MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA / RS

RELATÓRIO TÉCNICO
JUSTIFICATIVA PARA A SOLUÇÃO ADOTADA NAS FUNDAÇÕES
PONTE TROMBUDO – SEÇÃO 5,00 × 25,00 m

PROJETO EXECUTIVO – PONTE DE CONCRETO

Linha Vendruscolo – Localidade de Trombudo – Dona Francisca/RS

Responsável Técnica:

Eng. Civil Gabriela Grützmacher Machado

Mestra em Estruturas – CREA/RS 215.695

Dona Francisca/RS

Setembro de 2026

1 OBJETO

O presente Relatório Técnico tem por objeto apresentar e fundamentar a solução de fundação adotada para as cortinas/encontros e para o apoio central da Ponte Trombudo, implantada na Linha Vendruscolo, Localidade de Trombudo, no interior do Município de Dona Francisca/RS. A análise considera as condições geológico-geotécnicas investigadas, o comportamento estrutural esperado, as particularidades executivas de uma obra de pequeno vão em área rural, a experiência construtiva regional e os critérios de segurança, exequibilidade e economicidade.

2 DOCUMENTOS E INFORMAÇÕES CONSIDERADOS

A justificativa foi elaborada com base nos documentos técnicos disponibilizados para o empreendimento, especialmente no Relatório de Sondagem da Ponte Trombudo e nas pranchas do Projeto Executivo Estrutural E01 e E02. O projeto prevê, nos encontros, viga contínua de fundação, blocos cilíndricos em concreto armado e estacas metálicas cravadas em perfil TR-37; no apoio central, prevê dois blocos de maior diâmetro, também associados a perfis metálicos TR-37, interligados por viga de fundação e vinculados aos pilares centrais.

Além dos documentos específicos da obra, considera-se como premissa de projeto a experiência executiva regional relatada para obras próximas a cursos d'água, nas quais é recorrente a ocorrência de materiais com seixos, cascalhos, pedregulhos e fragmentos rochosos, impondo dificuldades e maior incerteza operacional aos sistemas de fundação dependentes de perfuração contínua.

3 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E CONDICIONANTES DO SUBSOLO

A investigação do subsolo da Ponte Trombudo evidencia perfil heterogêneo, com ocorrência significativa de materiais granulares grosseiros. O perfil SM-01 identifica aterro superficial, camada de argila arenosa dura, cascalhos de seixo entre aproximadamente 1,80 m e 3,00 m, argila com pedregulho entre aproximadamente 3,00 m e 4,50 m, nova camada de cascalhos de seixo entre aproximadamente 4,50 m e 5,50 m e, a partir dessa profundidade, basalto alterado. O nível d'água foi registrado como ausente na sondagem executada.

A presença dessas camadas constitui condicionante direta para a definição do processo executivo das fundações. Materiais com pedregulhos, seixos e fragmentos rochosos podem provocar mudanças bruscas de resistência ao avanço, desvios da

ferramenta de perfuração, desagregação localizada do terreno e necessidade de ferramentas, revestimentos ou equipamentos específicos.

Assim, a presença de pedregulhos não foi considerada apenas com base no histórico de obras da região, mas também como condição identificada na investigação geotécnica disponibilizada para análise.

4 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE FUNDAÇÃO

4.1 Soluções predominantemente perfuradas

Foram consideradas as dificuldades associadas à adoção de soluções cuja execução dependa predominantemente da perfuração contínua do terreno, em especial estacas raiz e outros sistemas rotativos ou rotopercussivos. A alternância de solos coesivos, pedregulhos, cascalhos e materiais rochosos alterados produz variações bruscas de resistência ao avanço e exige que o conjunto de perfuração trabalhe em condições descontínuas, ora cortando solo, ora impactando seixos ou fragmentos rochosos. Nessas condições, a ferramenta pode sofrer vibrações, perda de concentricidade, tendência ao desvio do eixo e redução acentuada da eficiência de avanço, além de desgaste elevado de coroas, bits e demais componentes de corte.

Em materiais grosseiros pouco cimentados ou com pedras soltas, a rotação da ferramenta pode deslocar ou rearranjar os fragmentos em vez de efetivamente cortá-los. Esse mecanismo tende a aumentar o tempo de perfuração e os esforços transmitidos à haste e ao cabeçote da perfuratriz, podendo provocar instabilidade operacional do conjunto e necessidade de sucessivas manobras, troca de ferramentas ou adoção de processo rotopercussivo específico. Quando ocorre matacão ou trecho rochoso, a própria técnica da estaca raiz requer equipamento apropriado para perfuração em rocha, normalmente trabalhando por dentro do revestimento.

Outro condicionante importante é a estabilidade do furo. Na estaca raiz, a perfuração em solo é usualmente executada com revestimento metálico, instalado progressivamente à medida que o furo avança. Em terreno heterogêneo com cascalhos e pedregulhos, o revestimento assume papel ainda mais relevante para conter desagregações e preservar a geometria da perfuração. Isso implica mobilização de tubos de revestimento, coroas e ferramentas específicas, circulação de água, equipamentos de rotação ou rotopercussão, compressor e operações

adicionais de instalação e posterior recuperação do revestimento, aumentando o número de etapas executivas e o custo do serviço.

Portanto, a dificuldade considerada no projeto não decorre de uma impossibilidade absoluta de perfurar o terreno, mas da necessidade de empregar tecnologia, ferramental e revestimento compatíveis com a presença de materiais grosseiros e possíveis fragmentos rochosos. Para uma ponte rural de pequeno vão, essa exigência pode tornar a solução perfurada desproporcionalmente onerosa em relação ao porte da estrutura, sobretudo pela mobilização de equipamento especializado, menor produtividade provável, desgaste de ferramentas, necessidade de encamisamento e risco de intervenções adicionais durante a execução.

Em experiências executivas regionais relatadas para solos semelhantes, a presença de pedregulhos pode ocasionar perda localizada de material ao redor da ferramenta e dificuldade de manutenção da geometria da perfuração. Tais condições aumentam o risco de baixa produtividade, paralisações e custos adicionais.

Não se estabelece que estacas raiz, sistemas rotativos ou outras fundações perfuradas sejam tecnicamente impossíveis no local. A conclusão adotada é que, para o porte e as condições desta obra, essas alternativas apresentam maior complexidade executiva, maior dependência de equipamentos especializados e maior incerteza de produtividade e custo, sem vantagem técnica proporcional suficientemente evidente em relação à solução adotada.

4.2 Critérios de escolha

A solução de fundação foi selecionada considerando simultaneamente: compatibilidade com o perfil geotécnico investigado; capacidade de transmissão das ações verticais e horizontais; rigidez necessária à base das cortinas e ao apoio central; facilidade de mobilização e execução em área rural; possibilidade de controle executivo durante a cravação; redução da dependência de perfurações em camadas com materiais grosseiros; e compatibilidade econômica com uma ponte de seção aproximada de 5,00 m de largura e 25,00 m de extensão total, composta por dois vãos.

5 SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO ADOTADA

O sistema adotado para a Ponte Trombudo é constituído por fundações distintas, porém compatíveis entre si, para os encontros e para o apoio central. Nos

encontros, são utilizados viga contínua de fundação em concreto armado, blocos cilíndricos em concreto armado e estacas metálicas cravadas em perfil TR-37. No apoio central, a solução é composta por dois blocos cilíndricos de maior diâmetro, estacas metálicas TR-37, pilares de concreto armado e viga de fundação/apoio central, formando um conjunto estrutural integrado.

Conforme o Projeto Executivo E01, as fundações das cortinas são constituídas por 10 blocos com diâmetro interno de 1,00 m, cada um contendo quatro estacas metálicas TR-37 com comprimento nominal de 4,00 m, totalizando 40 estacas nos encontros. O detalhamento determina ainda a continuidade da armadura do bloco para ancoragem na viga de fundação. Para o apoio central, conforme a prancha E02, são previstos dois blocos com diâmetro interno de 1,50 m, cada um contendo oito estacas metálicas TR-37 de 4,00 m, totalizando 16 estacas. Assim, o sistema completo da ponte contempla 56 perfis metálicos TR-37, distribuídos entre encontros e apoio central.

A configuração foi concebida para que, nos encontros, cortina, viga de fundação, blocos e estacas trabalhem de forma solidária e, no apoio central, para que blocos, pilares e viga de apoio constituam outro conjunto resistente integrado. Essa organização permite redistribuir as solicitações entre diversos pontos de fundação, reduzir concentrações locais de esforços e mobilizar mecanismos complementares de resistência do terreno.

6 FUNÇÃO DA VIGA CONTÍNUA DE FUNDAÇÃO

A viga contínua de fundação prevista ao longo da base das cortinas constitui elemento fundamental da concepção adotada. Por possuir seção robusta e grande desenvolvimento longitudinal, ela recebe as ações provenientes da cortina e as redistribui entre os vários blocos e grupos de estacas, reduzindo concentrações de tensões e evitando que cada bloco trabalhe de forma isolada. Essa continuidade aumenta a rigidez global da base da cortina e melhora a compatibilidade de deformações entre os diferentes pontos de apoio, concepção essa usualmente adotada emo bras desse porte.

Além da solidarização dos blocos, a grande dimensão da viga amplia a área de contato do conjunto de fundação com o terreno. Desse modo, parte das solicitações pode ser transmitida de forma mais difusa ao terreno, enquanto as estacas metálicas

conduzem parcela importante dos esforços às camadas inferiores, resultando em um sistema misto e redundante de transferência de cargas.

Esse comportamento é particularmente conveniente nos encontros da Ponte Trombudo, onde coexistem ações verticais provenientes da superestrutura, empuxo do aterro, esforços horizontais e momentos. A viga de fundação atua como elemento de compatibilização de deformações e de redistribuição interna das ações, favorecendo resposta global mais uniforme da cortina e reduzindo a concentração de solicitações em um único bloco ou grupo de estacas.

No apoio central, a mesma lógica de integração estrutural é mantida por meio da viga de fundação associada aos dois blocos Ø1,50 m e aos pilares centrais. A viga promove a compatibilização das reações transmitidas pelos pilares e a redistribuição das cargas entre os dois blocos, cada qual apoiado em oito perfis TR-37, proporcionando maior rigidez ao conjunto e melhor repartição das ações provenientes dos dois vãos da ponte.

7 FUNÇÃO DOS BLOCOS CILÍNDRICOS

Nos encontros, os blocos cilíndricos de concreto armado possuem diâmetro interno de 1,00 m e funcionam como elementos de transição entre a viga contínua e os grupos de quatro estacas metálicas TR-37. No apoio central, os dois blocos possuem diâmetro interno de 1,50 m e recebem oito estacas TR-37 cada. Em ambos os casos, a massa, a rigidez e a armadura dos blocos permitem compatibilizar e distribuir as solicitações entre os perfis metálicos, evitando a concentração das ações em uma única estaca.

A continuidade das armaduras para dentro das vigas, expressamente indicada no detalhamento, reforça a concepção de funcionamento integrado. No apoio central, o projeto também determina que a armadura longitudinal de arranque dos pilares seja posicionada no bloco antes da concretagem, assegurando a continuidade estrutural entre fundação, pilares e viga de apoio.

8 JUSTIFICATIVA PARA AS ESTACAS METÁLICAS CRAVADAS

A utilização de estacas metálicas cravadas em perfil TR-37 apresenta vantagens executivas diante do perfil geotécnico observado. Diferentemente de soluções escavadas, a cravação não depende da manutenção de um furo aberto ao

longo das camadas de cascalho e pedregulho, reduzindo a suscetibilidade a problemas de instabilidade das paredes e perda de material durante a execução.

Do ponto de vista executivo, a diferença é relevante: na solução cravada, o perfil metálico é introduzido no terreno por deslocamento, sem a necessidade de produzir e manter aberto um furo com o diâmetro da fundação. Consequentemente, deixam de ser etapas principais da fundação a escavação contínua, a retirada do material perfurado e o encamisamento integral associado à estabilidade do furo. Essa característica reduz a exposição do processo às dificuldades provocadas por materiais soltos e heterogêneos e simplifica a logística da execução.

Os perfis metálicos possuem elevada resistência estrutural em relação à sua seção transversal e permitem execução com equipamentos de cravação compatíveis com obras de pequeno porte. O comportamento observado durante a cravação também fornece informação de campo sobre as mudanças de resistência encontradas pelo elemento, devendo ser devidamente registrado e avaliado pelo responsável técnico.

A solução reduz ainda a necessidade de mobilização de sistemas especializados de perfuração, aspecto relevante em obra localizada no interior do Município, contribuindo para a viabilidade logística e econômica do empreendimento.

9 COMPORTAMENTO QUANTO ÀS AÇÕES HORIZONTAIS E AO DESLIZAMENTO

A concepção adotada considera que os encontros da ponte estão submetidos não somente a esforços verticais, mas também a solicitações horizontais relevantes, sobretudo devido ao empuxo do aterro e às ações transmitidas pela superestrutura. Nesse contexto, as estacas metálicas cravadas contribuem para transferir parte dessas solicitações às camadas inferiores do terreno por meio da interação lateral solo-estaca. No apoio central, embora o regime de esforços seja distinto daquele das cortinas, os grupos de oito estacas por bloco também conferem elevada rigidez e capacidade de transferência das reações verticais e horizontais oriundas dos pilares.

A presença das estacas cravadas permite, portanto, mobilizar resistência lateral do terreno e aumentar a rigidez do conjunto frente às ações horizontais. Nos encontros, essa contribuição atua conjuntamente com a viga de fundação de grande desenvolvimento e com os blocos, de modo que a resistência ao deslizamento não dependa exclusivamente do contato superficial da base com o terreno.

10 COMPATIBILIDADE COM O PERFIL INVESTIGADO

O comprimento nominal de 4,00 m indicado para os perfis metálicos, tanto nos encontros quanto no apoio central, deve ser analisado em conjunto com as cotas de arrasamento definidas em projeto e com o perfil geotécnico efetivamente encontrado em cada ponto de execução. A sondagem da Ponte Trombudo evidencia sucessivas camadas contendo cascalhos e pedregulhos antes da ocorrência do basalto alterado, caracterizando meio de elevada heterogeneidade e justificando o acompanhamento rigoroso da cravação.

A solução é coerente com o objetivo de mobilizar a resistência de camadas abaixo da base da fundação sem depender da execução de perfurações de grande diâmetro através de todo o pacote de materiais grosseiros. Todavia, devido à heterogeneidade natural do terreno, o comprimento indicado em projeto não deve constituir o único critério de aceitação do elemento.

11 CONTROLE EXECUTIVO DAS ESTACAS

Durante a execução, recomenda-se que cada estaca seja individualmente identificada e acompanhada, registrando-se, no mínimo, o comprimento efetivamente cravado, o comportamento durante a cravação, a penetração observada, o parâmetro de controle adotado em campo e eventuais ocorrências de recusa ou impedimento.

A ocorrência de recusa prematura deve ser avaliada com cautela. Em terreno com pedregulhos e seixos, uma resistência elevada localizada pode decorrer do encontro com bloco, matacão ou fragmento resistente, não devendo ser automaticamente interpretada como comprovação da capacidade geotécnica prevista para a estaca.

Caso sejam identificadas condições divergentes das premissas adotadas, o responsável técnico deverá avaliar a necessidade de reposicionamento, alteração do comprimento, complementação do sistema ou outra medida tecnicamente adequada antes da continuidade da execução.

12 ASPECTOS DE SEGURANÇA, EXEQUIBILIDADE E ECONOMICIDADE

A definição de uma fundação para obra de arte especial deve considerar de forma integrada a segurança estrutural e geotécnica, as características do subsolo, a confiabilidade do método executivo, a disponibilidade de equipamentos, as condições de acesso, o porte do empreendimento e os custos associados.

Para a Ponte Trombudo, a solução composta por viga contínua nos encontros, blocos de concreto armado, estacas metálicas cravadas TR-37 e, no apoio central, dois blocos Ø1,50 m associados a oito estacas por bloco e vinculados aos pilares e à viga central, mostra-se compatível com a heterogeneidade do terreno, com a presença de materiais grosseiros, com a necessidade de resistir a ações verticais e horizontais e com as condições logísticas de uma obra situada em área rural.

A economicidade, nesse contexto, não é considerada isoladamente como simples redução de custo inicial. Ela decorre da escolha de uma alternativa que busca reduzir riscos de improdutividade, mobilizações especiais, interrupções e adaptações executivas, mantendo simultaneamente os requisitos de segurança e desempenho do sistema de fundação. No caso de uma alternativa em estaca raiz, devem ser considerados não apenas o metro linear da estaca, mas também a perfuratriz apropriada, tubos de revestimento, coroas e bits, circulação de água, compressor, eventuais ferramentas para matacão/rocha, desgaste e substituição de ferramentas, operações de encamisamento e retirada do revestimento e a perda de produtividade associada às mudanças bruscas do material perfurado. Para a obra em questão, esses fatores reforçam a racionalidade técnica e econômica da solução cravada adotada.

13 CONDIÇÕES E VERIFICAÇÕES DE PROJETO

Qualquer divergência significativa entre o terreno encontrado em obra e o perfil utilizado como referência deverá ser comunicada ao responsável técnico, que deverá avaliar os reflexos sobre a solução antes da execução definitiva dos elementos afetados.

14 CONCLUSÃO

Diante das condições geológico-geotécnicas identificadas e das particularidades construtivas do empreendimento, considera-se tecnicamente justificável a solução de fundação adotada para a Ponte Trombudo. Nos encontros, o sistema é constituído por viga contínua em concreto armado, 10 blocos cilíndricos de Ø1,00 m e quatro estacas metálicas cravadas TR-37 por bloco. No apoio central, são previstos dois blocos de Ø1,50 m, cada um com oito estacas TR-37, associados aos pilares e à viga de apoio central.

A decisão não decorre exclusivamente de critério econômico. A solução resulta da compatibilização entre segurança, comportamento estrutural, condições geotécnicas, experiência executiva regional, disponibilidade de equipamentos e viabilidade construtiva.

A ocorrência de cascalhos, seixos e pedregulhos fornece fundamento técnico para considerar maior complexidade e incerteza em soluções dependentes de perfuração contínua. Em sistemas como estaca raiz ou outras alternativas rotativas, a presença de fragmentos soltos pode reduzir a eficiência de corte, provocar vibração e perda de concentricidade da ferramenta, aumentar o desgaste de brocas, coroas e bits e exigir encamisamento/revestimento para estabilização do furo. Esses condicionantes tendem a elevar significativamente a mobilização, o tempo de execução e o custo. A solução adotada reduz essa dependência e estabelece um sistema integrado de transferência de cargas, no qual as vigas distribuem as ações entre vários blocos e grupos de estacas, enquanto os perfis metálicos cravados mobilizam a interação com o terreno em profundidade.

Mantidas as verificações de capacidade geotécnica, resistência estrutural, estabilidade, deslocamentos e o adequado controle executivo da cravação, a solução é considerada compatível com as condições identificadas na Ponte Trombudo e com o porte da estrutura projetada, de seção 5,00 × 25,00 m.

_____

ENG. CIVIL GABRIELA GRÜTZMACHER MACHADO
Mestra em Estruturas – CREA/RS 215.695
Responsável Técnica pelo Projeto Estrutural

gov.br
Documento assinado digitalmente
GABRIELA GRUTZMACHER MACHADO
Data: 03/09/2026 16:50:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br