ESTUDO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO
PONTE LINHA DO MOINHO

CLIENTE: MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA

OBRA: PONTE EM CONCRETO PRÉ-MOLDADA - PADRÃO TB450 - SEÇÃO 5,00x12,00.

LOCAL: LOCALIDADE DE LINHA DO MOINHO, INTERIOR DO MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS.

Dona Francisca, agosto de 2026.

1. APRESENTAÇÃO

O presente estudo tem como objetivo fornecer subsídios técnicos para o planejamento, dimensionamento e implantação de uma ponte na localidade de Linha do Moinho, zona rural do município de Dona Francisca, Estado do Rio Grande do Sul, situada nas coordenadas geográficas 29º35’40” S 53º22’17” W.

O empreendimento contempla a construção de uma **ponte em concreto armado e pré-moldado**, destinada a substituir a atual travessia executada por meio de galeria celular. A infraestrutura existente tem se mostrado insuficiente para atender às vazões do curso d'água, especialmente em eventos de precipitação intensa, ocasionando o extravasamento da água sobre a pista, interrupções no tráfego e dificuldades de acesso às propriedades rurais da região.

Os eventos hidrológicos extremos registrados no Estado do Rio Grande do Sul nos últimos anos, em especial durante os anos de 2024 e 2025, evidenciaram a necessidade de adequação das obras de arte correntes às novas condições hidrológicas da bacia. Nesse contexto, a substituição da galeria por uma ponte constitui uma solução técnica mais segura e resiliente, proporcionando maior capacidade hidráulica, redução do risco de obstruções por materiais transportados pela correnteza e maior segurança para os usuários da via, além de assegurar a continuidade do tráfego mesmo durante períodos de cheias.

O município de Dona Francisca localiza-se na região central do Estado do Rio Grande do Sul, possuindo área territorial aproximada de **114 km²** e população estimada em **3.070 habitantes**, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Inserido na região fisiográfica da Depressão Central, o município apresenta relevo caracterizado por transição entre áreas de várzea associadas ao Rio Jacuí e terrenos mais elevados pertencentes ao rebordo do Planalto Meridional, com altitudes variando aproximadamente entre **35 m e 515 m** acima do nível do mar.

As características geomorfológicas e climáticas da região favorecem a ocorrência de escoamentos superficiais significativos durante eventos pluviométricos intensos, resultando em elevação rápida dos níveis dos cursos d'água e aumento das solicitações hidráulicas sobre as estruturas de travessia. Dessa forma, torna-se indispensável a realização de estudos hidrológicos e hidráulicos que permitam o

adequado dimensionamento da nova ponte, garantindo níveis satisfatórios de segurança estrutural, desempenho hidráulico e durabilidade da obra.

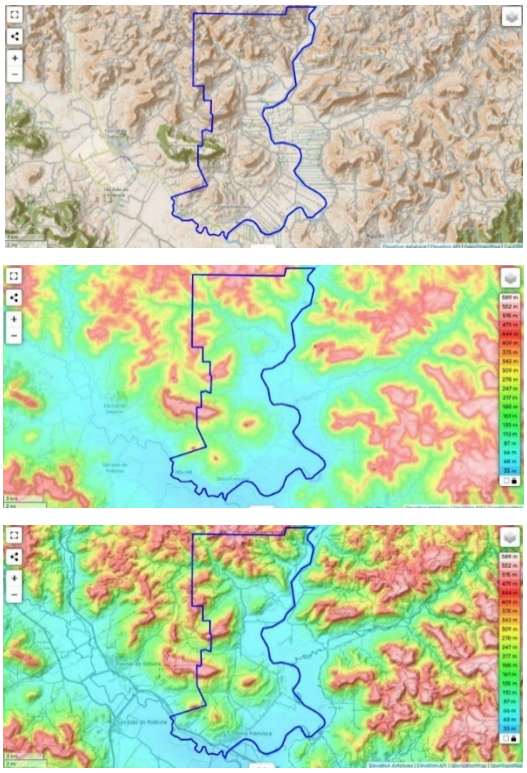
O presente estudo integra as etapas preliminares de concepção do empreendimento, fornecendo os parâmetros técnicos necessários ao dimensionamento da estrutura, à definição das condições de implantação e à avaliação da capacidade hidráulica do curso d'água, contribuindo para uma solução compatível com as condições locais e com os critérios técnicos adotados para obras de infraestrutura viária.

2. ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

2.1 Relevo

A região do município de Dona Francisca apresenta acentuada variação altimétrica, característica que exerce influência direta sobre a dinâmica hidrológica das microbacias hidrográficas locais. O relevo é típico do rebordo do Planalto Meridional e das encostas da Serra Geral, sendo caracterizado por transições abruptas entre áreas de elevadas declividades e vales encaixados, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01 - Mapa topográfico do município de Dona Francisca - RS



Fonte: https://pt-br.topographic-map.com/map-mgkf14/Dona-Francisca/

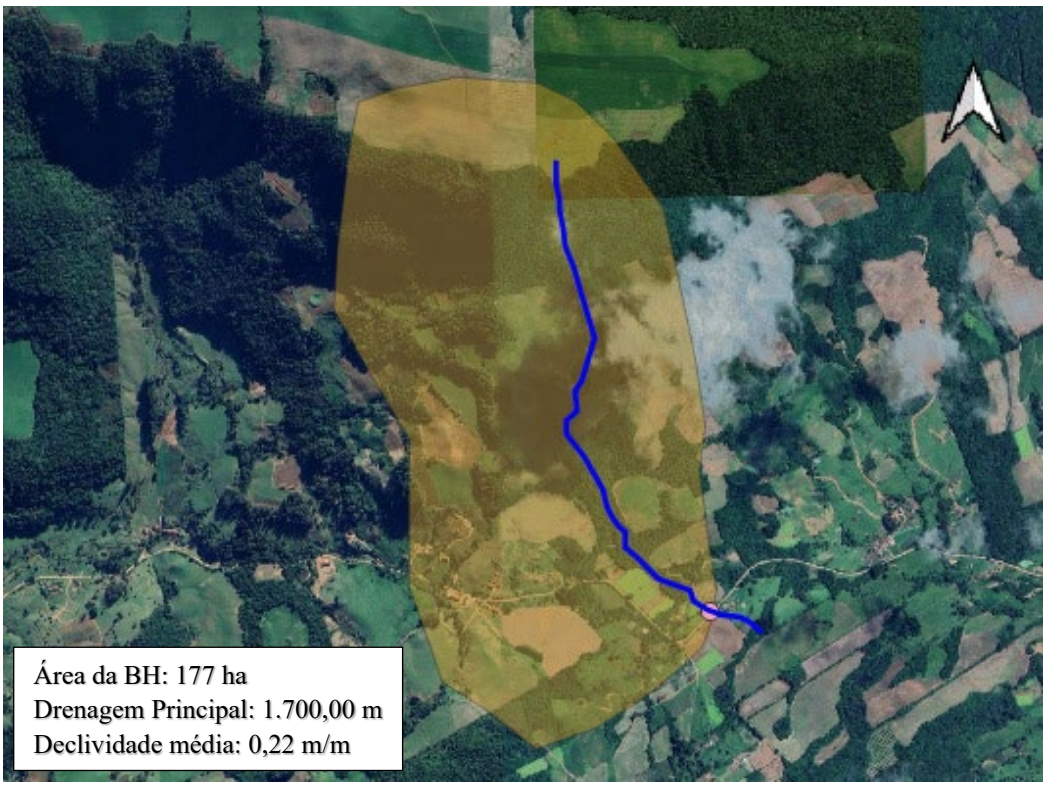
O presente estudo concentra-se na Localidade de Linha do Moinho, no ponto de interesse da obra da ponte, localizado nas coordenadas geográficas 29º35’40” S 53º22’17” W, onde se encontra a travessia objeto deste projeto. O exutório da microbacia apresenta altitude aproximada de 132,0 m, enquanto a cota máxima da bacia atinge aproximadamente 510,0 m, constituindo o principal divisor de águas da região.

A microbacia contribuinte possui área de drenagem de aproximadamente 177,0 ha, comprimento do talvegue principal de 1.700,0 m e declividade média de 0,22 m/m, conforme apresentado na Figura 02. Os parâmetros geomorfológicos indicam uma bacia de com elevada energia de relevo, favorecendo a rápida concentração do escoamento superficial durante eventos de precipitação intensa.

O relevo íngreme é evidenciado pelo adensamento das curvas de nível, refletindo elevadas declividades e reduzido tempo de concentração da bacia. Essas características promovem velocidades elevadas de escoamento superficial, intensificando os processos erosivos e aumentando significativamente as vazões de pico que atingem o curso d'água localizado no exutório da bacia.

Os escoamentos gerados nas porções mais elevadas convergem em direção ao exutório, afluente do Rio Jacuí, concentrando grandes volumes de água no ponto onde atualmente existe a travessia por galeria. Durante eventos pluviométricos de maior intensidade, essa condição favorece o aumento expressivo do nível d'água, ocasionando extravasamentos sobre a pista, obstrução da passagem por sedimentos e materiais vegetais, processos erosivos nas cabeceiras, solapamento das estruturas existentes e danos à infraestrutura viária.

Figura 02 – Mapa da microbacia da Linha do Moinho contendo área da bacia e declividade.



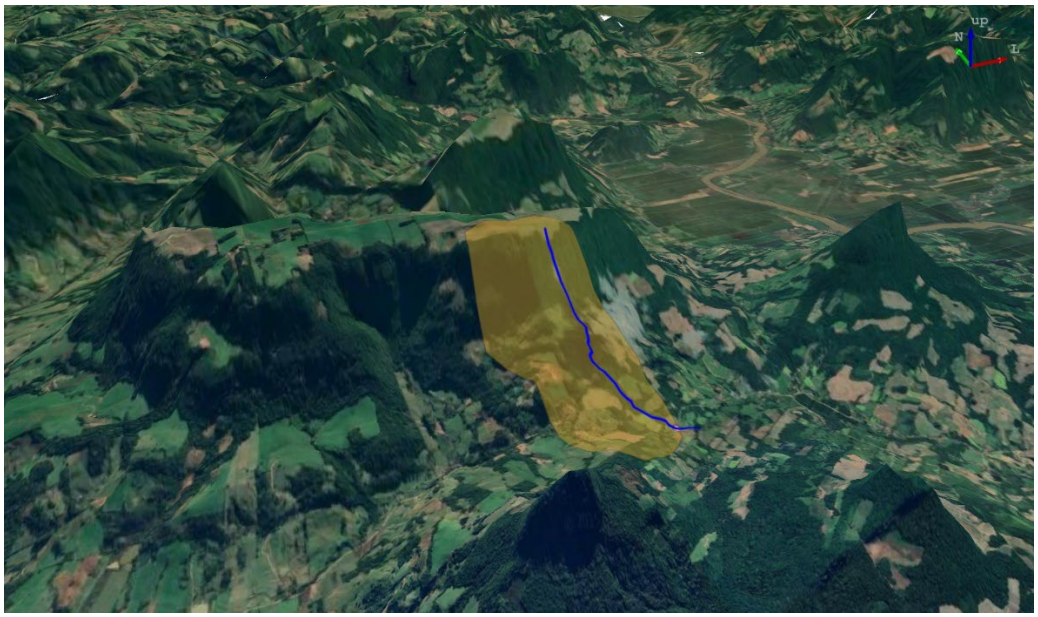
Fonte: Autor.

Devido às características topográficas do terreno, alta declividade, as águas provenientes do escoamento superficial e das precipitações convergem naturalmente para o exutório da bacia, promovendo a concentração progressiva dos escoamentos ao longo da bacia.

Durante eventos de precipitação intensa, especialmente quando ocorrem nas regiões de cabeceira, pode haver rápida concentração do escoamento superficial e elevação significativa da vazão no curso d'água. Esse fenômeno pode resultar em aumentos súbitos do nível e da velocidade do fluxo, caracterizando situações de elevada energia hidráulica e potencial erosivo.

Em eventos extremos, tais condições podem provocar erosão das margens e do leito, transporte de sedimentos e detritos, alterações localizadas na geometria do canal e danos às infraestruturas existentes. Além disso, a elevação excepcional dos níveis d'água pode comprometer as condições de trafegabilidade das vias e obras de transposição, dificultando ou, em situações mais severas, interrompendo temporariamente o acesso às comunidades atendidas.

Figura 03 – Mapa 3d da microbacia da Linha do Moinho.



Fonte: Autor.

Figura 04 – Malha de drenagem da microbacia da Linha do Moinho.



Fonte: Autor.

Os eventos hidrológicos extremos registrados recentemente no Estado do Rio Grande do Sul evidenciaram a vulnerabilidade da travessia existente, reforçando a necessidade da implantação de uma ponte com capacidade hidráulica compatível com

as características da bacia contribuinte. A nova estrutura permitirá maior eficiência na passagem das vazões de projeto, reduzindo os riscos de interrupção do tráfego, minimizando processos erosivos e proporcionando maior segurança operacional à via.

Além da importância técnica da obra, a travessia desempenha papel fundamental na mobilidade da população rural da Localidade de Linha do Moinho. A via constitui o principal acesso utilizado pelos moradores para o deslocamento diário, transporte escolar, atendimento de serviços de emergência, escoamento da produção agropecuária e abastecimento das propriedades rurais. Dessa forma, garantir a trafegabilidade permanente da estrada representa uma medida essencial para assegurar o direito de ir e vir da população, promover o desenvolvimento econômico local e preservar a integração entre as comunidades do interior do município. Atualmente existem tubos de concreto para passagem do arroio, eles apresentam pouco escoamento, ocasionando danos nas proximidades da travessia em eventos de situações extremas.

2.1.1 Declividades e Direções de Escoamento

A análise das declividades revela um padrão heterogêneo que influencia diretamente as características do escoamento superficial:

- Altas declividades (>20%): Concentram-se próximas a encosta e em áreas situadas. Estas áreas, evidenciadas pelo forte adensamento das curvas de nível, caracterizam-se por elevada velocidade de escoamento superficial e reduzido tempo de concentração, contribuindo para picos de vazão elevados durante eventos pluviométricos intensos.
- Declividades médias (8–20%): Ocorrem nas áreas de transição entre a encosta e o perímetro urbano, constituindo zonas de desaceleração gradual do escoamento. Estas áreas funcionam como corredores preferenciais de drenagem natural, canalizando os fluxos das encostas em direção ao vale.
- Declividades baixas (<8%): Predominam no vale e no setor urbano central, especialmente próximo às vias principais como a ERS-348 e ao rio Jacuí. Estas áreas de baixa declividade, apresentam menor capacidade de escoamento natural, favorecendo o acúmulo de águas pluviais.

Conforme pode ser observado na Figura 05, por meio do perfil longitudinal da microbacia estudada, verifica-se que o terreno apresenta declividade média de 22%,

caracterizando um relevo com alta declividade. Essa condição favorece o aumento da velocidade do escoamento superficial e reduz o tempo de concentração da bacia, fazendo com que as águas pluviais alcancem rapidamente o exutório, desta forma é imprescindível uma estrutura capaz de absorver essa necessidade de escoamento.

Figura 05 – Perfil longitudinal da microbacia localidade de Linha do Moinho.

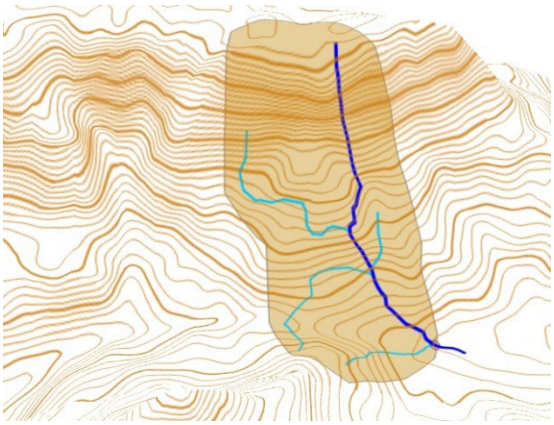


Fonte: Autor

A associação entre a elevada amplitude altimétrica da bacia e a declividade elevada de 22% intensifica a concentração das vazões durante eventos de precipitação intensa, resultando em picos de cheia mais elevados e em maior capacidade de transporte de sedimentos, troncos e outros detritos. Essas características aumentam significativamente as solicitações hidráulicas sobre a estrutura de travessia existente.

O padrão de drenagem natural da microbacia é condicionado pela configuração do relevo, seguindo as linhas de maior declividade definidas pelo gradiente topográfico e pelas curvas de nível, conforme apresentado na Figura 06. A distribuição altimétrica da área determina os caminhos preferenciais do escoamento superficial, conduzindo as águas das porções mais elevadas da bacia em direção ao exutório.

Figura 06 – Curvas de nível da microbacia da Linha do Moinho.



Fonte: Autor.

A análise das curvas de nível evidencia a convergência natural do escoamento superficial para o ponto de travessia, local previsto para a implantação da nova ponte. As águas pluviais provenientes das áreas mais elevadas da encosta escoam predominantemente em direção ao vale, sendo coletadas por pequenos canais naturais e tributários que integram a rede de drenagem da microbacia, até desaguarem no arroio que chega no ponto do exutório, posteriormente, no Rio Jacuí.

O padrão de drenagem observado é predominantemente dendrítico, típico de áreas com litologia relativamente homogênea e relevo controlado pela declividade natural do terreno. Essa configuração favorece a concentração gradual dos diversos escoamentos superficiais em um único canal principal, aumentando significativamente as vazões afluentes ao exutório durante eventos de precipitação intensa.

Associada à elevada amplitude altimétrica e à declividade média da bacia, essa configuração geomorfológica reduz o tempo de concentração e proporciona respostas hidrológicas rápidas, resultando em picos de vazão elevados e maior capacidade de transporte de sedimentos, materiais vegetais e detritos. Esses fatores potencializam a ocorrência de processos erosivos, solapamento das margens e extravasamento da calha do arroio, especialmente quando a capacidade hidráulica da estrutura de travessia é insuficiente.

Dessa forma, a configuração geomorfológica da microbacia evidencia a necessidade de implantação de uma obra de arte especial com capacidade hidráulica compatível com as vazões de projeto, garantindo maior segurança, redução dos riscos de galgamento da via, minimização dos processos erosivos e manutenção da trafegabilidade durante eventos hidrológicos extremos.

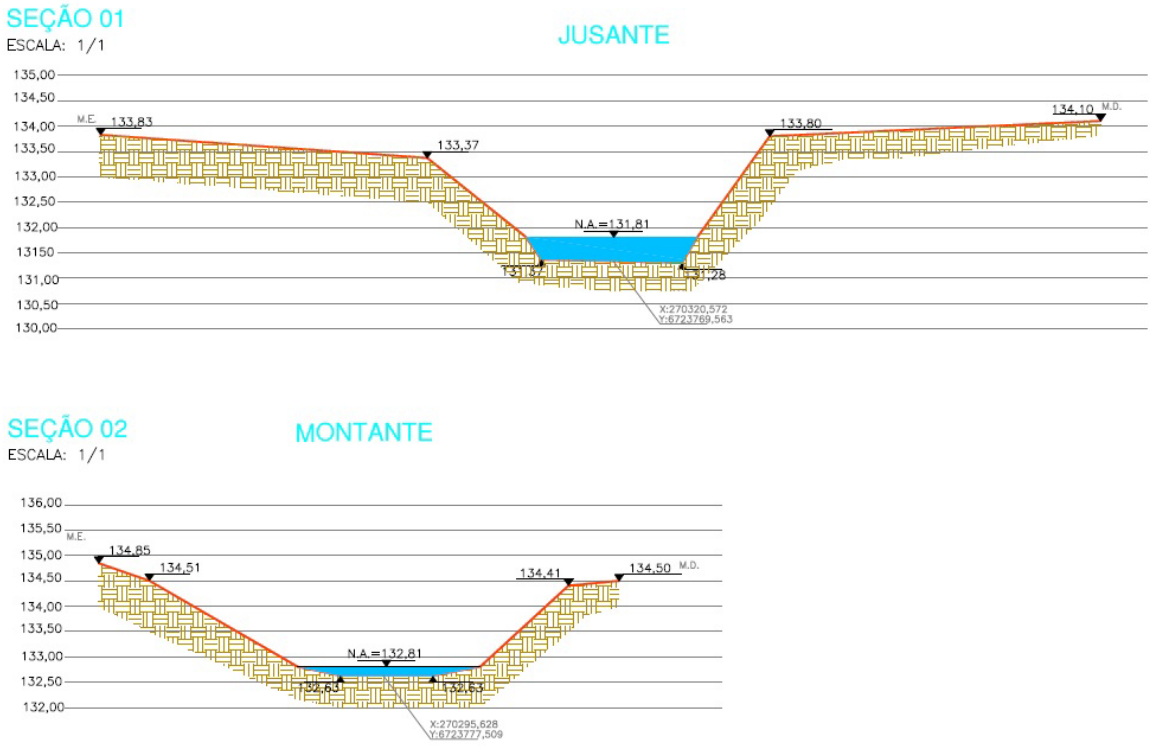
2.2 Delimitação

A delimitação da micro bacia hidrográfica de contribuição foi realizada por meio de análise topográfica, com levantamento a campo e com base em dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, oriundos Da plataforma USGS (https://earthexplorer.usgs.gov), sendo MDE SRTM com 1 segundo de arco global. O processamento foi efetuado no software QGIS, versão 3.40.12-Bratislava, com o auxílio do plugin *WhiteboxTools*.

Foram empregados os algoritmos *D8Pointer*, *FlowAccumulation* e *ExtractStreams* para a modelagem do fluxo superficial, possibilitando a identificação precisa da área total de contribuição com o algoritmo *Watershed*, dos principais cursos d'água, das cotas altimétricas e dos pontos de escoamento concentrado.

A fim de caracterizar as condições geométricas da seção de escoamento e subsidiar a estimativa das vazões associadas aos picos hidrológicos, foi realizado levantamento topobatimétrico na região do exutório da microbacia, permitindo a obtenção dos perfis transversais do canal, apresentados na Figura 07.

Figura 07 – Perfil transversal do canal próximo ao exutório na Linha do Moinho.

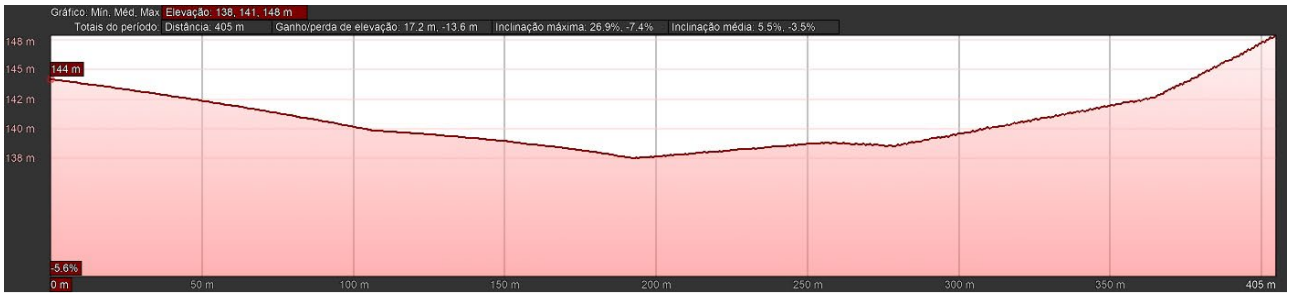


Fonte: Autor.

Para uma caracterização mais abrangente da configuração do terreno e do comportamento do relevo ao longo da área de contribuição, os dados obtidos por meio de equipamentos topográficos de precisão foram complementados pela análise do **Modelo Digital de Elevação (MDE)**, processado em ambiente computacional. Essa análise possibilitou avaliar a conformação transversal da Microbacia da Linha do Moinho e identificar as variações do relevo ao longo do sistema de drenagem.

Para essa avaliação, foram definidos três perfis transversais representativos: o primeiro localizado nas proximidades do exutório, apresentado na Figura 08**;** o segundo situado na região intermediária da microbacia, apresentado na Figura 09; e o terceiro localizado próximo à nascente da drenagem principal, apresentado na Figura 10. A análise conjunta desses perfis permite compreender a configuração topográfica da microbacia e a tendência de convergência do escoamento superficial em direção à drenagem principal e, consequentemente, ao exutório.

Figura 08 – Perfil transversal da microbacia próximo ao exutório.



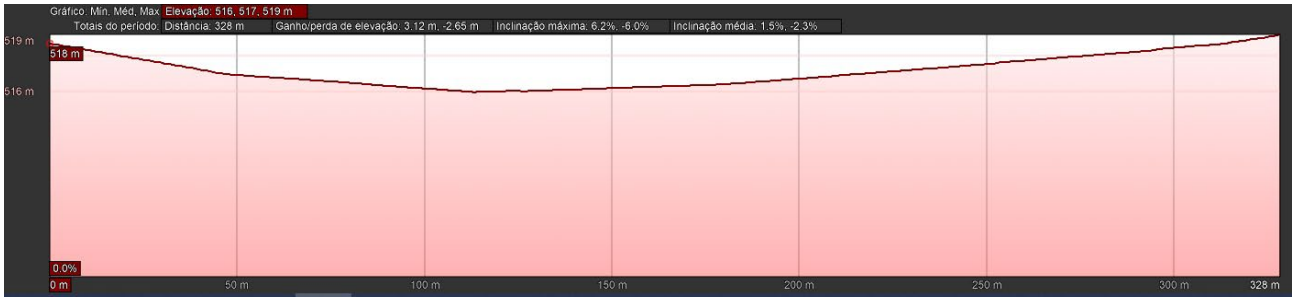
Fonte: Autor.

Figura 09 – Perfil transversal no centro da microbacia.



Fonte: Autor.

Figura 10 – Perfil transversal no da microbacia próximo a nascente da drenagem principal.



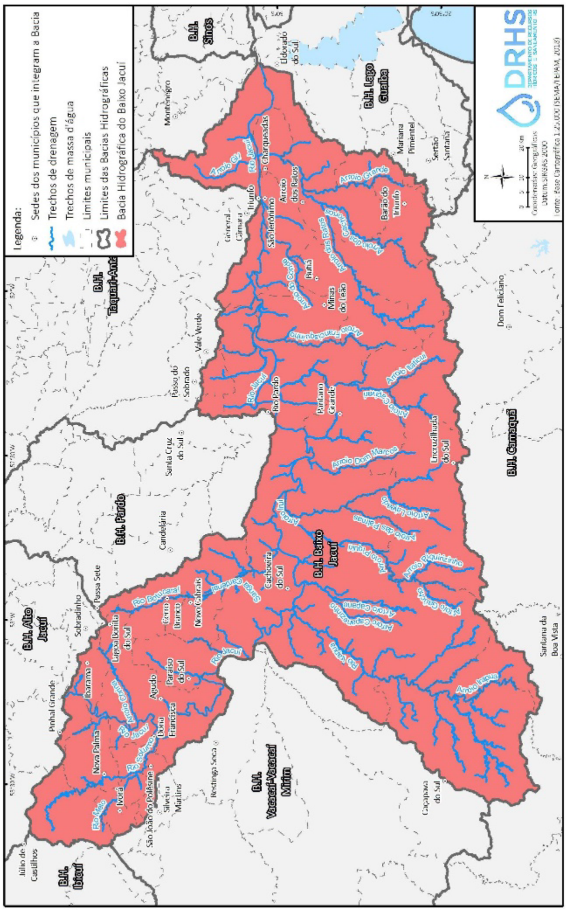
Fonte: Autor.

3 ESTUDO HIDROLÓGICO

3.1 Características da Bacia Hidrográfica

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (CBH-Baixo Jacuí), o município de Dona Francisca/RS está inserido na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, abrangendo as sub-bacias do Rio Soturno e do Arroio Formoso (Figura 11). A área de estudo, localizada na Localidade de Linha do Moinho, pertence à microbacia do Arroio do Moinho, afluente do Rio Jacuí, constituindo parte integrante da rede hidrográfica da bacia.

Figura 11 – Localização do município de Dona Francisca/RS na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.



Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.

Segundo o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, a bacia localiza-se na porção centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29°26' e 30°47' de latitude Sul e 51°16' e 53°35' de longitude Oeste, abrangendo diferentes unidades geomorfológicas, como o Planalto Meridional, a Depressão Central, o Escudo Sul-Rio-Grandense e a Planície Costeira Interior. Essa diversidade geomorfológica resulta em distintos padrões de drenagem, variações de declividade e diferentes respostas hidrológicas entre as sub-bacias.

A rede hidrográfica da bacia é composta pelo Rio Jacuí e por importantes tributários, dentre eles os arroios Irapuã, Capané, Botucacaí, Capivari, do Conde, dos Ratos, dos Cachorros e Ibacurú, responsáveis pela drenagem de uma extensa área da região central do Estado. O Rio Jacuí constitui o principal eixo de drenagem da bacia e desempenha papel estratégico para o abastecimento público, irrigação agrícola, geração de energia, atividades industriais, dessedentação animal e conservação dos ecossistemas aquáticos.

Conforme o Plano de Bacia do Comitê, o regime hidrológico da região é fortemente influenciado pela distribuição sazonal das precipitações, característica do clima subtropical úmido do Rio Grande do Sul. Embora as chuvas ocorram durante todo o ano, eventos de elevada intensidade e longa duração podem provocar respostas hidrológicas rápidas nas microbacias de cabeceira, especialmente naquelas que apresentam pequenas áreas de contribuição, elevadas declividades e reduzido tempo de concentração, como ocorre na microbacia estudada.

O Comitê também destaca que a ocupação agrícola predominante na bacia, associada às características do relevo, pode intensificar os processos de escoamento superficial, erosão hídrica e transporte de sedimentos para os cursos d'água. Durante eventos extremos, esses materiais são carreados para as travessias, favorecendo o assoreamento, a obstrução de galerias e o aumento dos níveis d'água, reduzindo a eficiência hidráulica das estruturas existentes.

Na Localidade da Linha do Moinho, essas condições são potencializadas pela expressiva amplitude altimétrica da microbacia e pela declividade média de 22%, fatores que promovem elevadas velocidades de escoamento superficial e rápida concentração das vazões no exutório. Como consequência, observa-se aumento significativo das vazões de pico durante precipitações intensas, elevando os riscos de

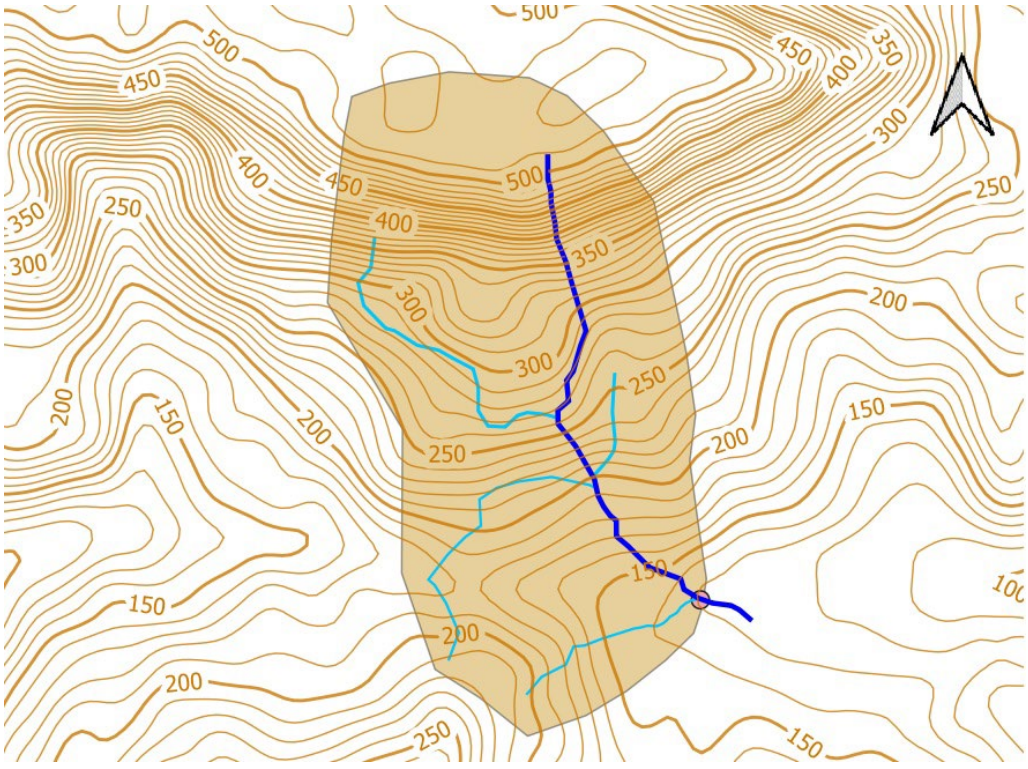
galgamento da via, processos erosivos, solapamento das margens e danos às estruturas de travessia.

Diante desse contexto hidrológico, a implantação de uma ponte em substituição à travessia existente mostra-se tecnicamente justificada, proporcionando maior capacidade hidráulica, menor suscetibilidade à obstrução por sedimentos e materiais vegetais e maior segurança operacional durante eventos de cheias, em conformidade com as diretrizes de gestão dos recursos hídricos estabelecidas pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.

3.2 Delimitação da Bacia Hidrográfica

A Figura 12 apresenta a delimitação da microbacia hidrográfica contribuinte ao local de implantação da ponte na localidade de Linha do Moinho, bem como a hierarquia da rede de drenagem e a área de contribuição obtidas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). A delimitação da bacia foi realizada considerando as características topográficas do terreno, definindo o divisor de águas responsável pela captação do escoamento superficial em direção ao ponto de interesse.

Figura 12 – Mapa com delimitação da Bacia da Linha do Moinho.



Fonte: Autor.

O exutório da microbacia foi estabelecido no eixo da futura ponte, correspondendo ao ponto de concentração de todo o escoamento superficial proveniente da área de drenagem da Bacia Hidrográfica estudada. Esse ponto foi adotado como seção de controle para a determinação da vazão de projeto, servindo como referência para o dimensionamento hidráulico da obra de arte especial.

A estrutura projetada consiste em uma ponte em concreto pré-moldado com dimensões de 5,00 m de largura por 12,00 m de comprimento, dimensionada para garantir a adequada capacidade hidráulica da travessia, permitindo a passagem das vazões de projeto com segurança, minimizando o risco de galgamento da via, processos erosivos e danos estruturais durante eventos hidrológicos extremos.

3.3 Tempo de Retorno para obra de reconstrução da Ponte

Para obras de arte definem-se tempos de recorrência de 50 a 100 anos, podendo chegar até 500 anos, conforme o tipo e importância da obra. Para a construção da ponte na Linha do Moinho, o período de retorno a ser utilizado será de 100 anos.

3.4 Tempo de Concentração

A determinação do tempo de concentração foi realizada pela equação de Kirpich (1940):

$$Tc = 57 * (\frac{L^2}{S})^{0,385}$$

Onde:

Tc: minutos;

L: comprimento do Talvegue (rio principal) = 1.700,0 m;

S: declividade média da bacia = 0,22 (m/m) – desnível da bacia de 378 m.

OBS: Dados retirados dos mapas vistos anteriormente.

Tabela 01 – Cálculo do Tempo de Concentração.

Tempo de concentração (min):	
L (Km)	1,70
S (m/m)	0,22
Tc (min)	**153,6342**

Fonte: Autor.

3.5 Intensidade máxima, média da precipitação (I)

Com base na necessidade de considerar os eventos extremos recentes, principalmente do ano de 2024, utilizou-se como premissa que o projeto seja dimensionado utilizando a formula Intensidade-Duração-Frequência (IDF) atualizada, que considere os dados recentes da série temporal.

A estimativa da intensidade máxima, média foi realizada pela equação IDF:

$$i = \frac{a \,.\, TR^{b}}{(t + c)^{d}}$$

$$i = \frac{885{,}47271 \,.\, TR^{0{,}15862}}{(t + 7{,}59309)^{0{,}71713}}$$

Onde:

i: Intensidade (mm/h);

Tr: tempo de retorno = 100 anos;

Tc = t: tempo de concentração da chuva = 153,6342 min;

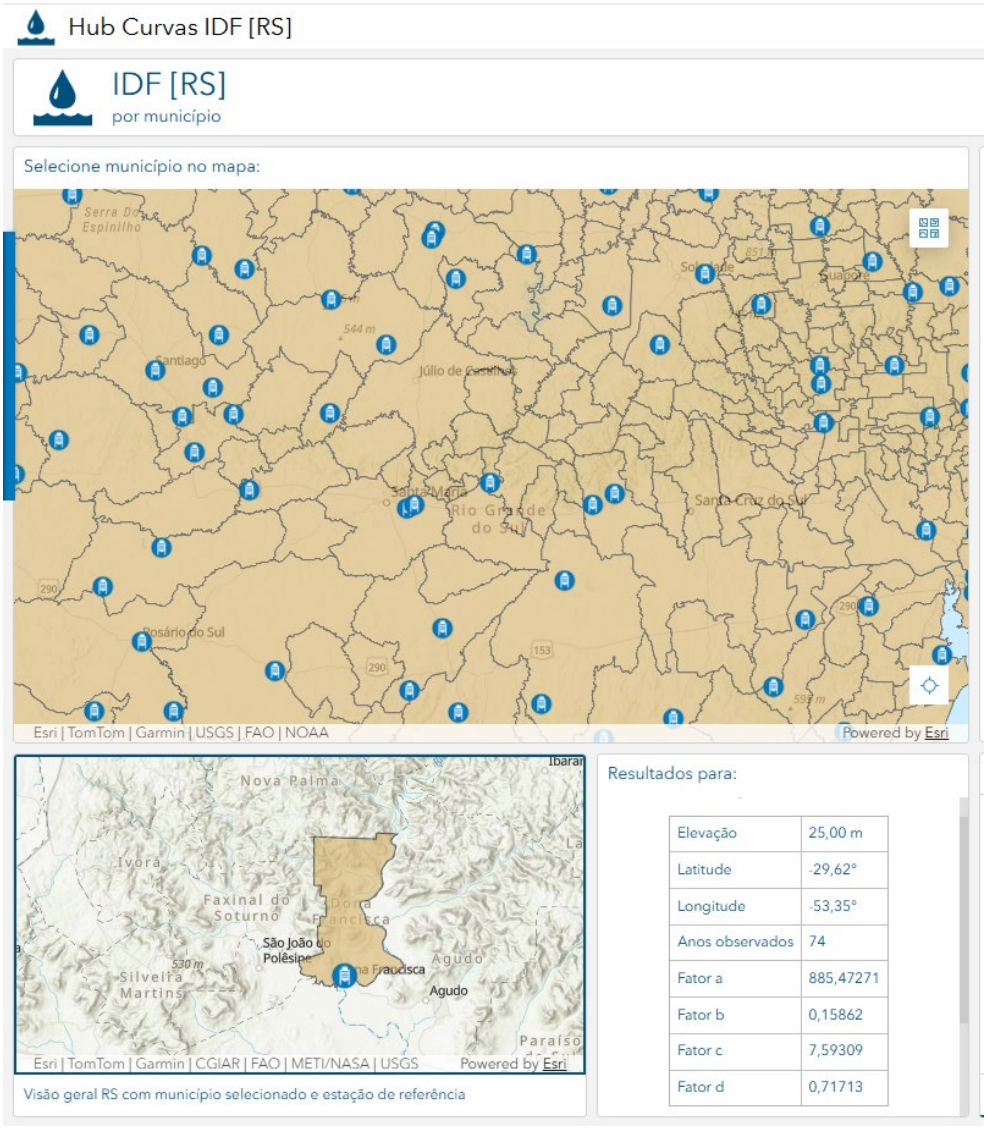
a, b, c, d são fatores locais retirados da estação pluviométrica mais próxima (Figura 13).

Tabela 02 – Valor de Intensidade Pluviométrica.

Intensidade (mm/h)	
a	885,47271
b	0,15862
c	7,59309
d	0,71713
Tr (anos)	100
Tc (min)	153,6342
I (mm/h)	**48,0170**

Fonte: Autor.

Figura 13 – Imagem com os fatores locais retirados da estação pluviométrica posto de referência 02953008.



Fonte: https://idf-rs-ufpb3f417c4037d6.opendata.arcgis.com/apps/ccf5fb9eea4e48db9460f8e3af433f0e/explore.

3.6 Vazão Máxima ou de (Qp)

De acordo com o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT, para bacias hidrográficas com áreas de drenagem compreendidas entre 1,0 e 10,0 km², a estimativa da vazão de projeto pode ser realizada por meio do Método Racional, empregando-se um coeficiente de distribuição espacial da precipitação, cuja finalidade é corrigir a precipitação pontual obtida a partir das curvas Intensidade-

Duração-Frequência (IDF), adequando-a à precipitação média incidente sobre toda a área da bacia.

A microbacia contribuinte ao local de implantação da ponte apresenta área de drenagem de aproximadamente 177 ha (1,77 km²), enquadrando-se na faixa de aplicação recomendada pelo DNIT para utilização do Método Racional. Dessa forma, o referido método foi adotado para a determinação da vazão máxima de projeto, considerando as características fisiográficas da bacia, como área de contribuição, declividade, uso e ocupação do solo e tempo de concentração.

Deste modo segue o cálculo para estimativa de vazão utilizando o Método Racional:

$$Qp = 0{,}278 * C * i * A$$

Onde:

Qp: vazão superficial máxima (m³/s);

C: coeficiente de deflúvio;

i: intensidade de chuva (mm/h) = 48,0170 mm/h (referente ao tempo tc calculado anteriormente);

a: área da bacia = 1,77 Km²;

Tabela 03 – Resultante da vazão máxima calculada.

Vazão Máxima	
C	0,1
I (mm/h)	48,0170
A (Km²)	1,77
Qp (m³/s)	**2,3627**

Fonte: Autor.

Figura 07 – Valores de Escoamento Superficial “C”

Tabela 14.7. Valor de C para áreas rurais (Williams, 1949)

Tipo de área	C'
1 Topografia	
terreno plano, declividade de 0,2-0,6 m/km	0,30
terreno, declividade de 3 - 4 m/km	0,20
morros, declividade de 30 -50 m/km	0,10
2 Solo	
argila impermeável	0,10
permeabilidade média	0,20
arenoso	0,40
3 Cobertura	
áreas cultivadas	0,10
árvores	0,20

Fonte: retirado da obra de Carlos E. M. Tucci.

4 DIMENCIONAMENTO HIDRÁULICO - DETERMINAÇÃO DA COTA MÁXIMA

A determinação da cota máxima da lâmina d'água foi realizada com o objetivo de definir a elevação mínima do tabuleiro da ponte, assegurando a capacidade hidráulica da travessia para a vazão de projeto adotada.

Para essa finalidade, foi efetuada a verificação hidráulica da seção transversal do curso d'água no local da implantação da obra, empregando-se a equação de Manning para escoamento em canais livres. A partir da vazão de projeto determinada no estudo hidrológico, procedeu-se ao dimensionamento da seção hidráulica por meio de processo iterativo, no qual foram avaliadas diferentes profundidades de escoamento até que a capacidade de descarga da seção fosse compatível com a vazão de projeto.

A profundidade de escoamento obtida foi somada à cota do fundo do leito, permitindo determinar a cota máxima da lâmina d'água correspondente ao período de retorno adotado para o dimensionamento da obra.

Como critério complementar de segurança, também foi considerada a cota máxima de inundação verificada durante a enchente extraordinária ocorrida no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024. A definição da elevação do tabuleiro foi baseada na comparação entre a cota calculada por meio da análise hidráulica e a cota máxima observada em campo durante o referido evento, adotando-se como referência a condição mais desfavorável.

Além disso, foi prevista altura livre (freeboard) entre o nível máximo da água e a face inferior da superestrutura, destinada a possibilitar a passagem de materiais flutuantes, troncos, galhadas e demais detritos transportados pelo curso d'água durante eventos de cheia, reduzindo o risco de obstrução da seção hidráulica e de impactos sobre a estrutura.

Os critérios adotados visam garantir a adequada capacidade hidráulica da travessia, minimizando os riscos de galgamento da via, erosões localizadas e danos estruturais decorrentes da ocorrência das vazões de projeto.

4.1 Cálculo da máxima cheia utilizando a fórmula de Manning

Para a avaliação da capacidade hidráulica do curso d'água no local de implantação da ponte, adotou-se a equação de Manning, amplamente empregada na hidráulica de canais livres para estimar a relação entre vazão, geometria da seção, rugosidade e declividade do canal.

A partir da vazão máxima de projeto, determinada no estudo hidrológico, procedeu-se ao dimensionamento hidráulico da seção por meio de um processo iterativo, no qual foram testadas diferentes profundidades de escoamento até que a capacidade hidráulica calculada pela equação de Manning fosse igual ou superior à vazão de projeto.

A profundidade de escoamento obtida corresponde ao nível d'água associado à vazão de projeto. Somando-se essa profundidade à cota do fundo do canal, determinou-se a cota da lâmina d'água de projeto, parâmetro fundamental para a definição da altura livre (freeboard) e do posicionamento do tabuleiro da ponte, garantindo a passagem segura das vazões de projeto e reduzindo os riscos de galgamento da estrutura durante eventos hidrológicos extremos.

Fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

V: velocidade média de escoamento (m/s);

n: rugosidade do canal – 0,040 para canal revestido com pedra;

R_H= A/P: raio hidráulico;

A: área da seção de escoamento (m²);

P: perímetro molhado (m);

I : Declividade do leito do rio, determinada entre dois pontos distantes no mínimo a 200m, sendo um a montante e outro a jusante do eixo da rodovia do qual devem distar 100m cada um = 0,02 m/m.

A vazão de escoamento é dada por:

$$Q = V * A\ (\frac{m^3}{s})$$

Na fórmula de Manning a área da seção de escoamento empregada é uma simplificação da seção real. A seguir encontra-se a tabela com o processo de cálculo, onde pode se definir a altura crítica em função da vazão máxima anteriormente encontrada.

Tabela 04 – Resultante da velocidade e vazão para váriadas seções.

Cálculo da máxima cheia pela fórmula de Manning - PONTE LINHA DO MOINHO							
ALTURA (m)	**ÁREA (m²)**	**PERIMETRO (m)**	**RH (m)**	**I**	**n**	**V (m/s)**	**Q (m³/s)**
0,2	2,4	24,4	0,0983607	0,02	0,04	0,75336	1,808064
0,22	2,64	24,44	0,1080196	0,02	0,04	0,801906	2,117032
0,23	2,76	24,46	0,1128373	0,02	0,04	0,825575	2,278588
0,24	2,88	24,48	0,1176471	0,02	0,04	0,848872	2,444752

Fonte: Autor.

Considerando que a vazão máxima calculada é de 2,3627 m³/s, verifica-se a altura crítica:

Tabela 05 – Resultante da altura.

Interpolação		
	Q (m³/s)	**Altura (m)**
Lim Inf.	2,28	0,23
Lim Sup.	2,44	0,24
Vazão Máxima Real	2,3627	**0,24**

Fonte: Autor.

Conforme as recomendações do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT, além da altura correspondente à cheia máxima provável, deve-se adotar, como prática usual, uma folga mínima de 1,00 m. Essa margem de segurança tem por objetivo evitar que o nível da água atinja a superfície da via

destinada ao tráfego de veículos, garantindo o pleno funcionamento e a segurança da estrutura.

Com isso, somada a altura crítica com a folga, a altura livre para o escoamento crítico calculado é de 1,24 m.

4.2 Cota Máxima de Cheia

A determinação da cota máxima de cheia constitui uma etapa fundamental do dimensionamento altimétrico da ponte, pois estabelece as condições hidráulicas que devem ser consideradas para a definição da cota de implantação da superestrutura. Esse procedimento tem por finalidade garantir a passagem segura da vazão de projeto, preservando a capacidade de escoamento da seção hidráulica, evitando o galgamento da via e reduzindo os riscos de danos estruturais durante eventos de cheia.

A definição da cota máxima de cheia foi realizada com base no levantamento topográfico executado na área da travessia, complementado pela análise das marcas de inundação deixadas pela enchente extraordinária ocorrida no Estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024. A identificação dessas marcas permitiu determinar o nível máximo atingido pela lâmina d'água no local da obra, constituindo um importante parâmetro para a validação das condições hidráulicas adotadas no projeto.

O levantamento topográfico indicou que a cota do leito do curso d'água é 132,81 m, enquanto o nível máximo atingido pela água durante a enchente correspondeu à cota 133,71 m, esse ponto foi medido junto a marcas deixadas próximo a entrada de uma propriedade localizado bem próximo ao local da ponte.

Adicionalmente, verificou-se que, durante esse evento hidrológico extremo, não ocorreu transbordamento sobre a plataforma da via existente no ponto previsto para a implantação da ponte, pois a declividade da bacia faz com que a água escoe para níveis mais baixos. A cota da pista no local da travessia é de 134,36 m, permanecendo acima do nível máximo observado durante a inundação. Dessa forma, essa cota foi adotada como referência para a definição da elevação mínima da estrutura, por representar uma condição de campo comprovadamente segura frente ao maior evento hidrológico recentemente registrado na região.

Deste modo, adotando uma altura livre (freeboard) de 1,00 m a cima da cota da estrada de 134,36m, temos a implantação da ponte no nível 135,36 m.

Em relação a cota do leito, tem-se uma altura livre de: H (LIVRE) = 135,36 – 132,81 = 2,55m.

Como complemento à análise de campo, procedeu-se à verificação hidráulica da seção transversal utilizando a equação de Manning, a partir da vazão de projeto obtida no estudo hidrológico. Os resultados permitiram verificar a compatibilidade entre a capacidade hidráulica da seção e o nível de escoamento calculado, servindo de base para a definição da cota inferior da superestrutura e da altura livre (freeboard) adotada no projeto.

Assim, a definição da cota de implantação da ponte fundamentou-se na integração entre os resultados do estudo hidrológico, da modelagem hidráulica e das evidências observadas em campo durante a enchente de 2024, proporcionando maior confiabilidade ao dimensionamento e maior segurança hidráulica para a estrutura ao longo de sua vida útil.

A determinação da cota máxima de cheia constitui uma etapa fundamental para o dimensionamento altimétrico da ponte, uma vez que estabelece as condições hidráulicas de referência para a definição da cota de implantação da superestrutura. Esse procedimento tem por finalidade garantir condições adequadas para a passagem da vazão de projeto, preservar a capacidade de escoamento da seção hidráulica, reduzir o risco de galgamento da via e minimizar a possibilidade de danos à estrutura durante eventos de cheia.

A definição das condições máximas de cheia foi realizada com base no levantamento topográfico executado na área da travessia, complementado pela análise das marcas de inundação associadas ao evento hidrológico extremo ocorrido no Estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024. A identificação e o levantamento altimétrico dessas marcas possibilitaram determinar o nível máximo atingido pela água nas proximidades do local previsto para implantação da ponte, constituindo importante evidência de campo para a verificação das condições hidráulicas consideradas no projeto.

O levantamento topográfico indicou cota de 132,81 m para o leito do curso d'água. Por sua vez, a marca de inundação identificada nas proximidades da travessia, junto à entrada de uma propriedade localizada próxima ao local de

implantação da ponte, correspondeu à cota de 133,71 m, representativa do nível máximo observado durante a enchente de maio de 2024.

Dessa forma, em relação à cota do leito, o nível máximo observado durante o referido evento corresponde a uma elevação da lâmina d'água de:

$$Hcheia = 133{,}71 - 132{,}81 = 0{,}90\ m$$

Adicionalmente, verificou-se que, durante esse evento hidrológico extremo**, não** ocorreu transbordamento sobre a plataforma da via existente no ponto previsto para implantação da ponte. A configuração topográfica e a declividade da bacia favorecem o direcionamento do escoamento para cotas inferiores, não tendo sido constatado galgamento da estrada no local da travessia.

A cota da pista existente no local é de 134,36 m, portanto superior à cota máxima de cheia observada, de 133,71 m. A diferença altimétrica entre esses dois níveis é:

$$134{,}36 - 133{,}71 = 0{,}65\ m$$

Assim, a própria plataforma da estrada permaneceu aproximadamente 0,65 m acima do nível máximo observado durante a enchente de 2024. Esse comportamento constitui uma importante evidência de campo para a definição altimétrica da nova estrutura.

Para a implantação da ponte, adotou-se como referência a cota da estrada de 134,36 m, acrescida de uma altura livre adicional (*freeboard*) de **1,00 m**. Dessa forma, estabeleceu-se a seguinte cota para implantação da estrutura:

$$Cota\ de\ implantacão = 134{,}36 + 1{,}00 = 135{,}36\ m$$

Portanto, foi adotada a cota 135,36 m como nível de implantação da ponte.

Considerando a cota do leito do curso d'água, igual a 132,81 m, obtém-se uma altura livre total de:

$$Hlivre = 135{,}36 - 132{,}81\ =\ 2{,}55m$$

Consequentemente, a cota de implantação adotada encontra-se 2,55 m acima da cota do leito em condições normais. Em relação especificamente ao nível máximo de cheia observado em 2024, a diferença disponível é:

$$H = 135{,}36 - 133{,}71 = 1{,}65\ m$$

Portanto, a solução adotada posiciona a estrutura 1,65 m acima da cota máxima de cheia observada no evento de maio de 2024, conferindo uma margem adicional de segurança em relação às condições verificadas em campo.

Como complemento à análise baseada nas evidências do evento de 2024, procedeu-se à verificação hidráulica da seção transversal por meio da equação de Manning, utilizando-se a vazão de projeto determinada no estudo hidrológico. Essa análise permitiu verificar a compatibilidade entre a capacidade de escoamento da seção, a lâmina d'água calculada e as condições altimétricas estabelecidas para a implantação da ponte.

Dessa forma, a definição da cota de implantação da estrutura não se fundamentou exclusivamente no resultado da modelagem hidráulica, mas na análise integrada entre o estudo hidrológico, a verificação hidráulica, o levantamento topográfico e as evidências de campo associadas à enchente extraordinária de maio de 2024. A adoção da cota de implantação de 135,36 m, correspondente a uma altura de 2,55 m em relação ao leito e de 1,65 m em relação ao nível máximo de cheia observado, proporciona uma condição conservadora para o dimensionamento altimétrico da travessia e maior segurança hidráulica para a estrutura ao longo de sua vida útil.

5 CONCLUSÃO

Com base nos estudos hidrológicos, na verificação hidráulica, no levantamento topográfico e nas evidências de campo referentes à enchente de maio de 2024, definiu-se a cota 135,36 m como referência para a implantação da ponte, garantindo uma altura de 2,55 m em relação ao leito do curso d'água e de 1,65 m em relação ao nível máximo de cheia observado.

Para assegurar a correta implantação altimétrica da estrutura, antes do início dos serviços de escavação, terraplenagem ou remoção do solo, deverá ser devidamente identificada e demarcada em campo a cota de referência da estrada existente, igual a 134,36 m, por meio de referência de nível (RN) estável e preservada durante toda a execução da obra. A partir dessa referência deverá ser realizada a locação e conferência da cota de implantação da ponte de 135,36 m, evitando que a alteração do terreno natural durante a execução comprometa a referência altimétrica estabelecida no projeto.

Dessa forma, a preservação e conferência da referência de nível previamente à intervenção no terreno constituem procedimentos essenciais para garantir que a ponte seja executada nas cotas definidas neste estudo, mantendo as condições de segurança hidráulica estabelecidas para a travessia.

_____

MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS
SAUL ANTONIO DAL FORNO RECK
Prefeito Municipal
CNPJ/MF: 87.488.938.0001-80

gov.br
Documento assinado digitalmente
GABRIELA GRUTZMACHER MACHADO
Data: 01/09/2026 23:19:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

GABRIELA GRÜTZMACHER MACHADO
Engenheira Civil - CREA RS 215 695
Gama Engenharia e Construções LTDA

ANEXO 1 – IMAGENS DO LOCAL RETIRADAS NO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFIO











