

LAUDO HIDROLÓGICO

Município de Coxilha/RS

Coxilha /RS

LAUDO HIDROLÓGICO PARA DETERMINAR VAZÃO DE CURSO HIDRICO PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS

CONTRATANTE:

Razão Social: Prefeitura Municipal de Coxilha/RS

Endereço: Avenida Ilso José Weber, n° 68, centro, Coxilha/RS

CNPJ: 92.411.933.0001-90

CONTRATADA:

Razão Social: Rio Fundo Engenharia LTDA

Endereço: Rua Eduardo de Brito, 800, CEP 99010-180, Passo Fundo/RS

CNPJ: 58.940.212/0001-39

Responsável técnico: André Vitor Andrade Micheletto

Engenheiro Civil – CREA/RS: RS274.342

Data: 12/11/2025

Versão: R00

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO.....	3
2	LOCALIZAÇÃO.....	3
3	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA.....	6
3.1	Hidrologia Regional	6
4	ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS EXISTENTES	11
5	METODOLOGIA UTILIZADA PARA OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES	11
5.1	Origem da série de vazões	13
5.2	Tamanho da série (início e fim da série, existência de falhas)	13
5.3	Método da Curva de Permanência de Vazões	14
5.4	Vazão média de longo período (Q_{mp}).....	15
5.5	Estudo de chuvas intensas	16
5.6	Bacia de Contribuição.....	16
5.7	Intensidade das chuvas	17
5.8	Tempo de concentração	19
5.9	Período de retorno	20
5.10	Coeficiente de Run-off / Coeficiente de deflúvio	21
5.11	Correção de valores	21
5.11.1	Aumento na magnitude	22
5.11.2	Aumento na frequência de eventos extremos	23
	O Tempo de Retorno (TR) adotado para estimar variáveis com base no histórico passado deve ser majorado em relação ao pretendido para o futuro no estudo/projeto conforme a tabela abaixo:.....	23
6	CONCLUSÃO	23
7	RESPONSÁVEL TÉCNICO	24
8	ANEXOS.....	24
8.1	Anexo I: Assinatura de Responsabilidade Técnica (ART)	24

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Os estudos hidrológicos foram desenvolvidos com o objetivo de se definir as descargas máximas que irão escoar pelos dispositivos de drenagem a serem projetados. No âmbito geral o principal objetivo desse estudo é a coleta e o processamento dos dados pluviométricos, de maneira a possibilitar a determinação das vazões das bacias hidrográficas que contribuem para a área de estudo, dentro dos tempos de recorrência previstos no projeto.

Este Laudo Técnico Hidrológico tem por finalidade estabelecer, de forma tecnicamente fundamentada, as vazões de projeto (cheias de cálculo) necessárias ao dimensionamento hidráulico da ponte a ser implantada sobre o Rio Piraçucê, interior do Município de Coxilha, na divisa com o Município de Vila Lângaro. O estudo contempla a caracterização hidrológica da bacia contribuinte, a seleção do(s) tempo(s) de recorrência (TR), a estimativa de vazões máximas.

O presente documento segue o Termo de Referência definido pela FEPAM para elaboração do Laudo Técnico Hidrológico para fins de determinação da vazão de referência (Diretriz Técnica nº 04/2018) em atendimento à Resolução CONSEMA nº 355/2017, apresentando:

- **Quadro resumo** com identificação do empreendimento, coordenadas do ponto de lançamento, área da bacia, Qmlp, Q85, Q90 e Q95, com assinatura e ART do responsável técnico;
- **Carta topográfica** do Exército (escala 1:50.000) com a delimitação da bacia e identificação do exutório;
- **Relatório técnico** com metodologia, origem e período da série de vazões, representatividade e incertezas dos dados, além de mapa de localização da bacia no contexto estadual;
- **Cálculo das vazões;**
- **Anotação de Responsabilidade Técnica.**

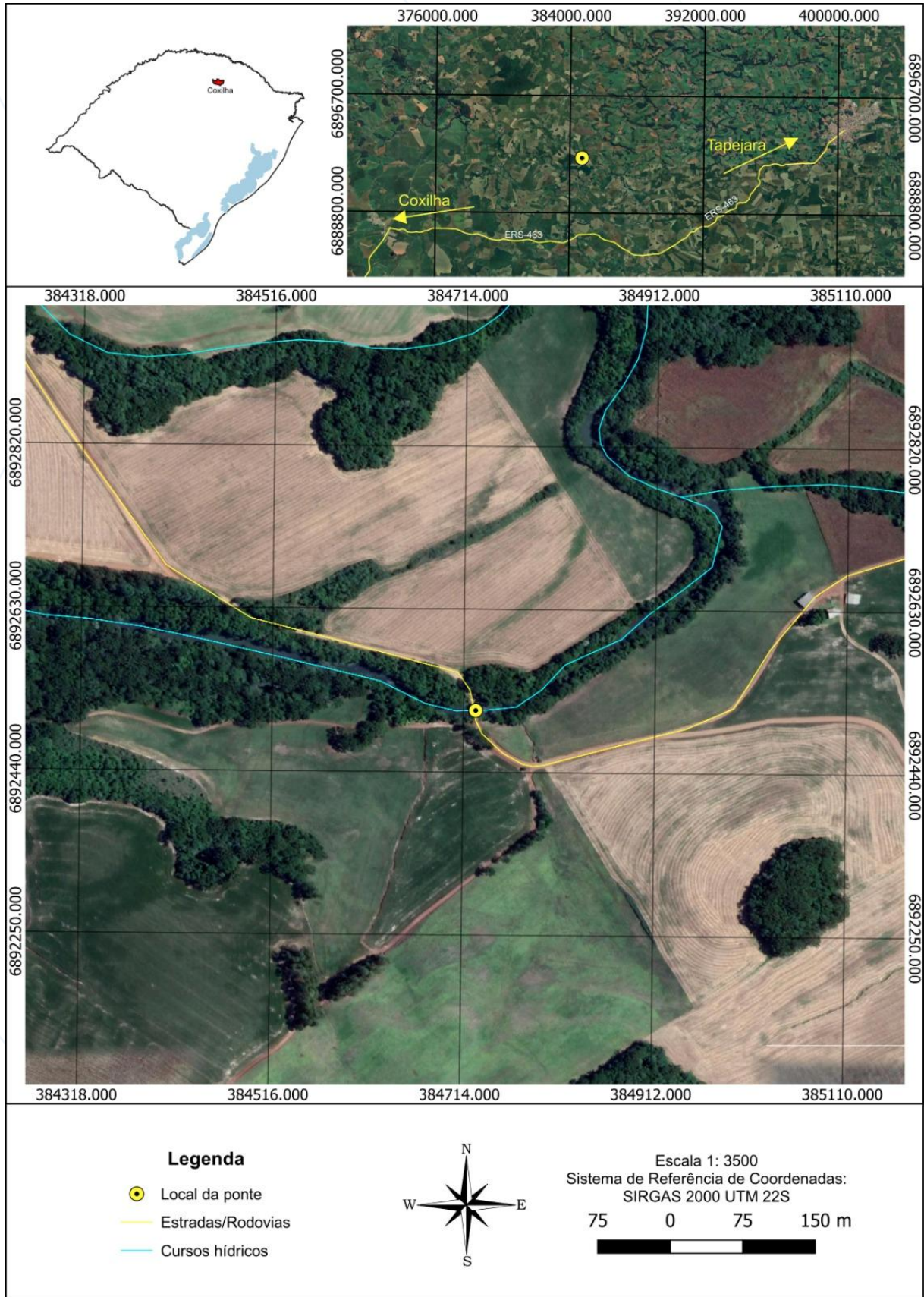
2 LOCALIZAÇÃO

O ponto de interesse localiza-se, sob as coordenadas geográficas -28.08782328, -52.17331528, situado no interior do município de Coxilha, Estado do Rio Grande do Sul.

O acesso ao local pode ser descrito conforme segue: partindo da Prefeitura Municipal de Coxilha, percorre-se aproximadamente 1 quilômetro até alcançar a Rodovia RS-135. A partir desse ponto, segue-se pela RS-135 em direção ao município de Sertão por cerca de 3,7 quilômetros, até uma entrada à direita, logo após Rossato e Tonial Coxilha. Prosseguindo por essa via vicinal por aproximadamente 12,8 quilômetros no sentido da Capela Nossa Senhora de Fátima, alcançando o ponto de estudo referente à seção de interesse hidrológico.

A localização exata encontra-se representada na Figura 1 e nas plantas cartográficas anexas a este relatório.

Figura 1 - Mapa de Localização



IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO
Requerente: Prefeitura Municipal de Coxilha/RS
Endereço: Interior, divisa dos municípios Coxilha e Vila Lângaro
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DO PONTO DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES
Sistema de coordenadas: SIRGAS 2000, Zona 22S
Coordenadas geográficas (graus decimais): -28.08782328, -52.17331528
ÁREA DA BACIA DE DRENAGEM
Área cujo exutório é o ponto de interesse (Km ²): 365,70 km ²
VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO (Q_{mlp})
Q _{mlp} no ponto de estudo (m ³ /s): 14,82 m ³ /s
CURVA DE PERMANÊNCIA
Q ₈₅ (m ³ /s): 7,17
Q ₉₀ (m ³ /s): 5,32
Q ₉₅ (m ³ /s): 3,45
VAZÃO MÁXIMA
RESPONSÁVEL TÉCNICO E ART
Responsável técnico: André Vitor Andrade Micheletto
Eng. Civil - CREA RS274.342
ART: 14107902

3 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

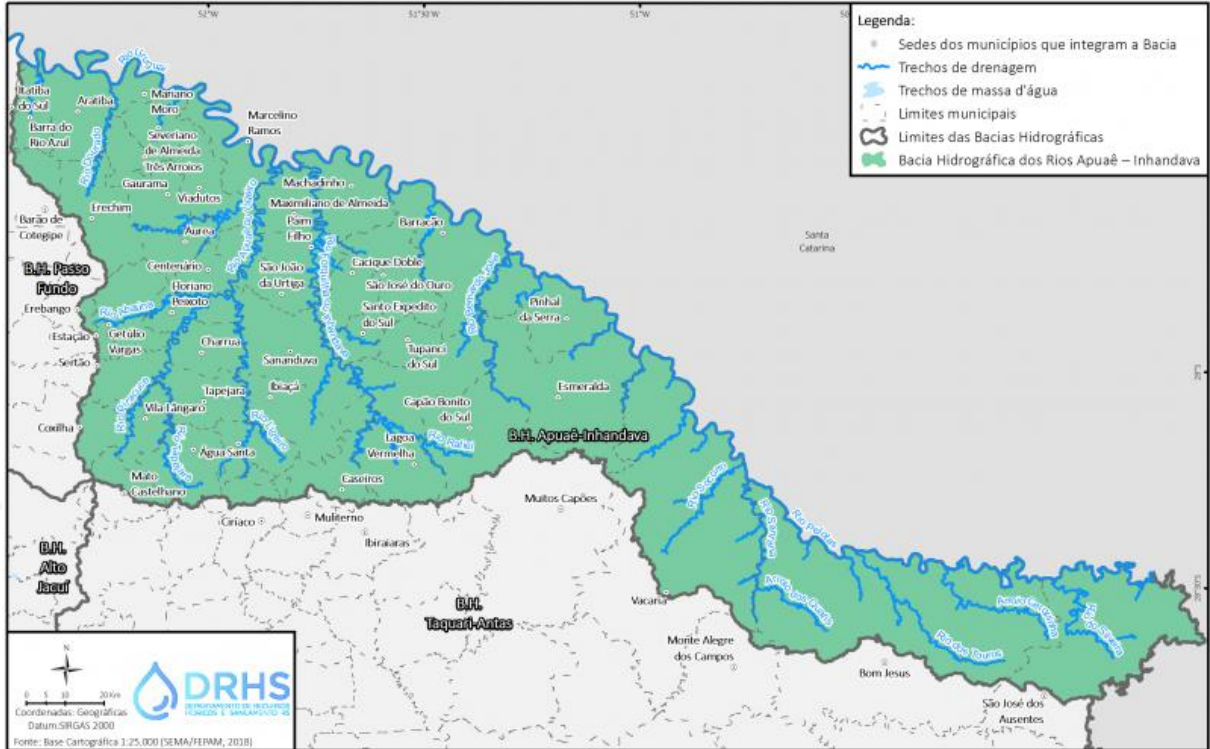
3.1 Hidrologia Regional

O ponto de estudo encontra-se inserido na **U010 A Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê Inhandava**, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, possui área de 14.508 km² e população estimada de 351.163 habitantes (2020).

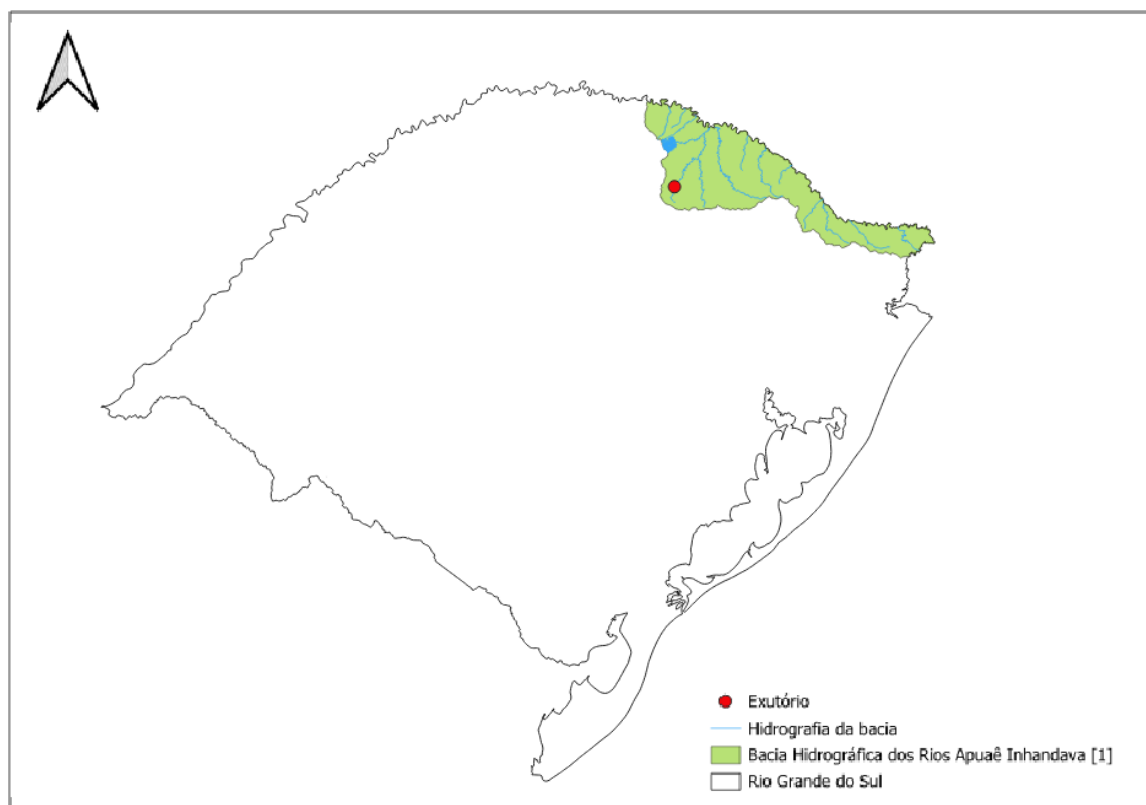
O ponto de estudo analisado neste laudo está localizado na área oeste da bacia, no interior do município de Coxilha/RS, integrando a sub-bacia denominada “UPG APAUÊ / APU-AP-08” conforme figura 3. A área de drenagem local foi delimitada com modelos digitais de elevação e apresentada com base em carta topográfica do Exército (2918-2), escala 1:50.000, conforme exigido

pela Diretriz Técnica nº 04/2018 (FEPAM/RS), indicando que o exutório coincide com o ponto de interesse hidrológico do presente estudo.

Figura 2 - Mapa da Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê Inhandava



Fonte: SEMA/RS (2025)

Figura 3 - Indicação do exutório com relação à bacia e ao estado

A delimitação da área de drenagem associada ao ponto de interesse foi realizada em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) utilizando o software QGIS, versão 3.40.9 (Bratislava). Para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área, empregou-se o plugin OpenTopography DEM Downloader (versão 3.0), a partir do qual foi obtida a DEM COPERNICUS Global DSM 30 m, que oferece resolução espacial de 30 metros e cobertura global, sendo adequada para análises hidrológicas em escala de microbacia.

Após o download e a inserção da DEM no projeto, foram utilizados os recursos do plugin GRASS GIS Processing Provider (versão 2.12.99) para o pré-processamento e refinamento do modelo. Inicialmente, aplicou-se o filtro de remoção de depressões (R.FILL.DIR), de modo a eliminar eventuais reentrâncias artificiais ou anomalias topográficas que poderiam comprometer a continuidade do fluxo superficial e, conseqüentemente, a delimitação precisa da bacia.

Concluída essa etapa, procedeu-se à geração da camada de direções de fluxo (R. WATERSHED), representando o caminho preferencial do escoamento superficial. A partir dessa camada e do modelo de relevo corrigido, foi possível delimitar

automaticamente a microbacia de drenagem correspondente ao exutório definido no ponto de interesse hidrológico (R. WATER.OUTLET.) — o mesmo ponto utilizado para as análises de vazão e para o dimensionamento hidráulico da ponte.

O resultado consistiu em um polígono georreferenciado representando os limites da microbacia contribuinte com uma área de 365,70 km², o qual foi validado visualmente com base na Carta Topográfica do Exército (escala 1:50.000) e nas feições naturais do relevo. A figura correspondente, bem como o arquivo vetorial da bacia delimitada, encontra-se apresentados na figura 4.

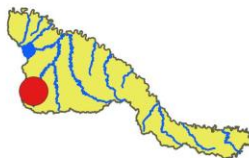
Figura 4 - Delimitação da Microbacia



0 2.5 5 km



Escala: 1.25.000
Sistema de Referência de Coordenadas
Datum Sirgas 2000 UTM 22S



Legenda

- Exutório
- Limites de municípios
- Curso hidrico
- Bacia Hidrografica
- microbacia
- Curvas de Nivel

4 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS EXISTENTES

Para o correto gerenciamento dos recursos hídricos, faz-se necessário conhecer suas vazões mínimas, médias e máximas.

A fim de determinar a vazão de referência do curso hídrico receptor para atendimento ao disposto na Resolução CONSEMA nº 355/2017, foram analisados os dados fluviométricos existentes para a região.

Os próximos itens apresentam a metodologia utilizada para obtenção das informações hidrológicas e justificativa para sua utilização; a origem dos dados utilizados; o tamanho e caracterização da série de dados utilizados e a avaliação de sua representatividade e; as informações hidrológicas obtidas que subsidiaram a análise da capacidade de depuração de efluentes do curso hídrico estudado.

5 METODOLOGIA UTILIZADA PARA OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Segundo o Inventário das Estações Fluviométricas (ANA, 2009), não existe estação fluviométrica e/ou pluviométrica no ponto de lançamento do efluente. No entanto, conforme Tucci (2002), as vazões, onde não existem dados históricos, podem ser determinadas através de correlações com dados disponíveis de estações próximas. Desta forma, buscou-se utilizar uma estação fluviométrica à jusante de ponto de lançamento, pertencente à mesma bacia hidrográfica.

A Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê Inhandava U010 possui inúmeras estações fluviométricas e pluviométricas. Assim, a seleção da estação fluviométrica base se deu por dois quesitos: i) disponibilidade de dados de vazões; ii) situação na bacia de drenagem.

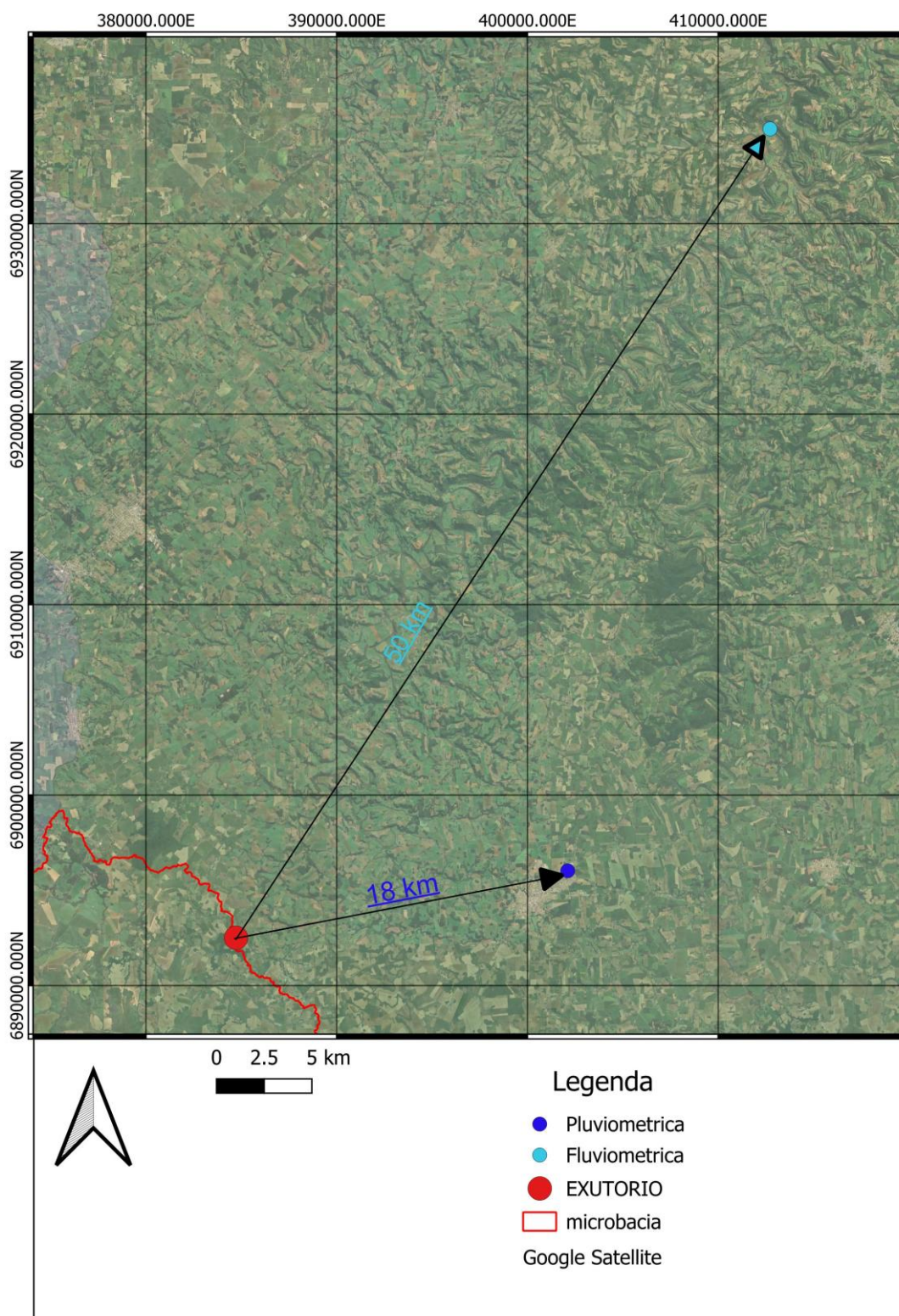
Baseando-se nos critérios definidos acima, tomou-se como base a Estação Fluviométrica PASSO SANTA TEREZA, código 72630000, já que esta é a estação mais próxima ao ponto de lançamento com disponibilidade de dados de vazão e, pertence a mesma bacia hidrográfica, (Figura 5), possuindo uma grande série de dados disponíveis. Os dados desta estação foram obtidos no site Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

E a estação pluviométrica mais próxima foi a TAPEJARA (Código 2852046)

Desta forma, as informações hidrológicas de vazão média e mínima do ponto de estudo foram obtidas a partir da transposição dos dados da Estação Fluviométrica Barca do Caí, conforme descrito por Paiva e Paiva (2003) e Tucci (2002). A curva de

permanência e os valores de Q85, Q90, Q95 e Q99 foram definidos através do critério de regionalização das vazões descrito em CEEE-IPH (1991).

Figura 5 - Localização das estações



5.1 Origem da série de vazões

A Estação selecionada como base fluviométrica para apresentação dos dados de vazões foi a Estação Fluviométrica PASSO SANTA TEREZA, código 72630000. Essa estação, é de responsabilidade da ANA e operada pela SGB-CPRM. Sua implantação se deu em 30/09/1957, permanecendo ainda ativa. Situada no município de Paim Filho/Rs, com coordenadas geográficas -27.7067° e -51.8853° , essa estação recebe águas drenadas de uma área de 2800 Km². A Figura 6 apresenta os dados da estação.

Figura 6 - Dados da Estação

Dados Estação

Código	72630000
Nome Estação	PASSO SANTA TEREZA
Código Adicional	
Bacia	7 - RIO URUGUAI
SubBacia	72 - RIOS URUGUAI, DO PEIXE E OUTROS
Rio	RIO APUE OU LIGEIRO
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Município	PAIM FILHO
Responsável	ANA
Operadora	SGB-CPRM
Latitude	-27.7067
Longitude	-51.8853
Altitude (m)	400
Área de Drenagem (Km²)	2800

5.2 Tamanho da série (início e fim da série, existência de falhas)

Dentro dessa estação foram observados dados dos últimos 20 anos. Dentre essa série histórica se observou 7 falhas nos meses 05/2006, 06/2006, 07/2006, 08/2006, 08/2007, 09/2007, 10/2007. Para o tratamento estatístico dos dados, todas as falhas

foram preenchidas com as médias mínimas mensais de longo período, de forma a não superestimar nenhuma das falhas. Tais fatores oferecem segurança para o tratamento estatístico dos dados para este estudo.

Figura 7 - Vazões medias mensais da estação

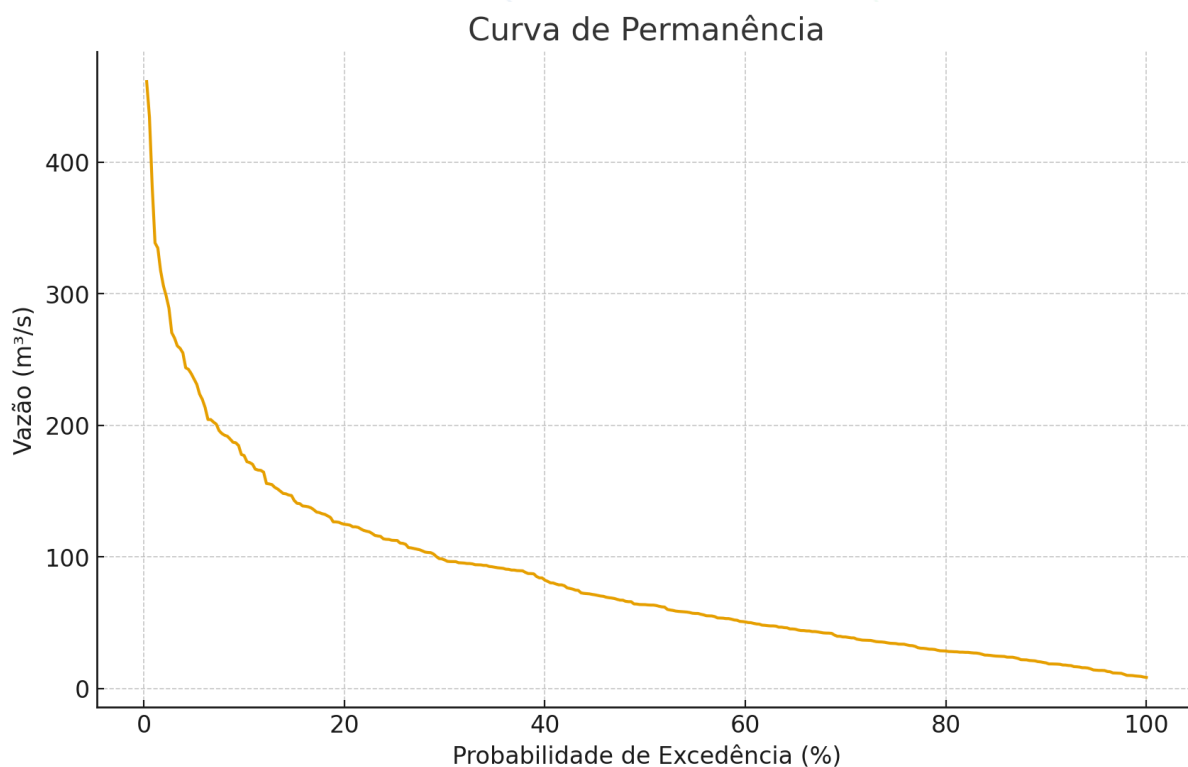
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1995	134,0386	42,0423	23,6938	13,6767	9,7463	37,0723	66,1841	71,4181	56,3441	138,0249	36,4722	17,7261	53,86996
1996	109,5293	106,2965	47,4914	30,5213	16,5669	72,6119	102,1553	98,6836	129,9315	80,1208	90,6183	46,5459	77,58939
1997	29,8272	98,4688	27,5353	14,8697	18,3213	84,0148	106,749	177,815	78,6774	461,2181	298,3164	75,4478	122,6051
1998	133,6332	334,7014	165,7063	231,1083	186,6521	71,099	105,3925	213,3918	176,9635	81,3758	34,3081	21,8133	146,3454
1999	20,9344	25,0692	12,6396	69,9981	35,3768	50,768	146,5925	40,5231	44,942	112,5146	34,0825	49,4042	53,57042
2000	28,047	16,2189	27,388	27,8539	46,1849	63,0127	132,2642	58,021	170,3991	192,3828	63,3174	47,9449	72,7529
2001	91,688	107,0296	43,9407	72,0452	124,7045	91,4667	87,2666	36,6143	93,4791	243,7295	57,6734	62,4305	92,67234
2002	25,2537	17,431	24,5682	18,6058	82,261	191,6343	95,2566	132,7569	151,6058	195,9155	103,165	147,8626	98,8597
2003	92,7069	96,589	53,3875	27,5381	64,1821	58,3465	65,9024	26,9135	21,2287	50,9283	43,9726	138,4251	61,67673
2004	48,0989	30,1986	14,0117	18,4711	53,0372	33,0572	55,2134	23,7387	89,4348	117,6941	57,1456	23,2082	46,94246
2005	15,7067	9,4709	11,5301	96,4082	193,7184	223,7271	95,3893	55,1186	122,3499	219,5943	63,4405	28,9908	94,6204
2006	29,5882	21,0536	30,9086	20,1623	25,96	27,8	35,99	61,98	45,1675	22,7302	140,3887	58,5174	43,35388
2007	33,6737	34,632	63,7494	70,2288	187,0818	47,6772	204,327	79,34	95,51	138,66	125,3027	44,3446	93,7106
2008	38,4014	18,5299	15,4767	33,5876	41,8236	89,5397	51,8128	63,717	48,9698	184,5999	140,6868	33,6046	63,39582
2009	25,307	24,774	16,4375	9,2903	19,3667	35,5427	152,7942	165,9306	306,0691	126,591	137,2806	104,5103	93,65783
2010	93,8524	92,4728	27,985	110,2294	115,5385	113,3139	126,5411	61,8052	120,0306	52,5924	43,6789	119,4476	89,79065
2011	43,2084	63,6529	103,6161	87,301	74,4972	155,4067	270,3676	200,8165	92,0614	71,8451	39,0988	24,2642	102,178
2012	26,8423	13,8421	13,6799	9,8022	8,3374	45,2108	94,9007	53,0676	48,8186	142,7851	42,1784	35,292	44,56309
2013	59,588	24,3956	50,0559	47,4821	28,5833	94,9254	68,3141	235,1199	149,919	124,106	59,2735	50,5319	82,69123
2014	49,9383	29,7806	96,3382	72,2344	146,976	338,59	131,0682	83,9608	110,4614	126,25	67,64	64,1	109,7782
2015	148,21	91,25	56,95	65,87	52,02	97,63	266,31	53,46	115,84	202,41	135,82	204,35	124,1767
2016	67,05	122,82	112,61	94,63	89,37	36,71	112,37	93,46	47,3	189,45	54,56	31,93	87,68833
2017	89,91	42,94	37,44	89,93	242,5	254,99	32,59	46,56	27,4	118,97	80,23	39,15	91,88417
2018	93,98	21,66	30,45	36,47	38,36	58,77	85,08	60,03	154,87	113,67	124,49	70,68	74,0425
2019	53,58	39,6	63,33	42	155,78	67,1	68,94	28,42	21,72	58,19	122,8	35,06	63,04333
2020	39,63	17,3	9,13	8,65	15,73	78,67	258,45	76,42	42,53	18,6	11,74	34,17	50,91833
2021	55,9	43,64	17,78	10,72	20,38	87,08	43,2	28,53	105,81	78,07	32,45	13,57	44,76083
2022	9,91	11,45	27,11	100,27	239,25	260,35	75,98	90,49	38,73	96,35	24,46	23,76	83,17583
2023	12,86	11,67	19,73	26,53	68,69	103,32	166,65	46,03	288,94	380,71	434,07	164,35	143,6292
2024	113,2178	88,1821	93,9301	116,2403	317,4806	172,3135	121,0663	69,2967	56,9795	171,6193	55,0341	74,6846	120,8371
Soma	60,47038	56,57206	44,62	55,75749	90,61589	104,725	114,1706	84,44763	101,7494	143,7233	91,78982	62,87055	84,29268

5.3 Método da Curva de Permanência de Vazões

A curva de permanência de uma série de dados hidrológicos apresenta a estimativa de disponibilidade hídrica da vazão atualmente escoada pelo rio (vazão remanescente). Ela relaciona a vazão ou o nível de um rio e a probabilidade de ocorrência de valores de vazões ou níveis maiores ou iguais ao valor encontrado (Tucci, 2002).

Para a elaboração do gráfico da curva de permanência foram utilizadas a série histórica de 20 anos de dados de vazões diárias. Para isso, cada vazão foi associada à sua frequência de ocorrência.

A figura 8 apresenta as vazões de referência Q_{85} , Q_{90} , Q_{95} e Q_{99} obtidas a partir da curva de permanência.

Figura 8 - Curva de Permanência


Probabilidade de permanência das vazões	Vazão na Estação Passo Santa Tereza (m³/s)	Vazão no ponto de estudo (m³/s)
Q ₈₅	33,0	7,17
Q ₉₀	24,5	5,32
Q ₉₅	15,9	3,45

5.4 Vazão média de longo período (Q_{mlp})

A vazão média de longo período (Q_{mlp}) é definida como a média das vazões médias anuais para toda a série de dados. Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das vazões mensais da BARCA DO CAÍ. O valor em destaque no canto inferior direito é a vazão média de longo período - **Q_{mlp} = 84,29 m³/s desta Estação.**

Para obter a Q_{mlp} do curso hídrico receptor no ponto de lançamento, foi realizada a transposição dos dados obtidos da Estação BARCA DO CAÍ, através da Equação, conforme segue:

Q_{mlp} da estação = 84,29 m³/s - área de drenagem: 2080 km²

Q_{mlp} da microbacia de estudo = X - Área de drenagem: 365,70 km²

Q_{mlp} ponto de estudo: 14,82 m³/s

5.5 Estudo de chuvas intensas

O estudo das chuvas intensas incidentes na região do projeto baseou-se na análise das precipitações máximas mensais registradas na estação pluviométrica mais próxima do município. Essa análise envolveu etapas sequenciais e integradas, que possibilitaram a determinação das intensidades de chuva e, posteriormente, das vazões de projeto necessárias ao dimensionamento hidráulico.

Inicialmente, realizou-se a delimitação das microbacias hidrográficas correspondentes às áreas do projeto, permitindo determinar com precisão as áreas de drenagem e o comprimento do curso principal de cada bacia. Em seguida, foi calculado o tempo de concentração (t_c) — que representa o tempo necessário para que a água da chuva escoe desde o ponto mais distante da bacia até o exutório — e definido o período de retorno (TR) ou tempo de recorrência das chuvas, expresso em anos.

Com esses parâmetros definidos, foi possível calcular as intensidades de chuva (i) correspondentes aos diferentes períodos de retorno, por meio das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da região. A partir das intensidades obtidas, determinaram-se as descargas de projeto (Q) para cada cenário de tempo de retorno analisado, resultando nos valores de vazão máxima de projeto utilizados para o dimensionamento hidráulico das estruturas.

A máxima chuva diária registrada pela estação foi no mês de junho de 2025, sendo analisado o período de 20 anos, com uma precipitação de **150,6 mm**. Esse dado foi obtido a partir da série de informações históricas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) por meio do HIDROWEB para a estação mais próxima em funcionamento localizada no município de Tapejara/RS (código da estação 2852046), sendo esta a estação mais próxima do local de estudo ainda em funcionamento.

5.6 Bacia de Contribuição

A Bacia de Contribuição está demonstrada na Figura 4 e possui uma área total de **365,70 km²**. Essa área é definida através da análise de modelos digitais de elevação conforme descrito no item 3 deste laudo.

5.7 Intensidade das chuvas

A análise das **precipitações máximas** na região do projeto foi realizada com o auxílio do **software Plúvio 2.1**, desenvolvido pelo **Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH)** do **Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV)**.

O **Plúvio 2.1** dispõe de um banco de dados consolidado com **parâmetros de equações de chuvas intensas** para diversas localidades do território brasileiro.

Para este estudo, foram utilizados os **parâmetros de chuva intensa correspondentes à estação pluviométrica de Passo Fundo/RS**, identificada como a **mais próxima e representativa** para a área de interesse, situada no município de **Coxilha/RS**.

Com base nesses parâmetros fornecidos pelo **Plúvio 2.1**, foi possível determinar a **equação de chuva intensa** específica para a região de estudo, utilizada para o cálculo das **intensidades de chuva (i)** em função da **duração (t)** e do **tempo de retorno (TR)**. A equação ajustada para o município de **Passo Fundo/RS** é expressa da seguinte forma:

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

onde:

- i = intensidade da chuva (mm/h);
- TR = tempo de retorno (anos);
- t = duração da precipitação (min);
- a, b, c, d = parâmetros empíricos ajustados pelo **Plúvio 2.1** para a localidade de referência.

Essa equação permitiu estimar, de forma confiável, as **intensidades de chuva de projeto** correspondentes aos **principais tempos de retorno adotados** (10, 25, 50 e 100 anos), que subsidiaram o cálculo das **vazões máximas de projeto** na microbacia de interesse.

Abaixo apresentamos o relatório do Plúvio 2.1:

Figura 9 - Parâmetros de equação

Data de emissão do relatório: 05/11/2025



Plúvio 2.1



Copyright (2005) © GPRH

RELATÓRIO

Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

LOCALIZAÇÃO:

Localidade: Passo Fundo **Estado:** Rio Grande do Sul

Latitude: 27°16'00"

Longitude: 52°25'00"

PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

K: 670.74

a: 0.21

b: 7.9

c: 0.74

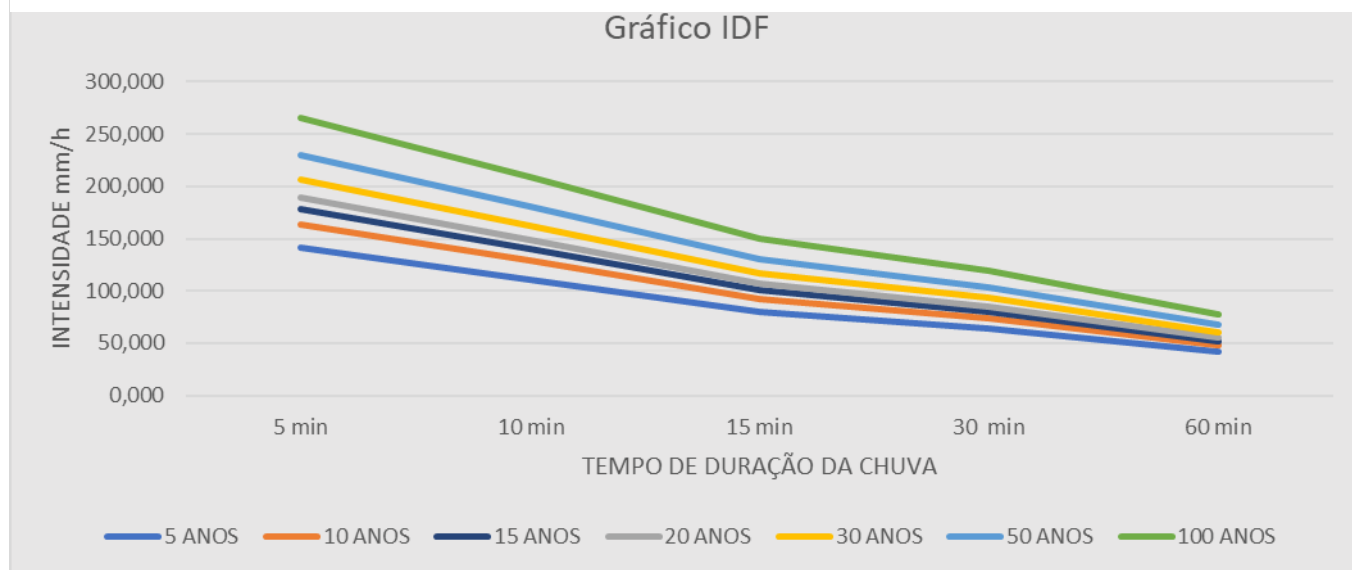
Fonte: Plúvio 2.1.

Com base na equação acima e os parâmetros determinados para a região, temos abaixo a tabela de intensidade, duração e frequência.

Tabela 1 - Resultados

DURAÇÃO/PERÍODO DE RETORNO	5 ANOS	10 ANOS	15 ANOS	20 ANOS	30 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
5 min	141,743	163,952	178,524	189,642	206,497	229,880	265,900
10 min	111,231	128,660	140,095	148,819	162,046	180,396	208,662
15 min	80,092	92,642	100,876	107,158	116,682	129,895	150,247
30 min	63,848	73,852	80,416	85,424	93,016	103,549	119,774
60 min	41,472	47,970	52,234	55,486	60,418	67,260	77,798

Figura 10 – Gráfico de Intensidade Duração e Frequência para a equação



5.8 Tempo de concentração

De acordo com o **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT (2005)**, o **tempo de concentração (T_c)** representa o intervalo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia alcance o seu exutório, sendo um parâmetro fundamental para a determinação da **duração crítica da chuva de projeto** e, conseqüentemente, da **vazão máxima de pico**.

Estudos desenvolvidos em bacias médias e grandes, com base em registros de cheias observadas, demonstraram que a aplicação do **hidrograma unitário triangular** do **U.S. Soil Conservation Service (SCS)** fornece resultados mais representativos quando se adotam **tempos de concentração cerca de 50% maiores** do que aqueles calculados pela expressão original de **Kirpich (1940)**.

Dessa forma, o DNIT recomenda a utilização da **fórmula de Kirpich modificada**, expressa por:

$$T_c = 1,42 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

onde:

- **T_c** = tempo de concentração, em **horas**;
- **L** = comprimento do curso d'água principal, em **quilômetros (km)**;

- **H** = desnível máximo entre a cota do ponto mais elevado e o exutório, em metros (m).

A aplicação dessa equação fornece uma estimativa do tempo de resposta hidrológica da bacia, permitindo definir a **duração crítica da chuva** a ser utilizada na determinação das **chuvas intensas e vazões de projeto**.

No presente estudo, os parâmetros **L** e **H** foram obtidos a partir do **Modelo Digital de Elevação (DEM COPERNICUS 30 m)** processado no **QGIS 3.40.9 (Bratislava)**

$$T_c = 1,42 \left(\frac{40^3}{220} \right)^{0,385}$$

Tc ≈ 12,62 horas

5.9 Período de retorno

De acordo com o Manual de Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Publicação IPR-726 (DNIT, 2006), no item 3.2.3 – Análise dos dados processados, alínea (a), o período de recorrência (TR) deve ser definido em função da importância da obra e da classe da rodovia, considerando o nível de segurança e o risco aceitável de inundação.

Figura 11 - Valores usuais de TR

Espécie	Período de recorrência (anos)
Drenagem superficial	5 a 10
Drenagem subsuperficial	10
Bueiros Tubulares	15 (como canal)
	25 (como orifício)
Bueiro Celular	25 (como canal)
	50 (como orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

Fonte: DNIT (2006). Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviço (Publicação IPR-726).

5.10 Coeficiente de Run-off / Coeficiente de deflúvio

0,70. Sendo este considerado para Solo Cultivado (Junior, 2010 e Carvalho e Silva, 2006), para uma declividade variando de 5-10%, na qual caracteriza o local de estudo.

Figura 12 - Coeficiente de Deflúvio, em função do tipo de solo e de cultivo.

Declividade (%)	Solo Arenoso	Solo Franco	Solo Argiloso
Florestas			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas			
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: JUNIOR, 2010.

5.11 Correção de valores

Com base na **Nota Técnica “Critérios Hidrológicos para Adaptação à Mudança Climática: Chuvas e Cheias Extremas na Região Sul do Brasil”**, elaborada pelo **Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS)** em **27 de maio de 2024**, por **Paiva, R.; Collischonn, W.; Miranda, P.; Petry, I.; Dornelles, F.; Goldenfum, J.; Fan, F.; Ruhoff, A.; e Fagundes, H.**, foi considerada a necessidade de **ajuste dos parâmetros hidrológicos** utilizados neste estudo.

O referido documento tem como **objetivo principal** apresentar **critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática**, relacionados a **chuvas e cheias extremas**, com aplicação em **projetos de infraestrutura, mapeamento de áreas de risco e planejamento de ações durante e após eventos extremos** — especialmente os **desastres ocorridos nos anos de 2023 e 2024 na Região Sul do Brasil**.

Em consonância com as recomendações do IPH/UFRGS, este laudo incorpora **correções nos valores de precipitação e vazão de projeto**, considerando a **tendência de intensificação das chuvas extremas** observada na região. Assim, as **chuvas de projeto obtidas a partir das curvas IDF** e as **vazões máximas correspondentes** foram ajustadas de forma a **refletir cenários hidrológicos mais críticos e realistas**, compatíveis com as projeções de aumento de frequência e magnitude de eventos extremos.

Tais correções buscam garantir **maior robustez e segurança hidráulica** ao dimensionamento da estrutura em análise, alinhando o projeto às **novas diretrizes técnicas e científicas** propostas para a **adaptação às mudanças climáticas no Sul do país**.

5.11.1 Aumento na magnitude

A magnitude da precipitação intensa ou da vazão máxima estimada com base no histórico passado para o Tempo de Retorno pretendido no estudo/projeto deve ser aumentada pelos fatores conforme a tabela abaixo.

Figura 13 - Fatores de aumento da magnitude da precipitação e vazão máxima

Tempo de Retorno	Precipitação máxima	Vazão máxima
até 10 anos	15 %	15 %
maior que 10 anos	20%	20%

Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – UFRGS. Nota Técnica: Critérios Hidrológicos para Adaptação à Mudança Climática: Chuvas e Cheias Extremas na Região Sul do Brasil, 2024. Tabela 1.

5.11.2 Aumento na frequência de eventos extremos

O Tempo de Retorno (TR) adotado para estimar variáveis com base no histórico passado deve ser majorado em relação ao pretendido para o futuro no estudo/projeto conforme a tabela abaixo:

Figura 14 - Alteração no Tempo de Retorno (TR) adotado devido a mudança climática para pequenas e grandes bacias.

TR de projeto (anos)	TR a ser adotado (anos)	
	A < 1000 km²	A > 1000 km²
2	3	3
5	12	10
10	25	20
25	75	60
50	200	150
100	450	350
200	1000	800
500	3500	2500
1000	8000	6000

*A é a área de drenagem.

Figura 15 - tabela de intensidade, duração e frequência corrigida

DURAÇÃO/PERÍODO DE RETORNO	5 ANOS	10 ANOS	15 ANOS	20 ANOS	30 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	350 ANOS
5 min	141,743	163,952	178,524	189,642	206,497	229,880	265,900	345,917
10 min	111,231	128,660	140,095	148,819	162,046	180,396	208,662	271,455
15 min	80,092	92,642	100,876	107,158	116,682	129,895	150,247	195,462
30 min	63,848	73,852	80,416	85,424	93,016	103,549	119,774	155,817
60 min	41,472	47,970	52,234	55,486	60,418	67,260	77,798	101,210

6 CONCLUSÃO

O presente **Laudo Hidrológico** estabeleceu, com base em referências técnicas consolidadas (DNIT, FEPAM/RS, SEMA/RS, ANA/INMET e IPH/UFRGS), as **vazões de projeto** necessárias ao **dimensionamento hidráulico** da estrutura a ser implantada sobre o Rio Piraçucê, interior do Município de Coxilha, na divisa com o Município de Vila Lângaro.

7 RESPONSÁVEL TÉCNICO

André Vitor Andrade Micheletto
CREA/RS: RS274.342
ART n° 14107902

8 ANEXOS

8.1 Anexo I: Assinatura de Responsabilidade Técnica (ART)

REFERÊNCIAS

Normas, manuais e diretrizes

- **DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.** *Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (IPR-715)*. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2005.
- **DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.** *Manual de Drenagem de Rodovias (IPR-724)*. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2006.
- **DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.** *Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviço (IPR-726)*. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2006.
- **FEPAM/RS – Fundação Estadual de Proteção Ambiental.** *Diretriz Técnica n° 04/2018 – Laudo Técnico Hidrológico para determinação de vazão de referência*. Porto Alegre, 2018.
- **CONSEMA/RS – Conselho Estadual do Meio Ambiente.** *Resolução n° 355/2017*. Porto Alegre, 2017.
- **CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.** *Resolução n° 357/2005*. Brasília, 2005.

Planos, relatórios e bases institucionais

- **RIO GRANDE DO SUL. SEMA/RS – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.** *Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaé – Inhandava (U010).* Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/u010-bh-apuae-inhandava>. Acesso em: nov. 2025.
- **ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.** *Hidroweb – Séries históricas de estações pluviométricas e fluviométricas.* Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: nov. 2025.
- **INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.** *Dados meteorológicos e pluviométricos.* Acesso em: nov. 2025.

Metodologia, softwares e dados de terreno

- **QGIS Development Team.** *QGIS Geographic Information System – versão 3.40.9 (Bratislava).* 2024.
- **GRASS Development Team.** *GRASS GIS – Processing Provider (versão 2.12.99).*
- **OpenTopography.** *OpenTopography DEM Downloader (versão 3.0).*
- **European Commission; ESA.** *Copernicus Global Digital Surface Model (GLO-30) – 30 m.* 2020–2023.

Chuvas intensas / IDF e ajustes climáticos

- **UFV – Universidade Federal de Viçosa; GPRH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos.** *Plúvio 2.1 – Software para parâmetros de chuvas intensas.* Viçosa, MG.
- **PAIVA, R.; COLLISCHONN, W.; MIRANDA, P.; PETRY, I.; DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J.; FAN, F.; RUHOFF, A.; FAGUNDES, H.** *Nota Técnica – Critérios Hidrológicos para Adaptação à Mudança Climática: Chuvas e Cheias Extremas na Região Sul do Brasil.* IPH/UFRGS, Porto Alegre, **27 maio 2024.**

Coeficientes e apoio bibliográfico citado no texto

- **JUNIOR, 2010.** Tabelas de **coeficiente de deflúvio/run-off** por tipo de solo e uso (referência técnica citada no estudo).

- **CARVALHO; SILVA, 2006.** Coeficientes de escoamento superficial por uso e declividade (referência citada).
- **CARVALHO, 2008.** Aplicação do **método racional modificado** para áreas entre **200 ha e 15.000 ha** (referência citada).