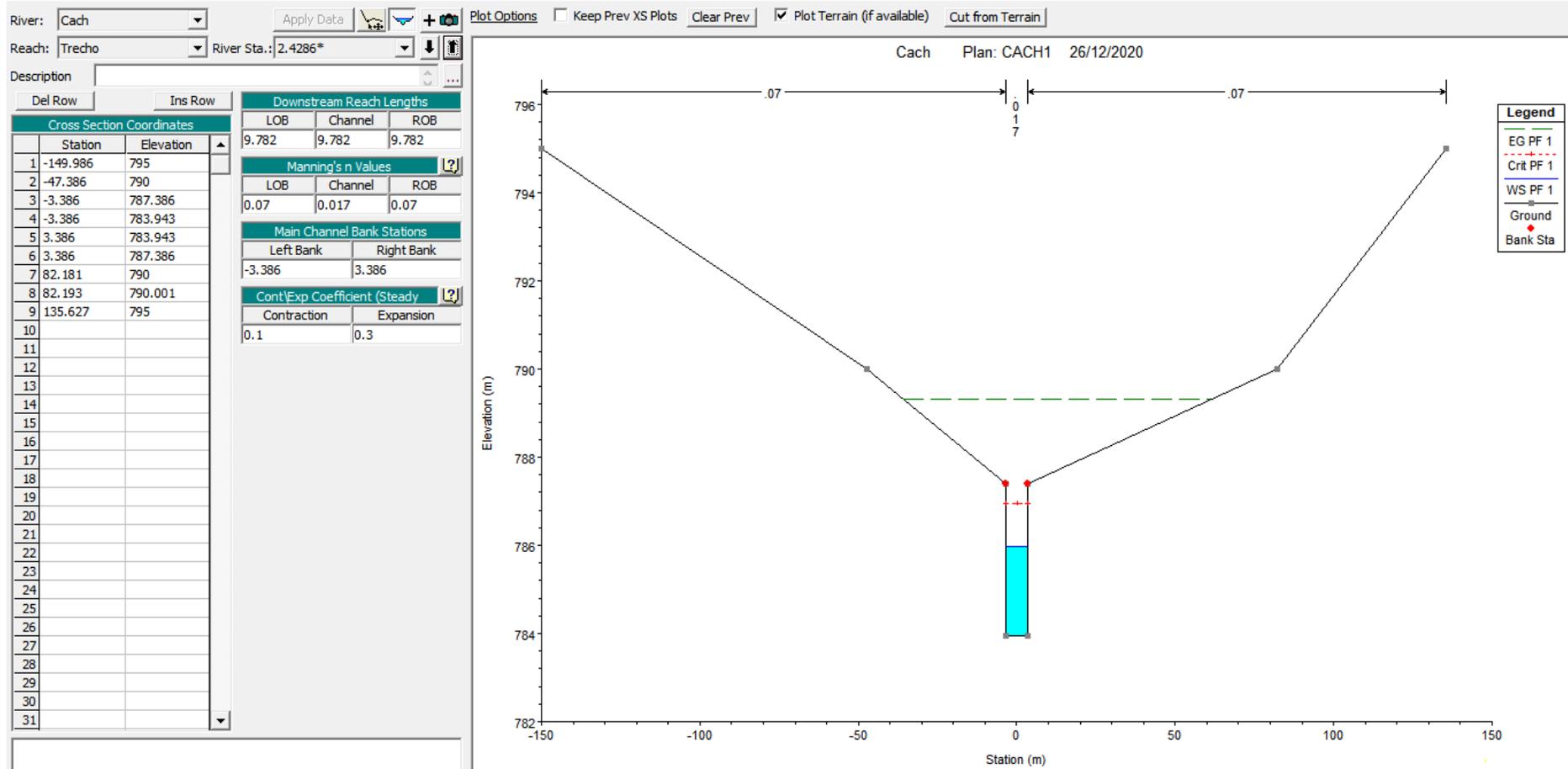
SEÇÃO 2,3714



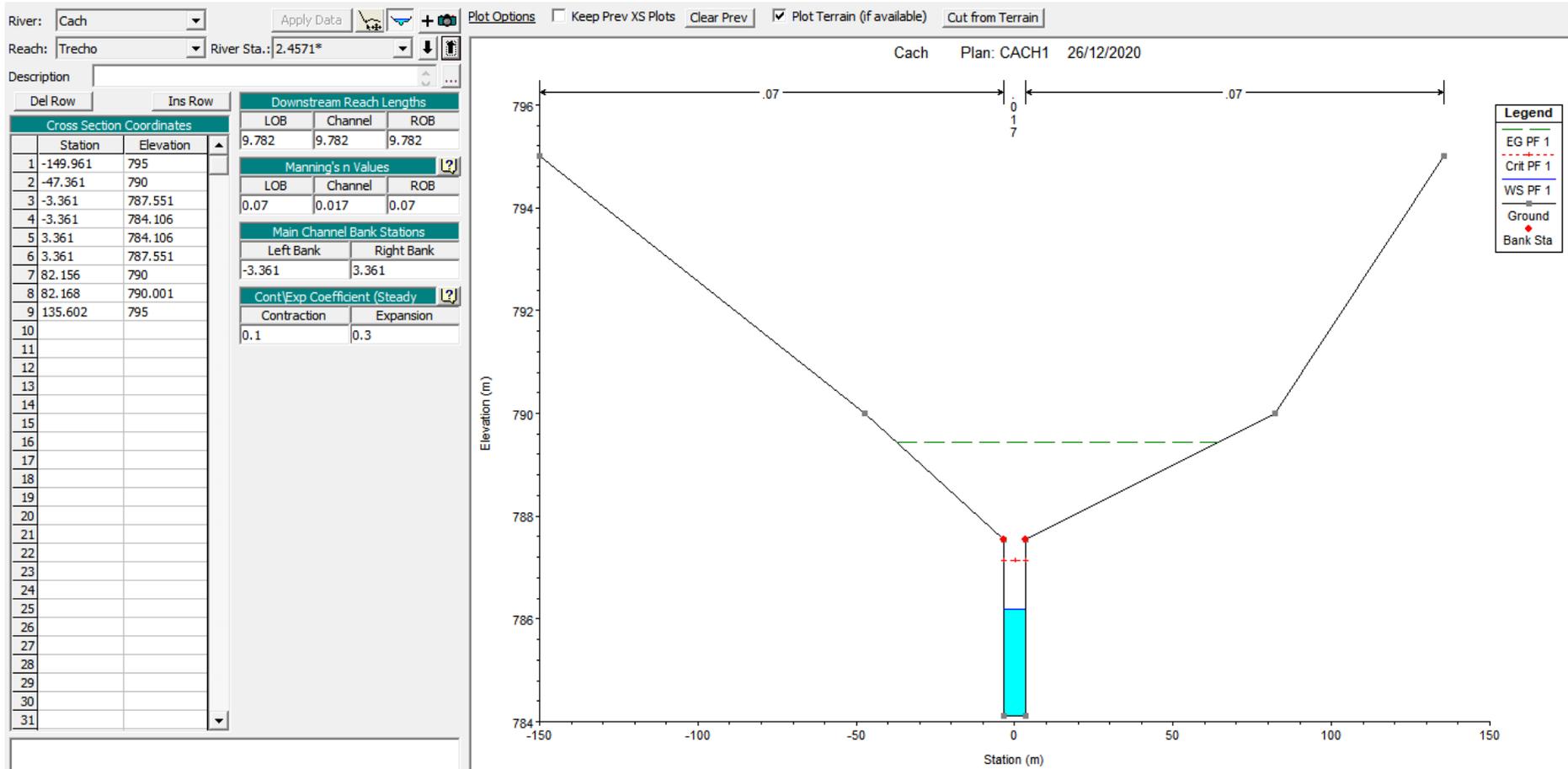
SEÇÃO 2,4000



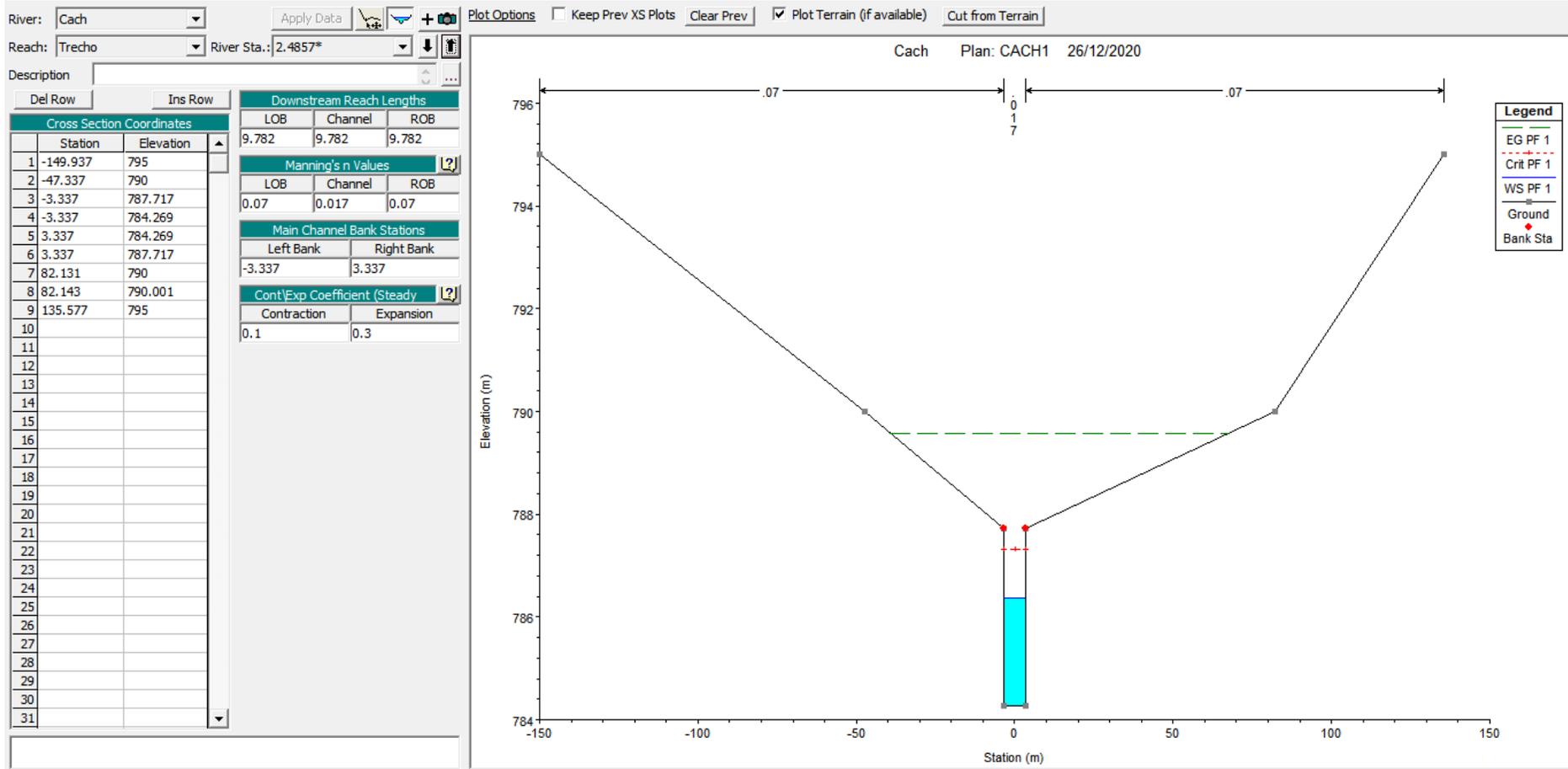
SEÇÃO 2,4286



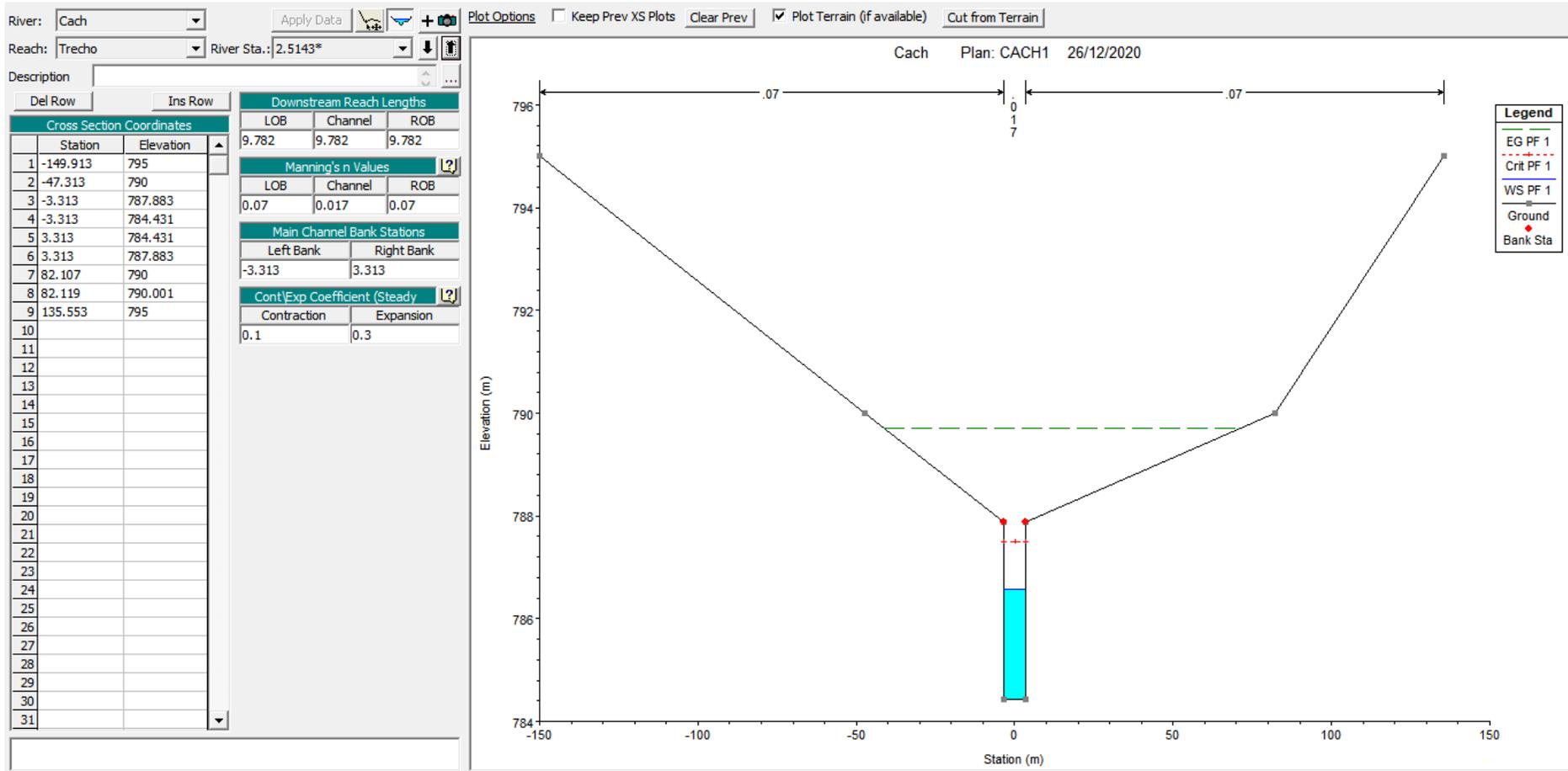
SEÇÃO 2,4571



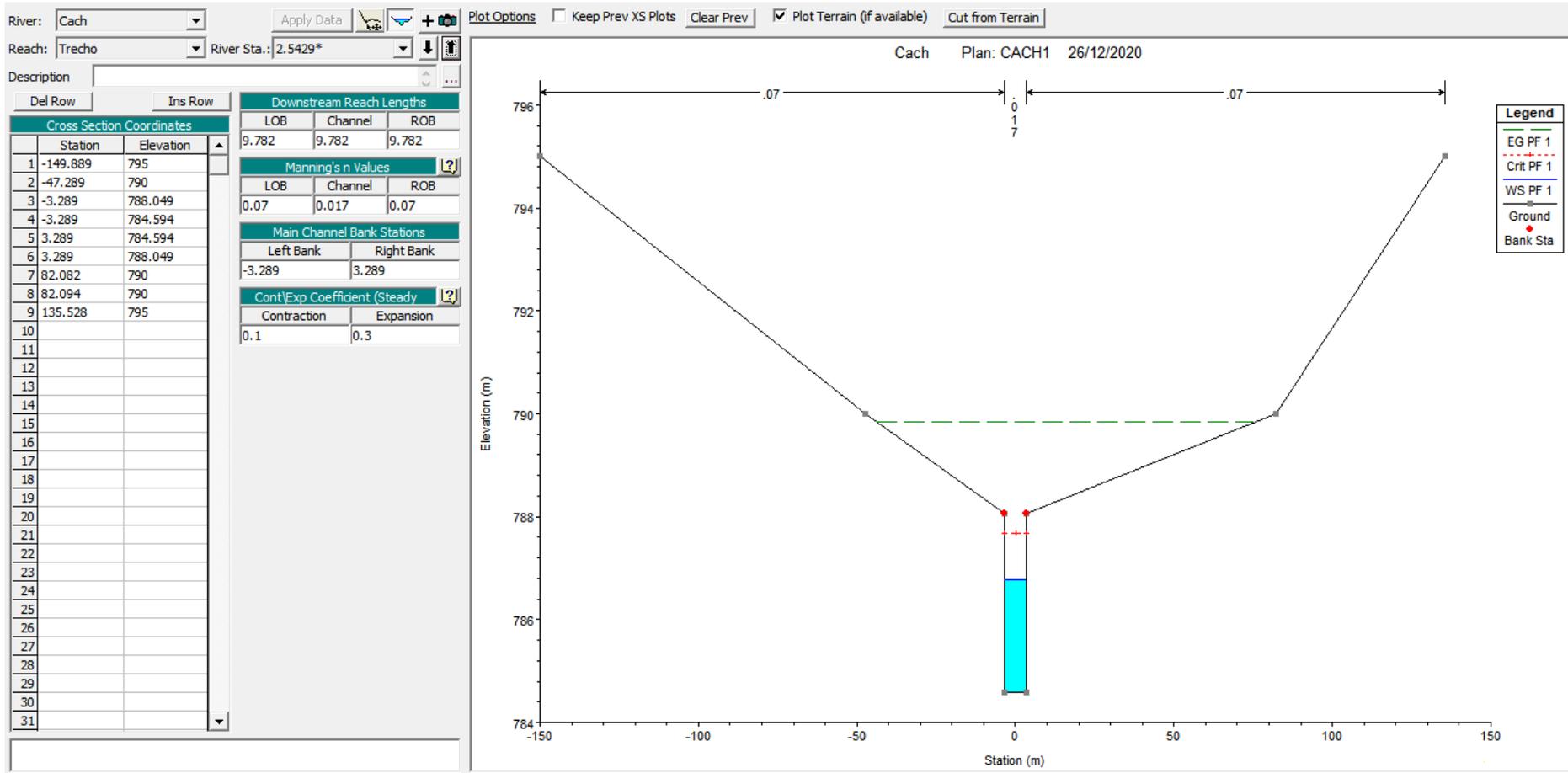
SEÇÃO 2,4857



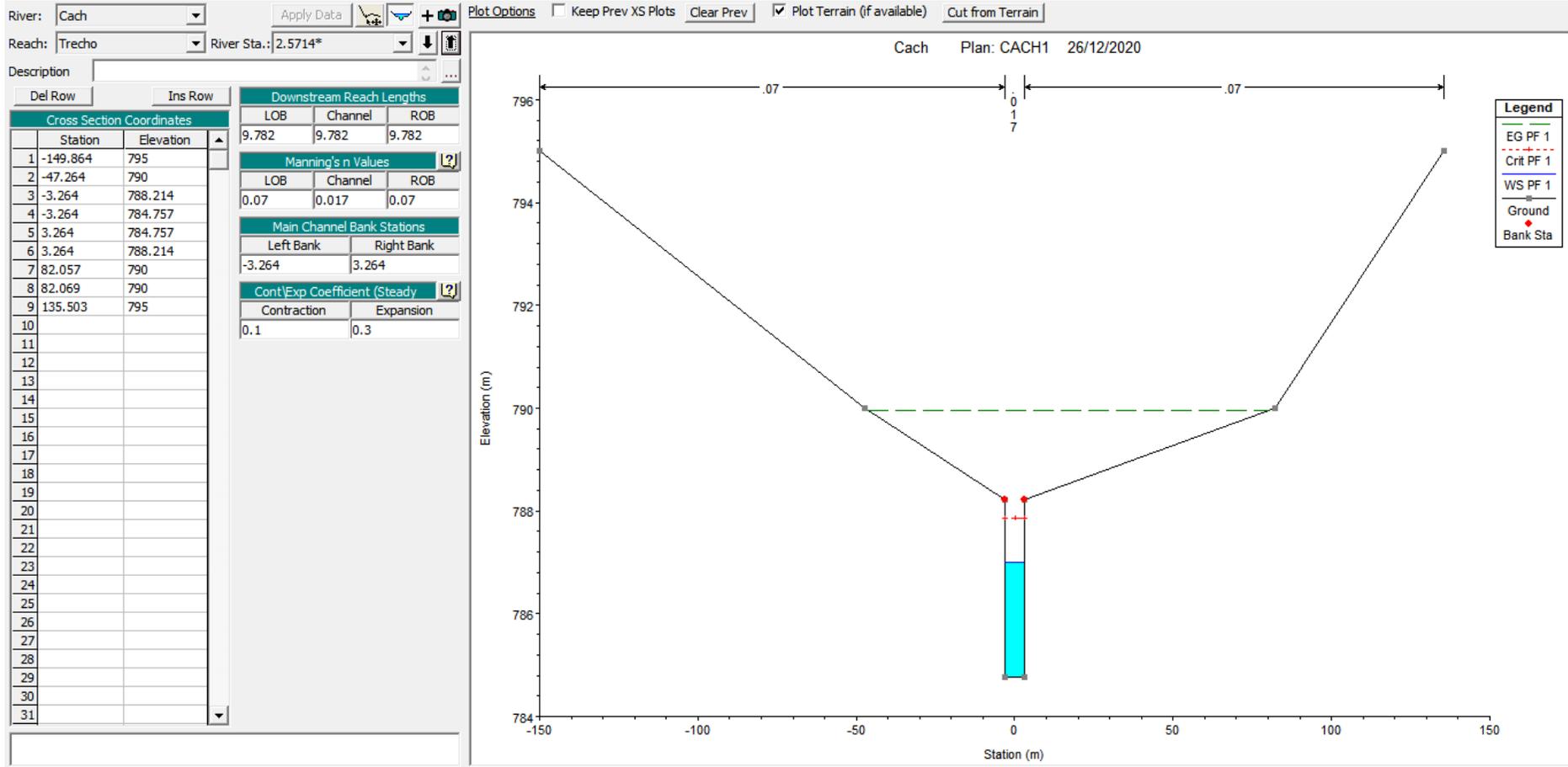
SEÇÃO 2,5143



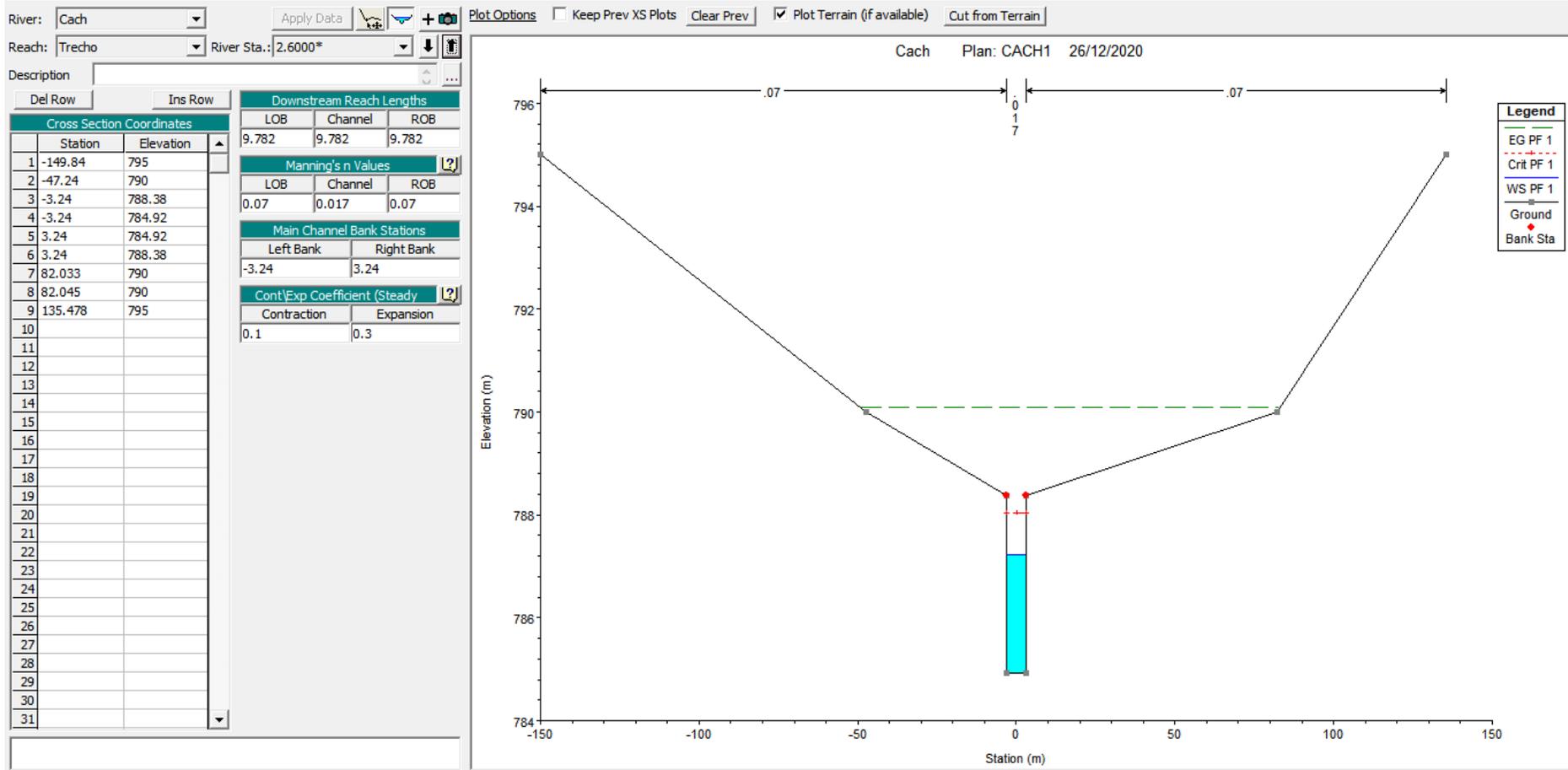
SEÇÃO 2,5429



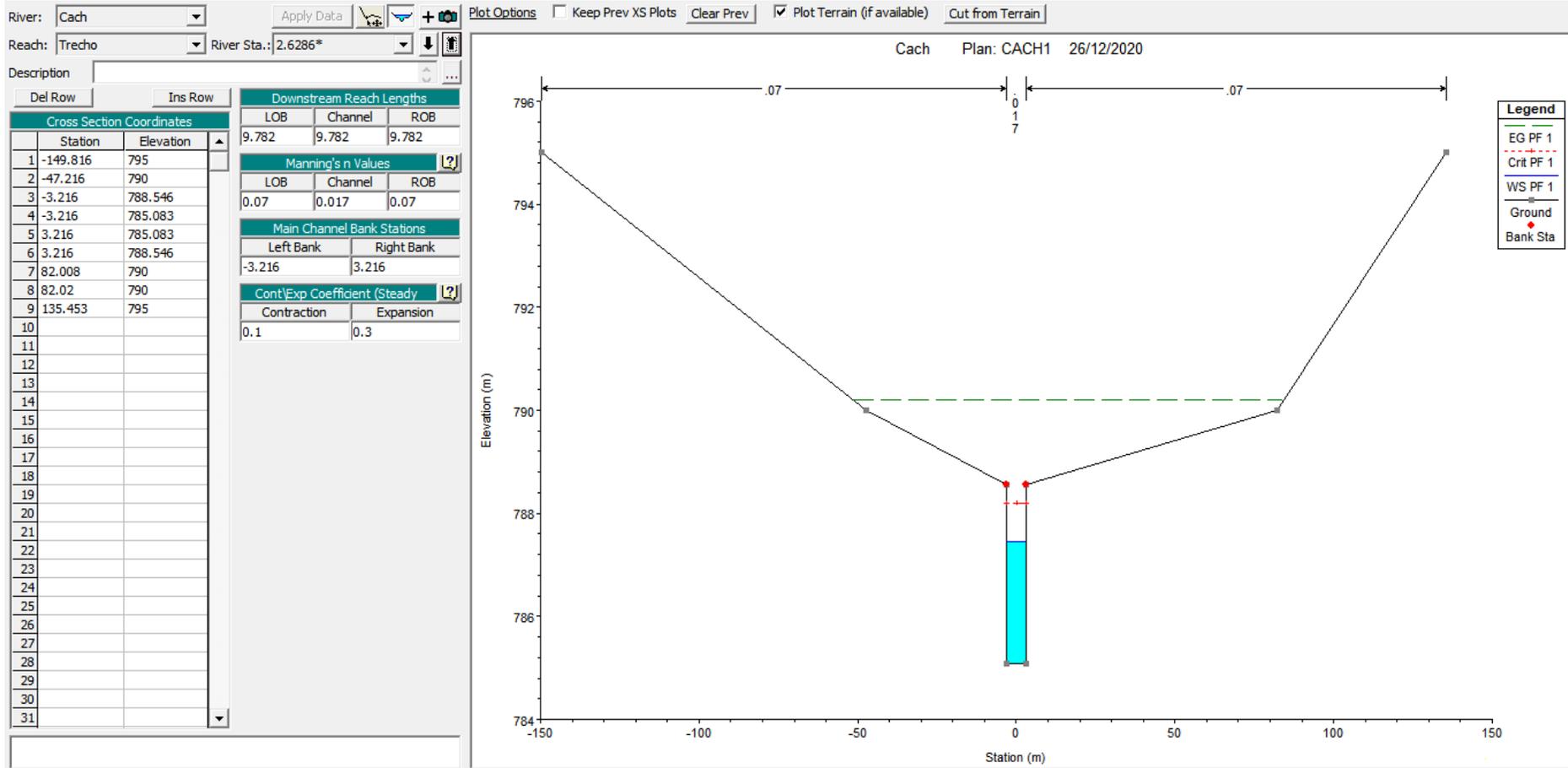
SEÇÃO 2,5714



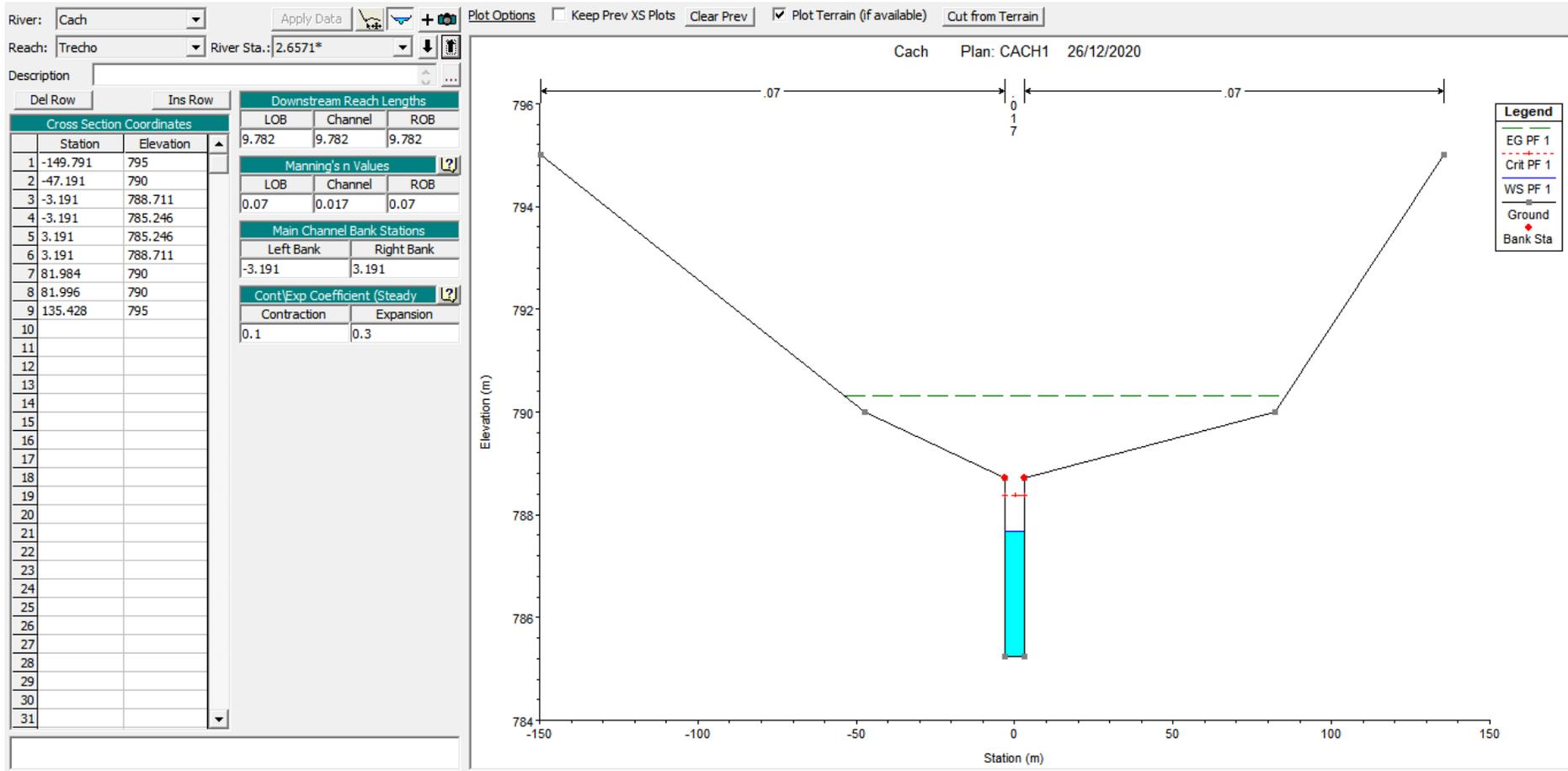
SEÇÃO 2,6000



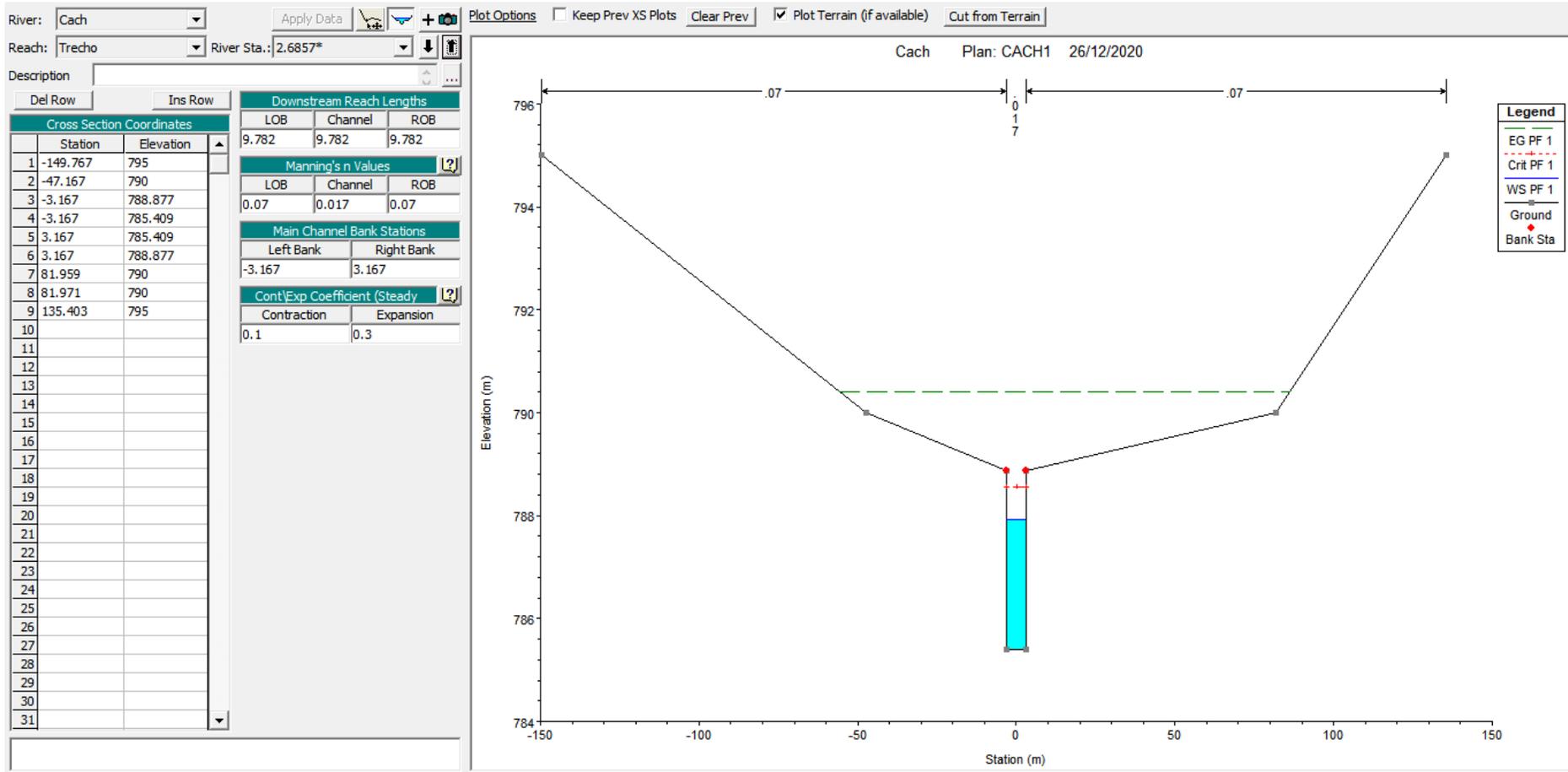
SEÇÃO 2,6286



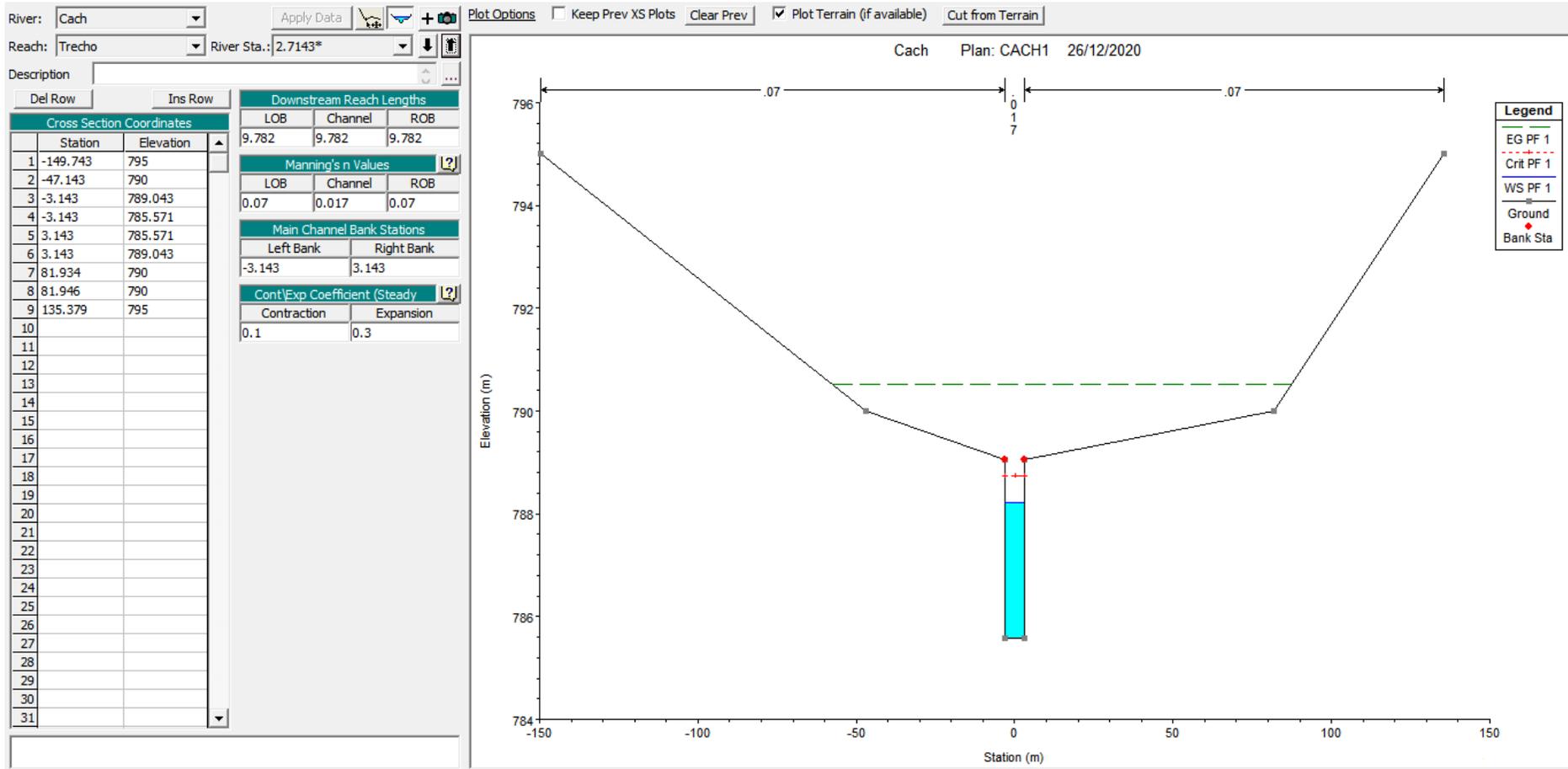
SEÇÃO 2,6571



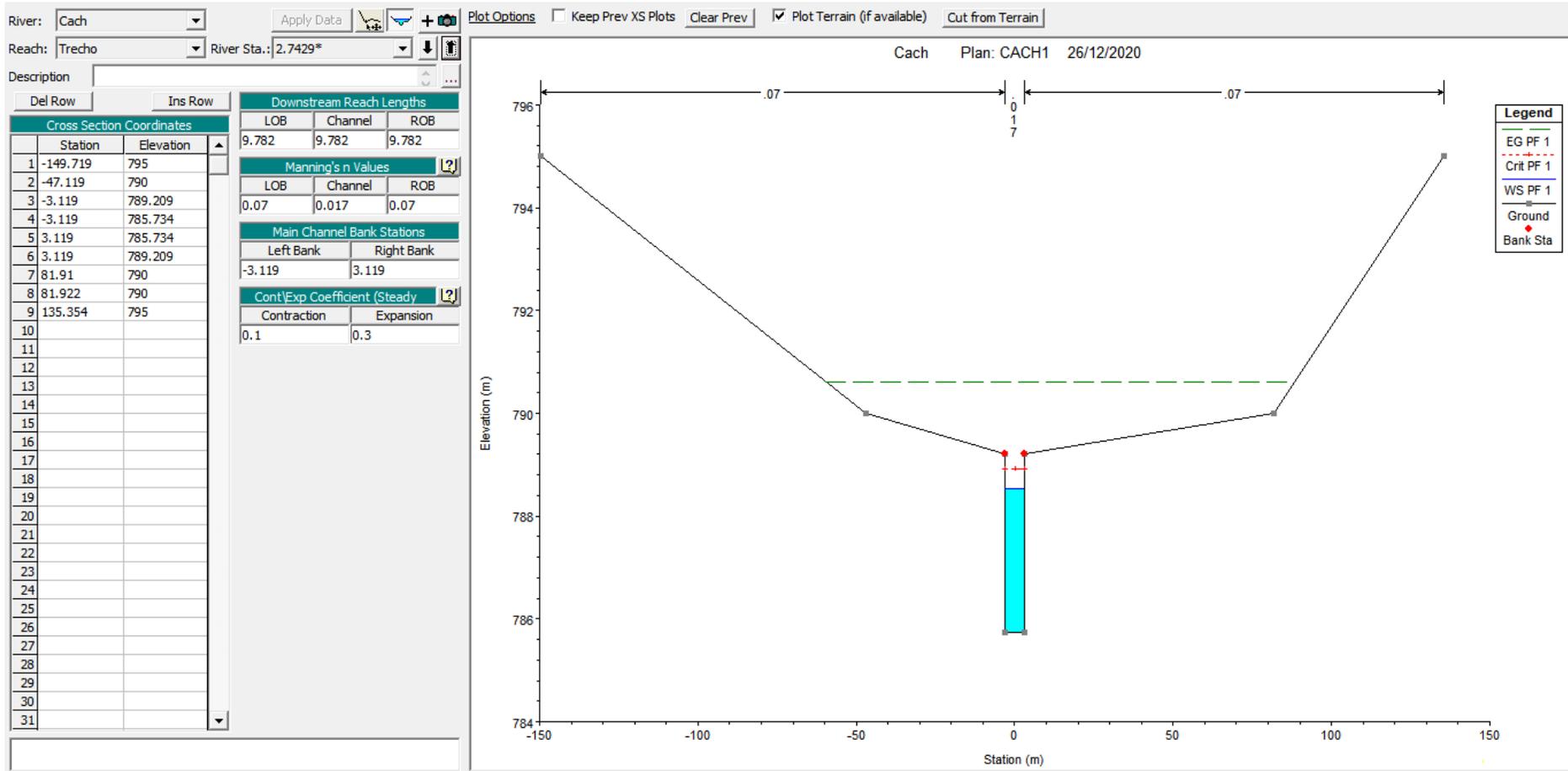
SEÇÃO 2,6857



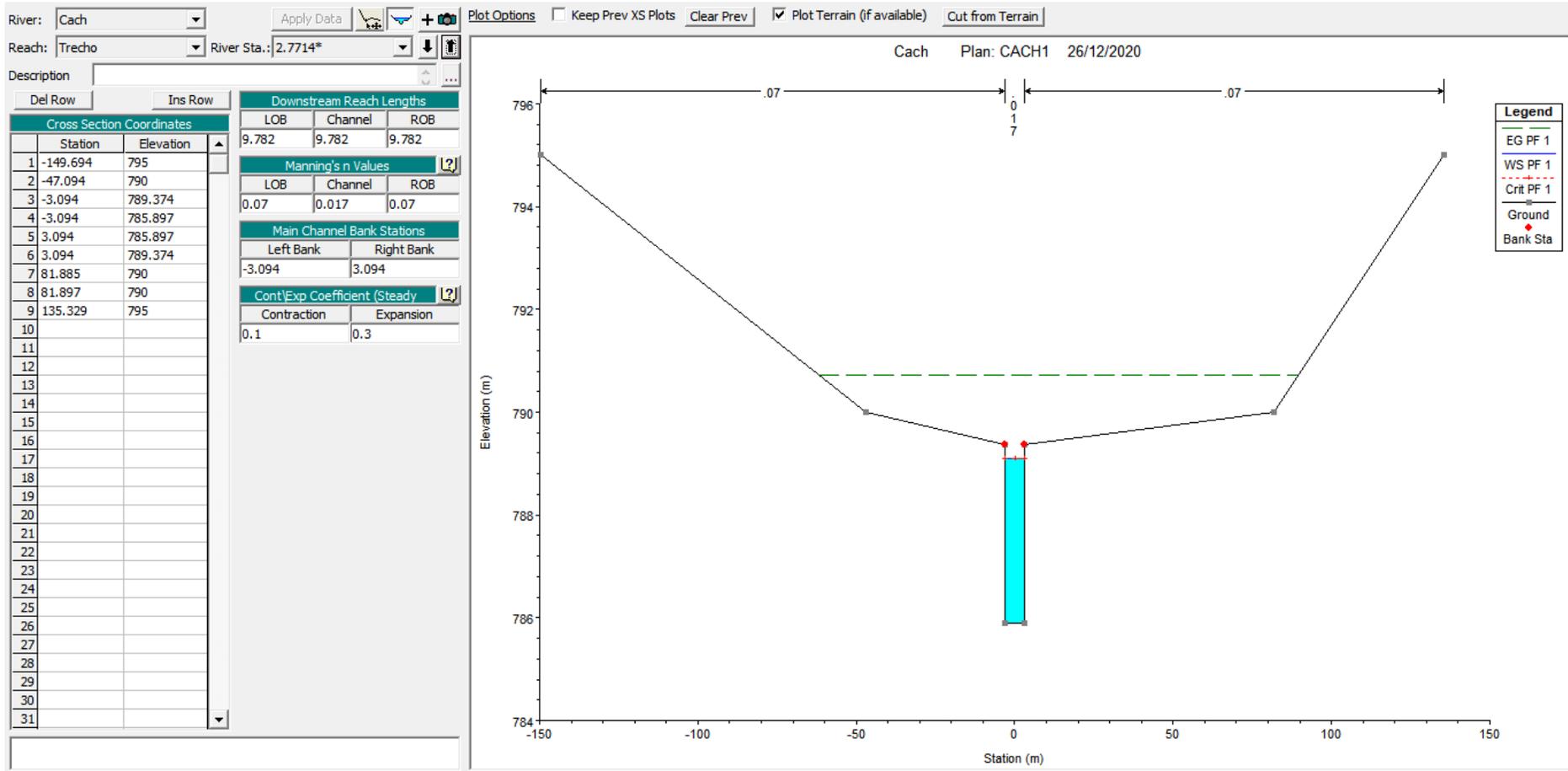
SEÇÃO 2,7143



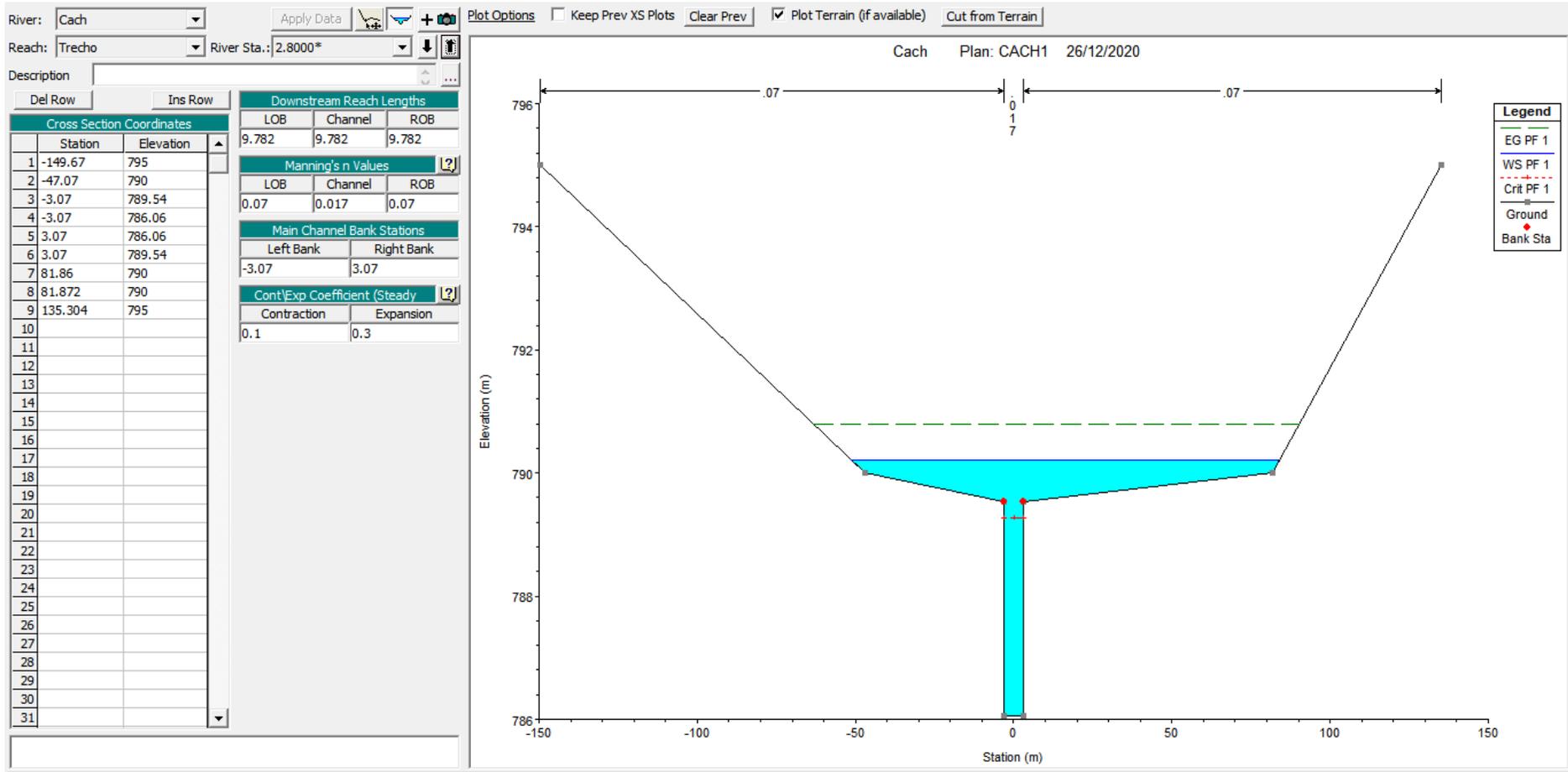
SEÇÃO 2,7429



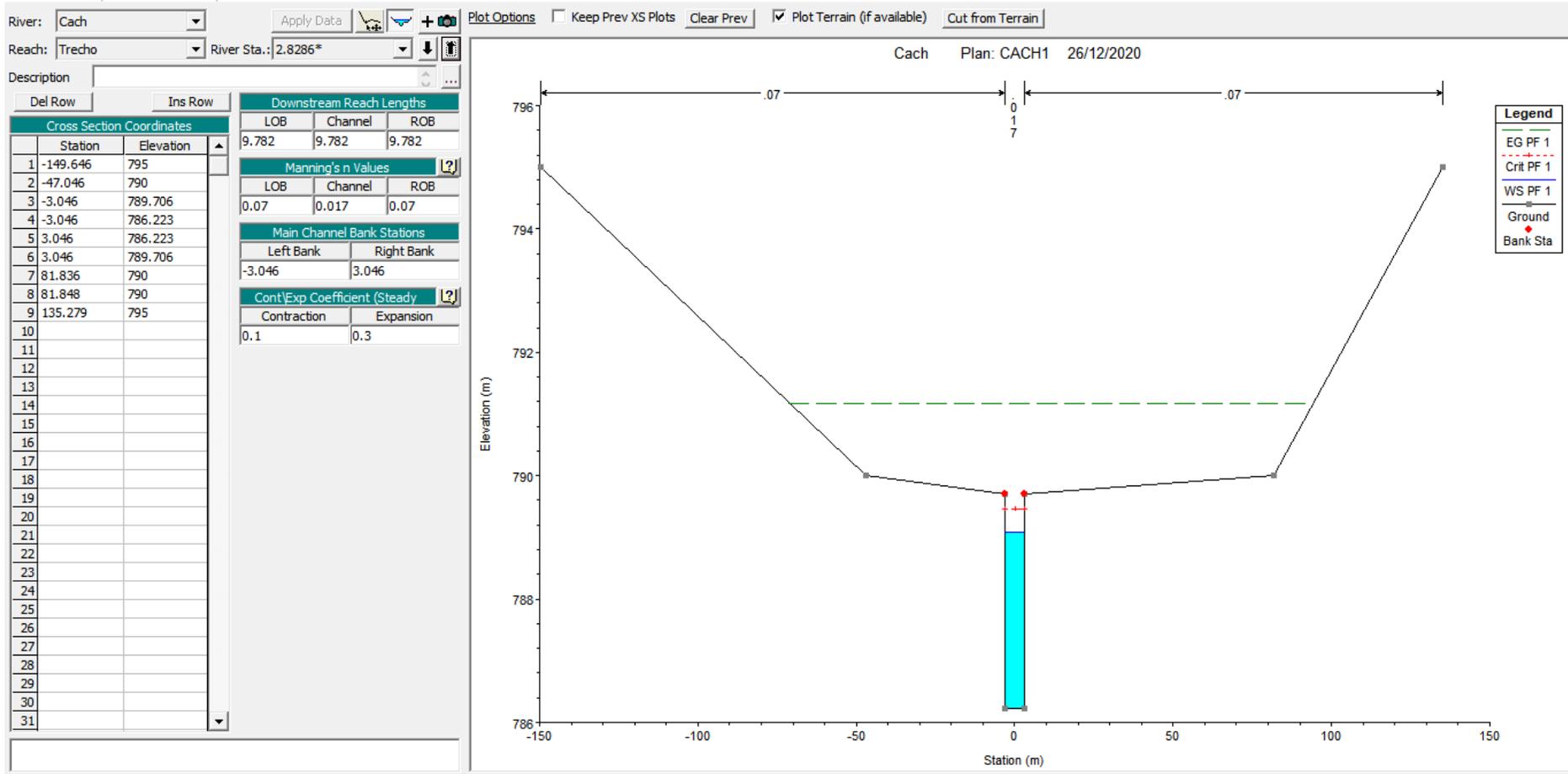
SEÇÃO 2,7714



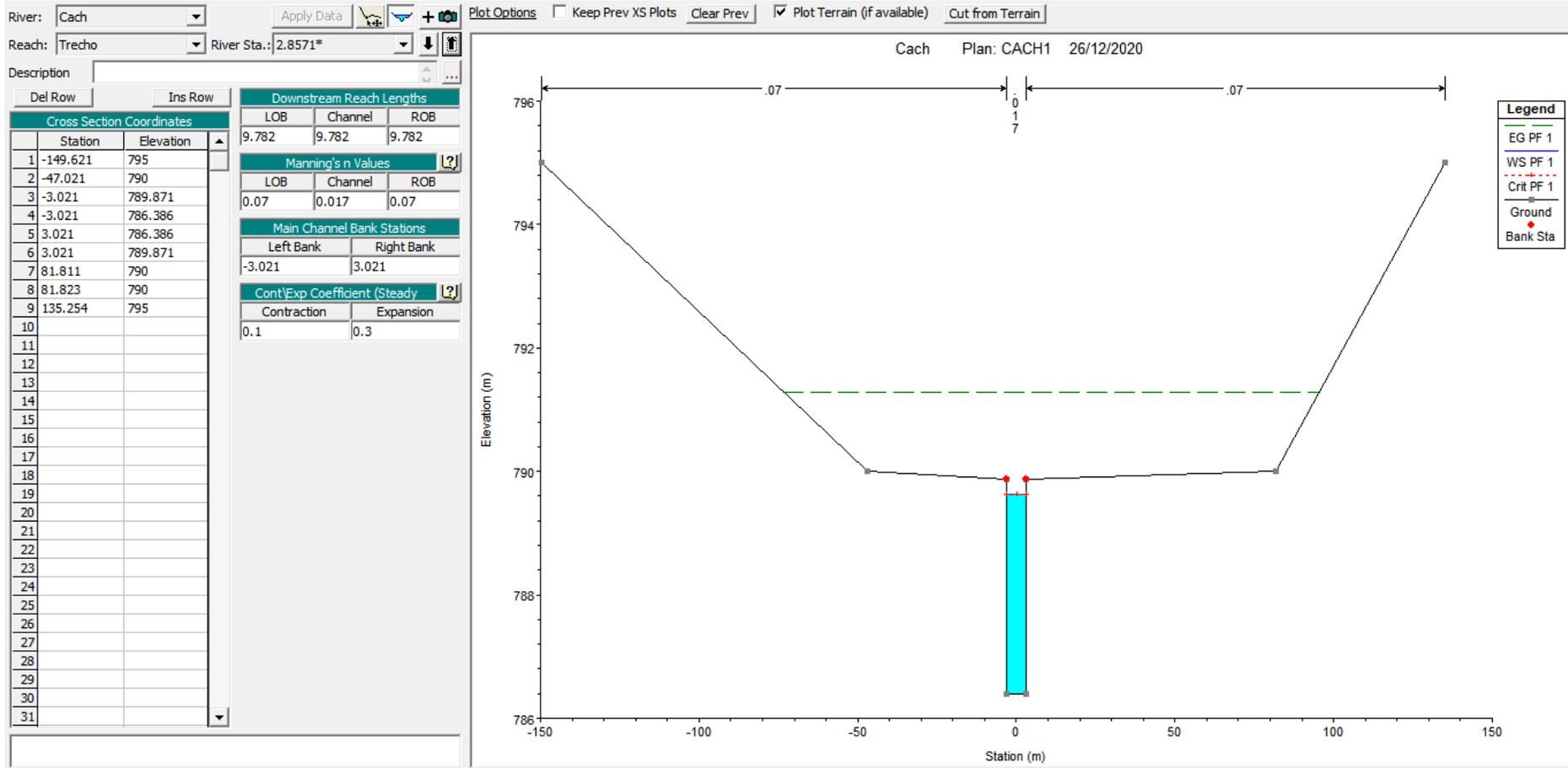
SEÇÃO 2,8000



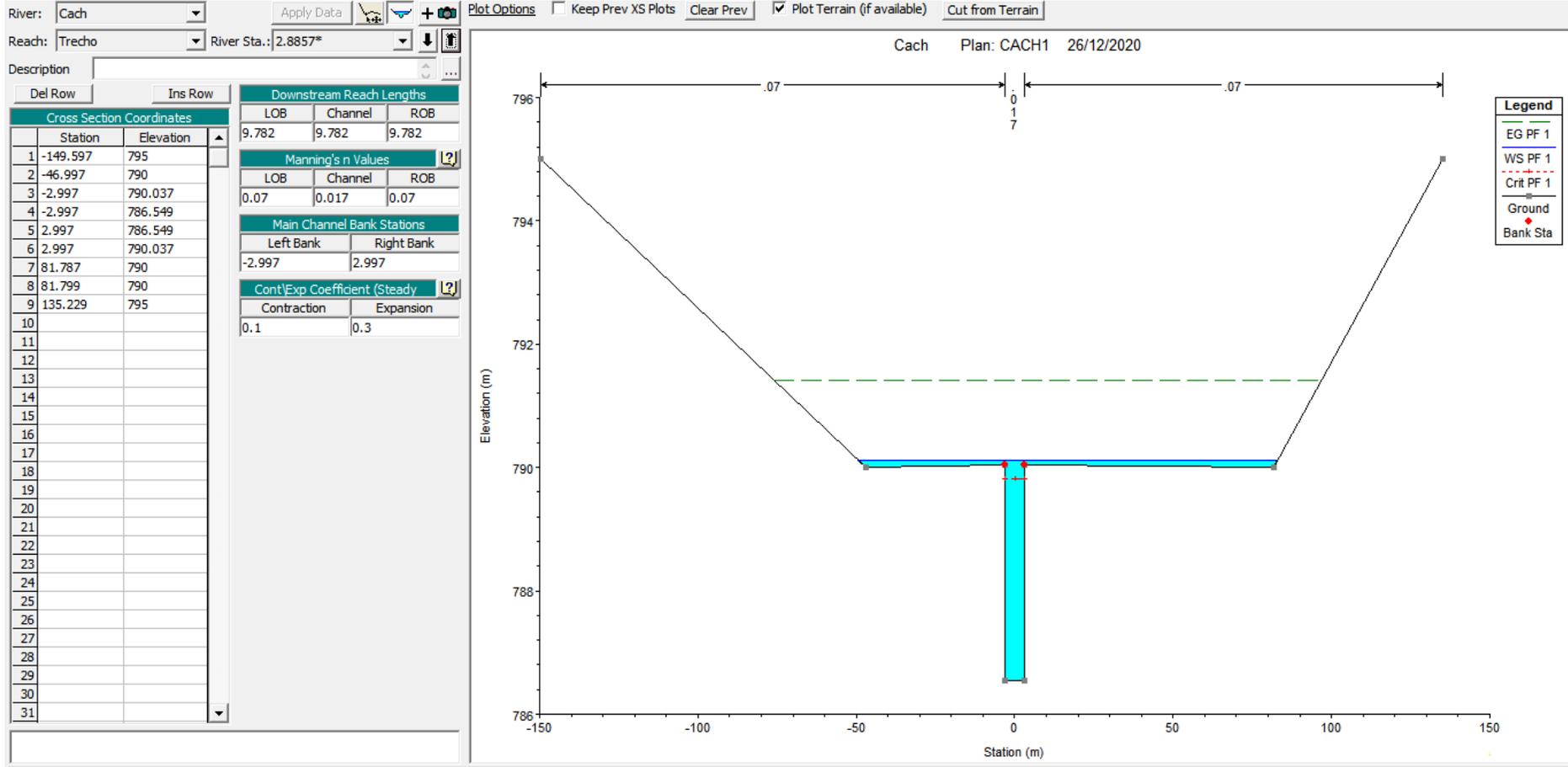
SEÇÃO 2,8286



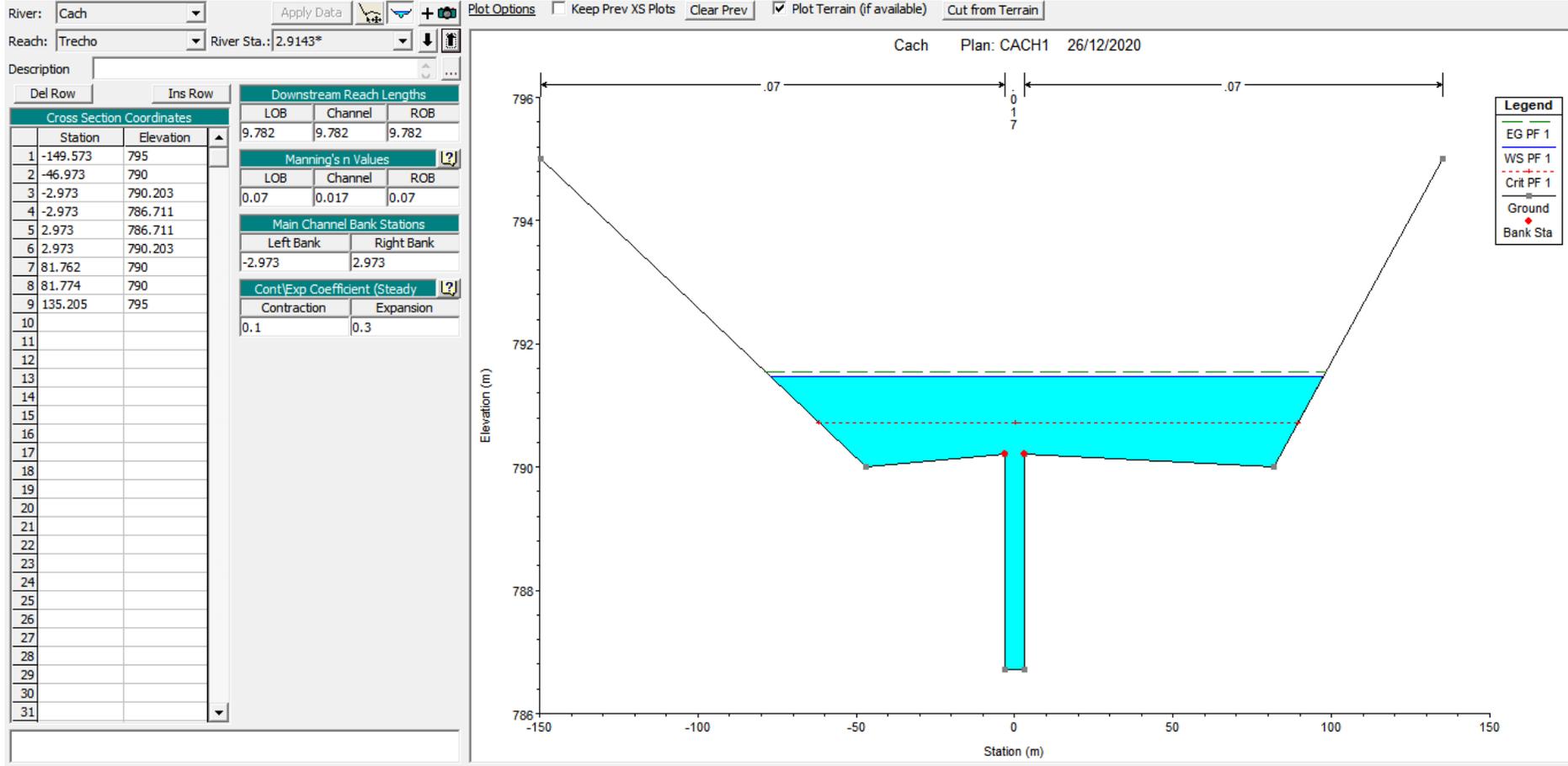
SEÇÃO 2,8571



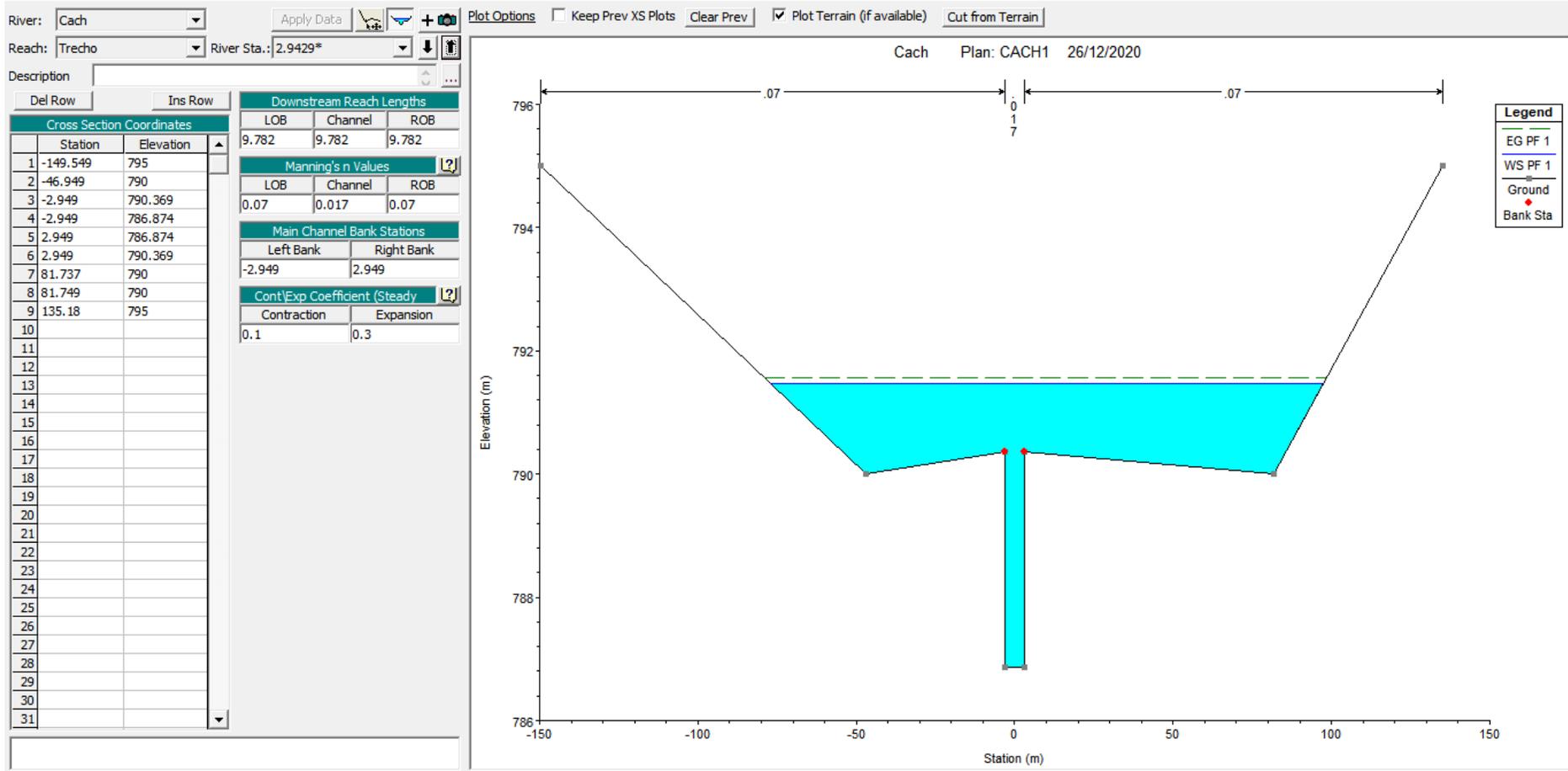
SEÇÃO 2,8857



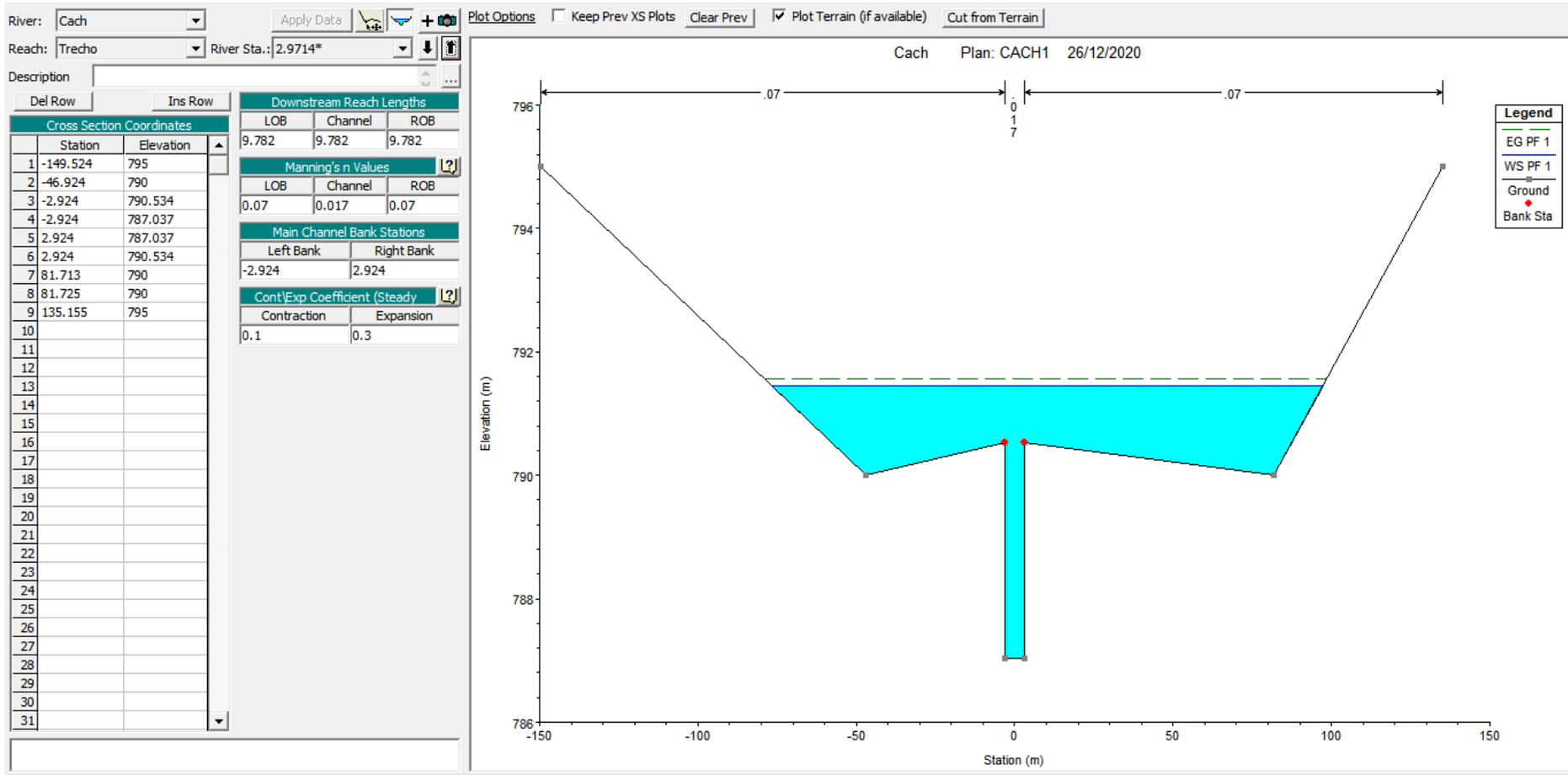
SEÇÃO 2,9143



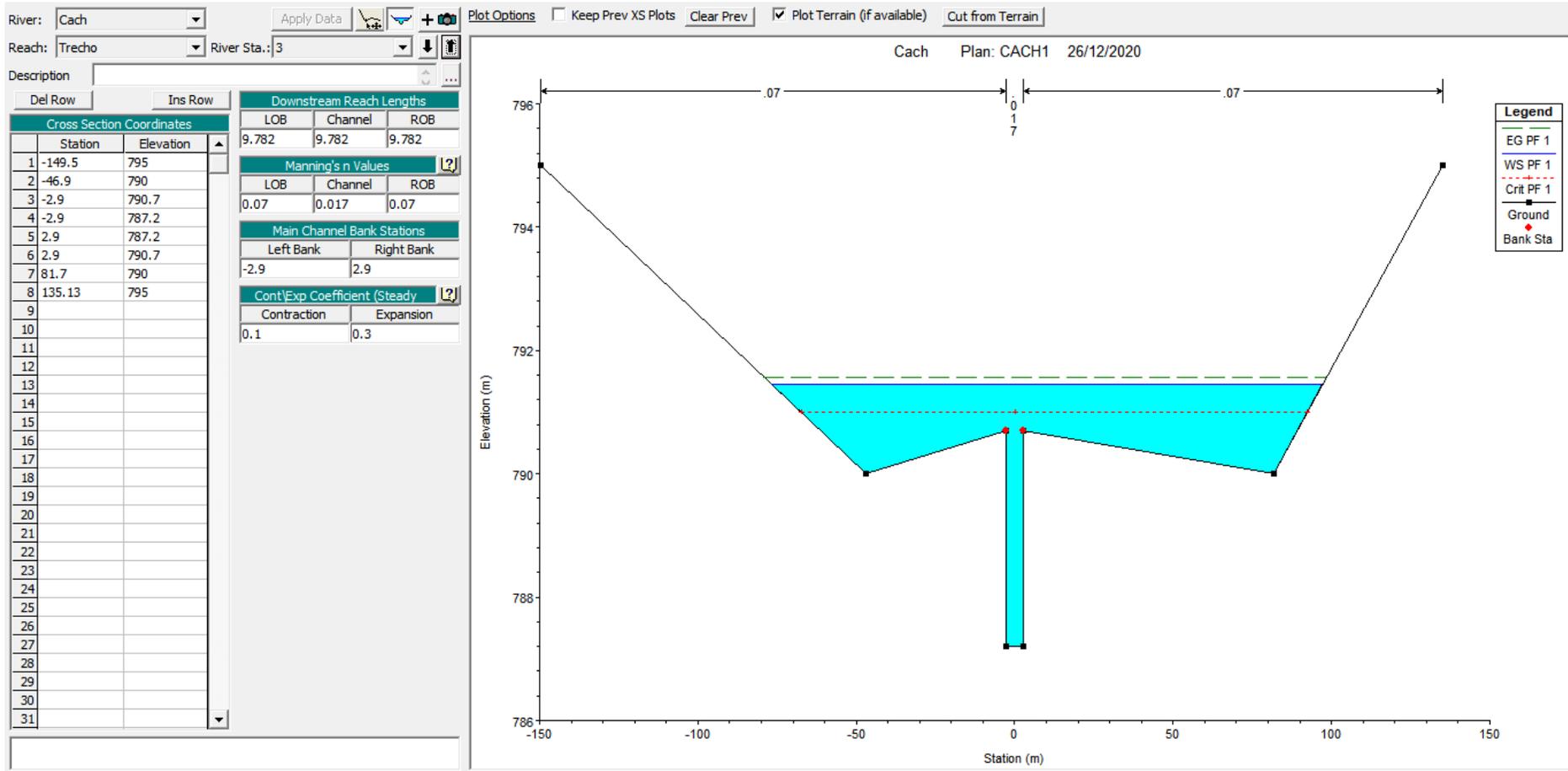
SEÇÃO 2,9429



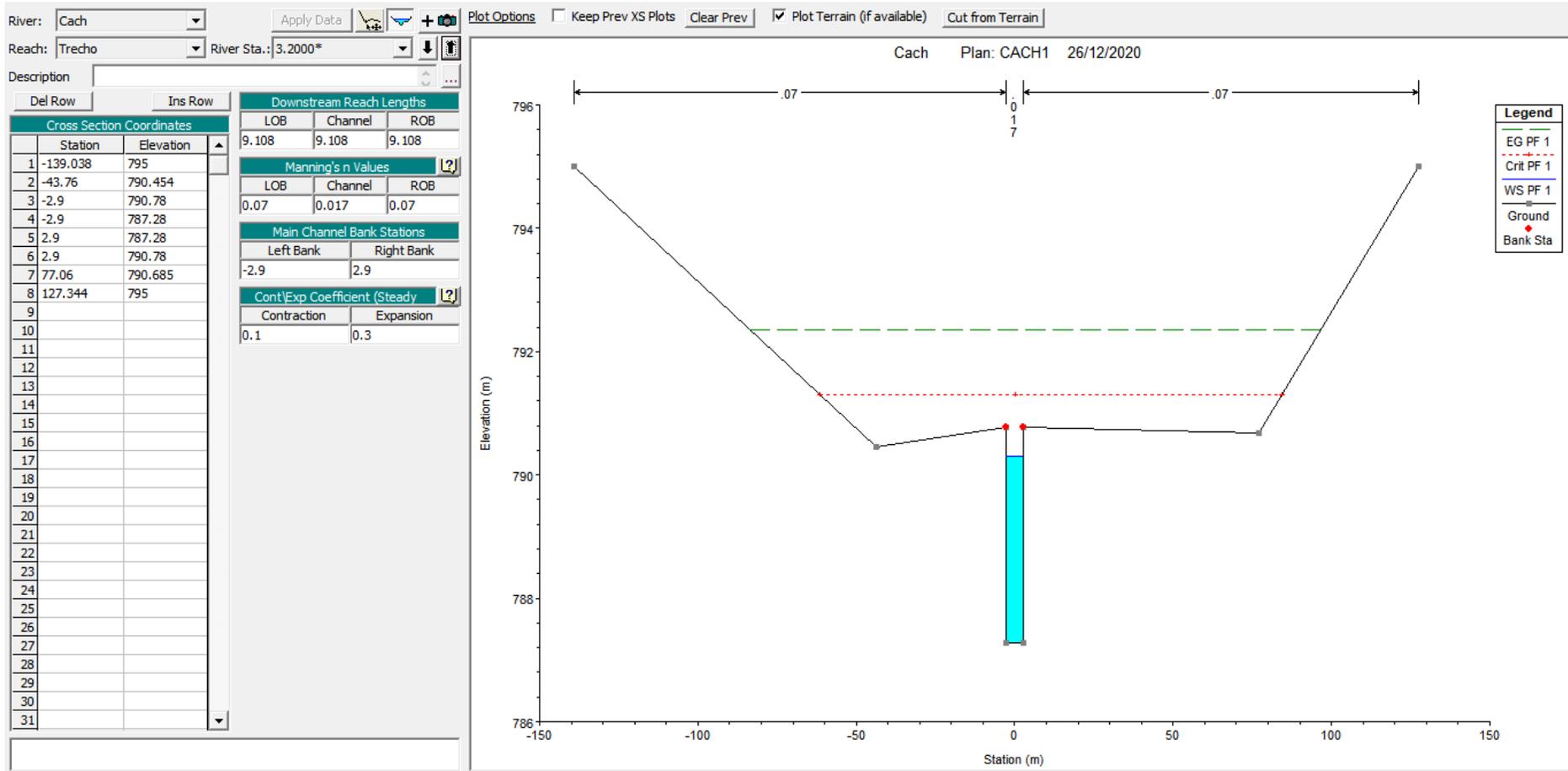
SEÇÃO 2,9714



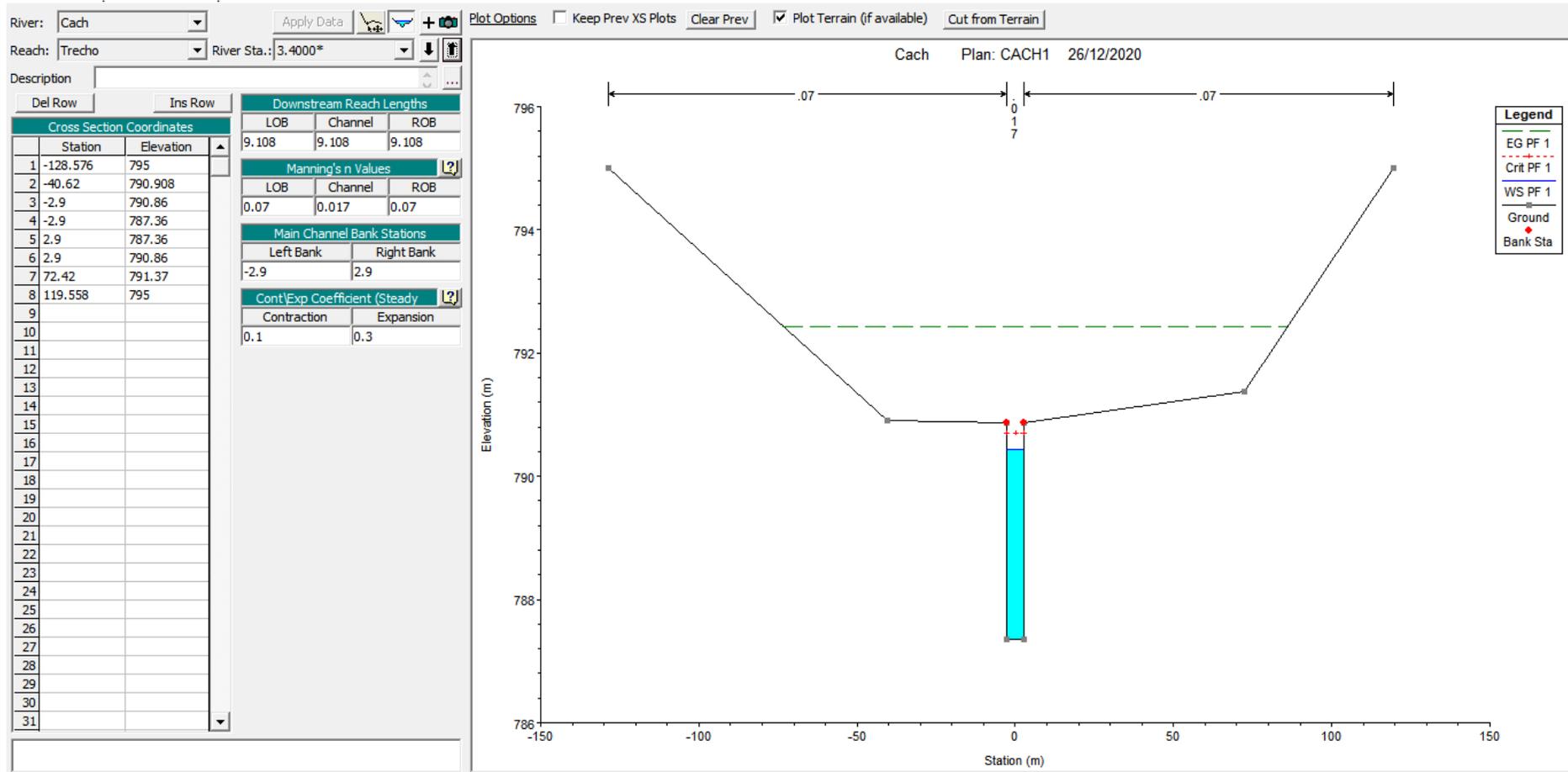
SEÇÃO 3



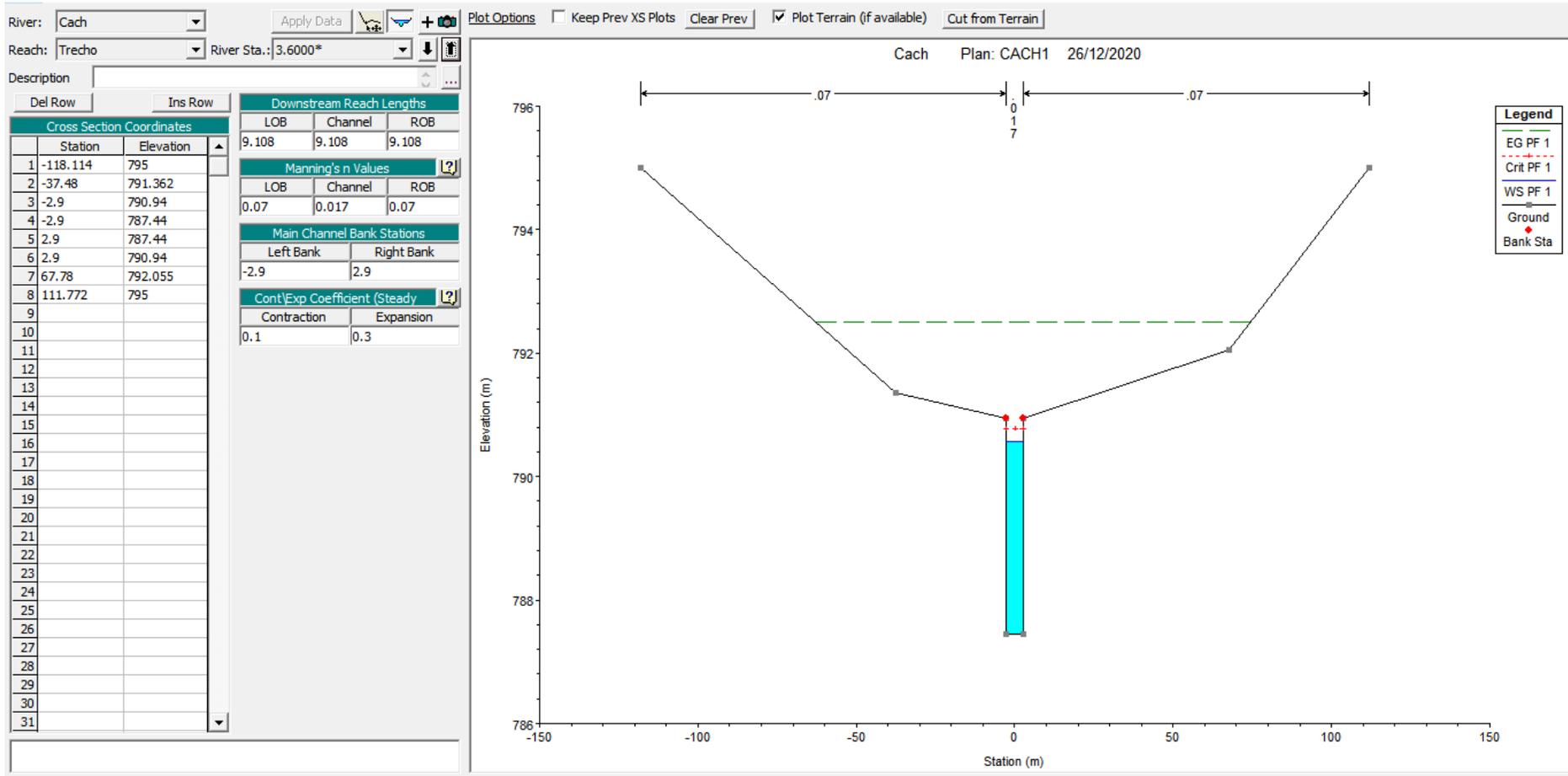
SEÇÃO 3,2



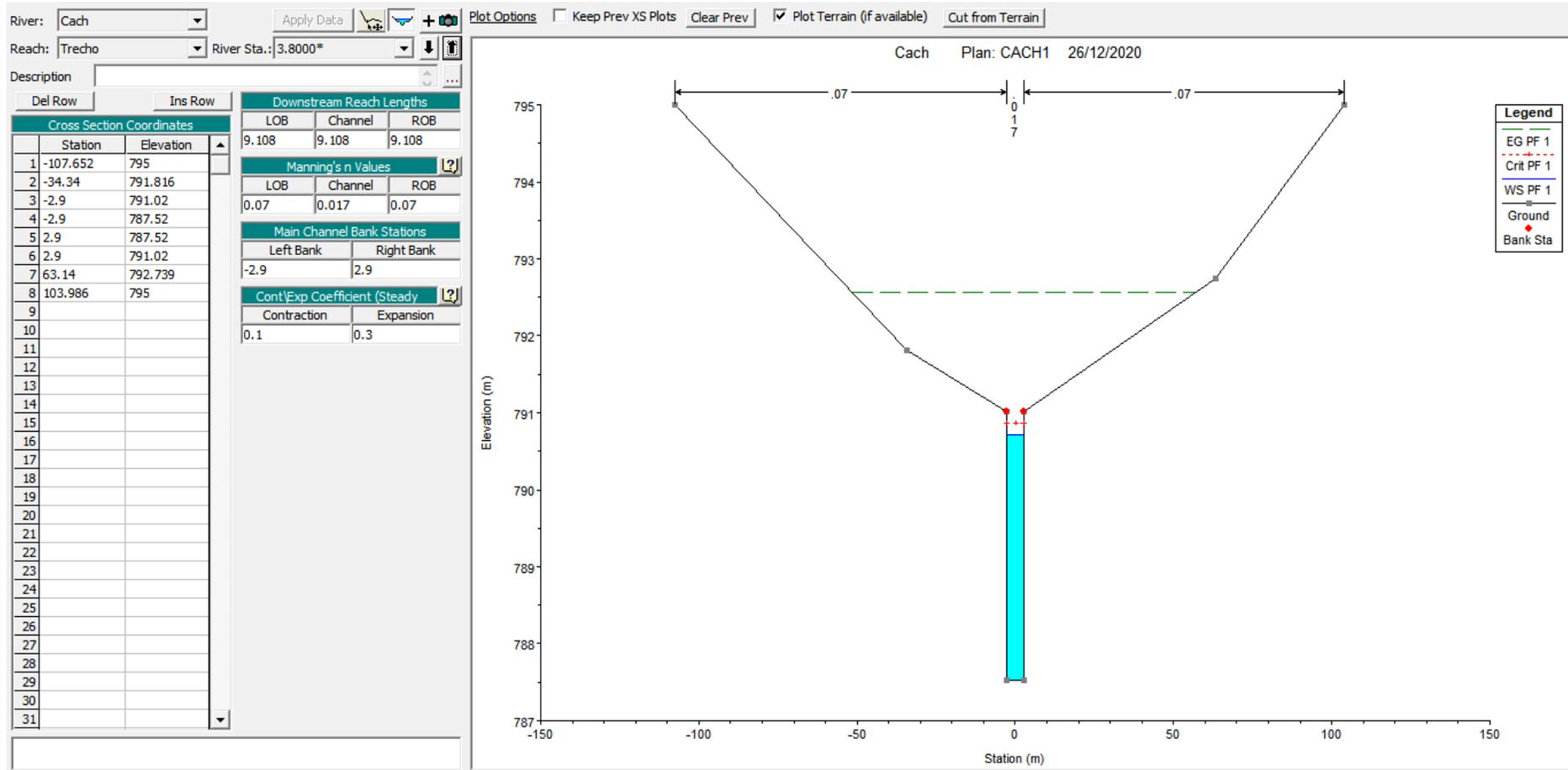
SEÇÃO 3,4



SEÇÃO 3,6



SEÇÃO 3,8



SEÇÃO 4

