



MARIA DE FÁTIMA FERREIRA

**ESTUDO DE CASO DE UM PROCESSO DE OUTORGA PARA
CANALIZAÇÃO DE CURSO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE
NEPOMUCENO, MG**

LAVRAS - MG

2023

MARIA DE FÁTIMA FERREIRA

**ESTUDO DE CASO DE UM PROCESSO DE OUTORGA PARA
CANALIZAÇÃO DE CURSO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE
NEPOMUCENO, MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, para obtenção do título
de bacharel.

Prof. Gilberto Coelho
Orientador

LAVRAS - MG

2023

MARIA DE FÁTIMA FERREIRA

**ESTUDO DE CASO DE UM PROCESSO DE OUTORGA PARA
CANALIZAÇÃO DE CURSO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE
NEPOMUCENO, MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de bacharel.

APROVADO, em 01 de dezembro de 2023.
Prof. Gilberto Coelho, UFLA
Larissa Carvalho Amarantes Tavares, UFLA
Jonas Faria Dionísio de Oliveira, UFLA

Prof. Gilberto Coelho
Orientador

LAVRAS - MG

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, minha mãezinha Nossa Senhora de Fátima e todos seres de luz que me acompanham, por me darem força, proteção e sabedoria ao longo da minha caminhada.

Agradeço aos meus pais Cristina e José Ronaldo, por serem meu porto seguro em meio às tempestades, por me ensinarem o caminho do bem, e por sempre acreditarem e me incentivarem a seguir meu próprio caminho.

Agradeço ao meu irmão Geraldo por ser meu melhor amigo e meu apoio emocional em diversos momentos. Obrigada por ser o melhor irmão que alguém poderia querer.

Agradeço a minha avó Aparecida (*in memorian*), e todos entes queridos já falecidos, por todos os ensinamentos transmitidos e momentos vividos.

As minhas primas e primos, tias e tios, madrinhas e a minha afilhada, agradeço por sempre me incentivarem, acreditarem em mim, me aconselharem, apoiarem e me ensinarem a ser forte ao longo da vida.

As minhas amigas Débora, Sabrina, Sandy e Milena Campos, às meninas do apartamento 303 e aos demais amigos que se fizeram presentes ao longo da graduação, agradeço pelos momentos compartilhados, por todo acolhimento, palavras de apoio, troca de experiências e suporte emocional durante a jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Gilberto Coelho, que esteve presente durante a minha graduação e me transmitiu conhecimentos, agradeço pela orientação para a realização deste trabalho.

A Prefeitura Municipal de Nepomuceno - MG e ao CONSANE, em especial Larissa, por todo apoio. Esse trabalho só pode ser desenvolvido, graças a vocês.

Em suma, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente para minha formação acadêmica.

RESUMO

Instituída pela Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1977, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, além da prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos, utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incentivo e promoção de captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais. Seus instrumentos tem como objetivo o gerenciamento da água, de forma sustentável, garantindo disponibilidade e qualidade para as gerações atuais e futuras. Diante disso, a outorga tem como objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, sendo um instrumento legal que assegura o direito de uso, mas não dá a propriedade sobre a mesma. Este trabalho teve como principal objetivo realizar um estudo de caso sobre a realização da obra de canalização de parte do afluente do Córrego de Estiva, no bairro Central Park, localizado na cidade de Nepomuceno-MG, com o intuito de melhorar a saúde da população com melhoria nas condições do saneamento do local, reduzir a ocorrência de processos erosivo, visando a qualidade de vida, segurança da população e melhoria ambiental, atingindo benefícios ambientais, sociais e econômicos à população do Município. Primeiramente, foi enviado ao Sistema Integrado de Informação Ambiental (Siam), o Formulário de Caracterização do Empreendimento (FCE), e após sua análise, foi recebido o Formulário de Orientação Básica (FOB), com a documentação necessária para a formalização do processo, dentre eles, o Relatório Técnico com todas as informações correspondentes aos modos de uso 15 - Canalização, disponível no site eletrônico do Igam. Após o preenchimento dos documentos listados, o relatório técnico está sendo elaborado com todas as informações solicitadas no FOB, seguindo o Termo de Referência para elaboração do processo de outorga, com a justificativa da realização da intervenção, informações referentes ao curso de água no trecho da intervenção e à canalização, coordenadas dos pontos de início e fim da canalização, preenchimento do anexo único da Deliberação Normativa COPAM 95-2006, mapas de ocupação marginal local e ocupação marginal a montante e jusante, indicando a taxa de ocupação em cada uma das localizações (montante, local e jusante), estudo hidrológico utilizado para a definição das vazões de projeto, com seus respectivos períodos de retorno, estudo hidráulico, critérios utilizados para a definição do revestimento da canalização, projeto conceitual da canalização e ou retificação contendo plantas, perfis, desenhos técnicos construtivos e dimensionamento hidráulico do canal, estudo de impacto hidrológico no curso a montante e a jusante do trecho em questão considerando as vazões de projeto. Uma vez que a área encontra-se em obras para a criação de um espaço ecológico para fins turísticos de visitação pública e considerando as informações fornecidas neste trabalho, o projeto desta canalização é apropriado e seguro de ser realizado, de forma a não causar prejuízos, danos ambientais e sociais agora e no futuro. Sendo assim, o projeto para a canalização do canal não causará impactos ao longo do curso, além de atender os critérios definidos na Portaria IGAM 48, de 04 de Outubro de 2019, e as referências do Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Recursos Hídricos de Minas Gerais, sendo passível de realização de outorga.

Palavras-chave: Curso de água; Regularização; Controle de erosão; Recursos hídricos; Política Nacional de Recursos Hídricos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação hipsométrica.....	14
Figura 2. Mapa do trecho e acesso à canalização.....	15
Figura 3. Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Entorno do Reservatório de Furnas (GD3).....	16
Figura 4. Ocupação das áreas marginais à montante, local e jusante.....	17
Figura 5. Parâmetros hidráulicos 1º trecho - Canal.....	27
Figura 6. Parâmetros hidráulicos 2º trecho - Canal.....	28
Figura 7. Parâmetros hidráulicos 3º trecho - Canal.....	28
Figura 8. Parâmetros atualizados através do software “Plúvio”.....	29
Figura 9. Parâmetros hidráulicos para uma manilha da travessia.....	30
Figura 10. Parâmetros hidráulicos do trecho da canalização - Canal.....	32
Figura 11. Limites para velocidade média considerando o material das paredes do canal....	33
Figura 12. Parâmetros hidráulicos de uma manilha - Canal.....	34
Figura 13. Pontos de troca de regime para estudo de impacto.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes do Índice de Sinuosidade.....	17
Tabela 2. Parâmetros do IDF.....	20
Tabela 3. Classes gerais de uso e ocupação do solo.....	26
Tabela 4. Parâmetros hidráulicos da canalização.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos.....	12
3.2 Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.....	12
3.3 Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos.....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1 Caracterização e Descrição do Trecho da Intervenção.....	14
4.2 Sinuosidade do Curso d'Água.....	16
4.3 Intervenções em Cursos D'água de Sistemas de Drenagem Urbana.....	17
4.4 Estudo Hidrológico.....	18
4.4.1 Bacia de Contribuição.....	18
4.4.2 Uso e Ocupação do Solo.....	18
4.4.3 Comprimento do Talvegue.....	18
4.4.4 Tempo de Concentração.....	18
4.4.5 Intensidade de Precipitação.....	19
4.4.6 Cálculo da Vazão.....	20
4.4.6.1 Primeiro Retorno do IGAM.....	20
4.4.6.2 Segundo Retorno do IGAM.....	21
4.5 Estudo Hidráulico.....	21
4.5.1 Estudo Hidráulico sem Canalização.....	21
4.5.2 Estudo Hidráulico com Canalização.....	22
4.5.2.1 Vazão.....	22

4.5.2.2 Declividade.....	22
4.5.2.3 Profundidade Normal e Folga.....	22
4.5.2.4 Coeficiente de Rugosidade.....	22
4.5.2.5 Largura da Base.....	22
5. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	23
5.1 Estudo Hidrológico.....	26
5.2 Estudo Hidráulico sem a Canalização.....	26
5.3 Estudo Hidráulico com a Canalização.....	29
5.3.1 Primeiro Retorno do IGAM.....	29
5.3.2 Segundo Retorno do IGAM.....	30
5.4 Definição do Revestimento da Canalização.....	33
5.5 Dimensionamento da Travessia.....	34
5.6 Estudo de Impacto à Montante e à Jusante do Trecho.....	35
6. CONCLUSÃO.....	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

O Planeta Terra tem uma grande parte de sua superfície coberta por água, sendo que a maior parte é de água salgada, e uma parte pequena representa a água doce. O Brasil é um país com grande reserva de água doce do planeta. A água é um bem de uso comum do povo, sendo um recurso natural limitado e essencial à vida, ao bem estar social, ao desenvolvimento econômico e ao equilíbrio dos ecossistemas. Contudo, o uso desenfreado cada vez mais frequente desse recurso está trazendo inúmeros problemas para a atualidade. Neste cenário, surge-se a necessidade de uma gestão de águas efetiva.

Sendo assim, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1977, tem como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, além da prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos, utilização racional e integrada dos recursos hídricos; e incentivo e promoção de captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais.

Em Minas Gerais, a gestão das águas é regida pela Política Estadual dos Recursos Hídricos, de acordo com a Lei Estadual nº 13.199, visando assegurar o controle do uso da água e de sua utilização, em regime, quantidade e qualidade satisfatórios. Com o intuito de direcionar o trabalho do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, existem os instrumentos e ferramentas de gestão, como o enquadramento dos corpos de água em classes, monitoramento de qualidade da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, entre outros.

Dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos, a Outorga assegura o direito de uso dos cursos d'água, mas não dá a propriedade sobre a mesma. De acordo com a Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, regido pelo Decreto nº 47.866, ficou a cargo do Instituto Mineiro das Águas (IGAM), a operacionalização da outorga, analisando as outorgas de empreendimentos por meio da Unidades Regionais de Gestão das Águas (Urgas).

Diante do exposto, se tornou necessária a realização de uma Outorga, objeto de estudo deste Trabalho de Conclusão de Curso, para a canalização de um trecho do afluente do Córrego da Estiva, bairro Central Park, localizado em Nepomuceno, Minas Gerais. Os relatórios e formulários técnicos foram elaborados seguindo as instruções do termo de referência disponível no endereço eletrônico do Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM, para modo de uso “Canalização e/ou Retificação de Curso de Água”- código 15, e orientações expostas no “Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais” (IGAM, 2010).

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como principal objetivo realizar um estudo de caso sobre a obtenção de outorga para realização da canalização de parte do afluente do Córrego de Estiva, no bairro Central Park, localizado na cidade de Nepomuceno-MG, sendo que a área se encontra em obras para a criação de um espaço ecológico para fins turísticos de visitação pública.

Possui como objetivo específico, a detalhamento de como é realizado a elaboração de um relatório técnico, seguindo o Termo de Referência para a elaboração do processo de outorga, para a formalização do processo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

A água é um bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Sua gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas e deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Sendo assim, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1977, tem como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, além da prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos, utilização racional e integrada dos recursos hídricos; e incentivo e promoção de captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais.

Para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, há diretrizes gerais, como a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a adequação da mesma às diversidades físicas, bióticas, culturais, econômicas, demográficas das regiões do país; a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional; a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras. (BRASIL, 1977)

3.2 Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos têm como objetivo o gerenciamento da água, de forma sustentável, garantindo disponibilidade e qualidade para as gerações atuais e futuras. São eles: Planos de Recursos Hídricos; enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos e a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. (BRASIL, 1977)

Os Planos de Recursos Hídricos são planos diretores com o intuito de fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos, sendo planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas. O enquadramento dos corpos de água em classes tem o objetivo de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes. A cobrança pelo uso de recursos hídricos tem o

propósito de reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. (BRASIL, 1977)

3.3 Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos

A outorga tem como objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. É um instrumento legal que assegura o direito de uso dos cursos d'água, mas não dá a propriedade sobre a mesma. De acordo com o Decreto nº 47.866 de 19 de fevereiro de 2020, ficou a cargo do Instituto Mineiro de Gestão das Águas, a operacionalização da outorga, analisando as outorgas de empreendimentos por meio das Unidades Regionais de Gestão das Águas (Urgas), sendo que a outorga deve ser solicitada antes da implantação de intervenções que irão alterar a quantidade, qualidade ou regime de um corpo d'água.

As circunstâncias em que a outorga de direito de usos de recursos hídricos poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou prazo determinado são o não cumprimento dos termos da outorga; ausência de uso por três anos consecutivos; necessidade premente de água para atender a situações de calamidade; necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental; necessidade de atender aos usos prioritários e de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água. (BRASIL, 1977)

4. MATERIAL E MÉTODOS

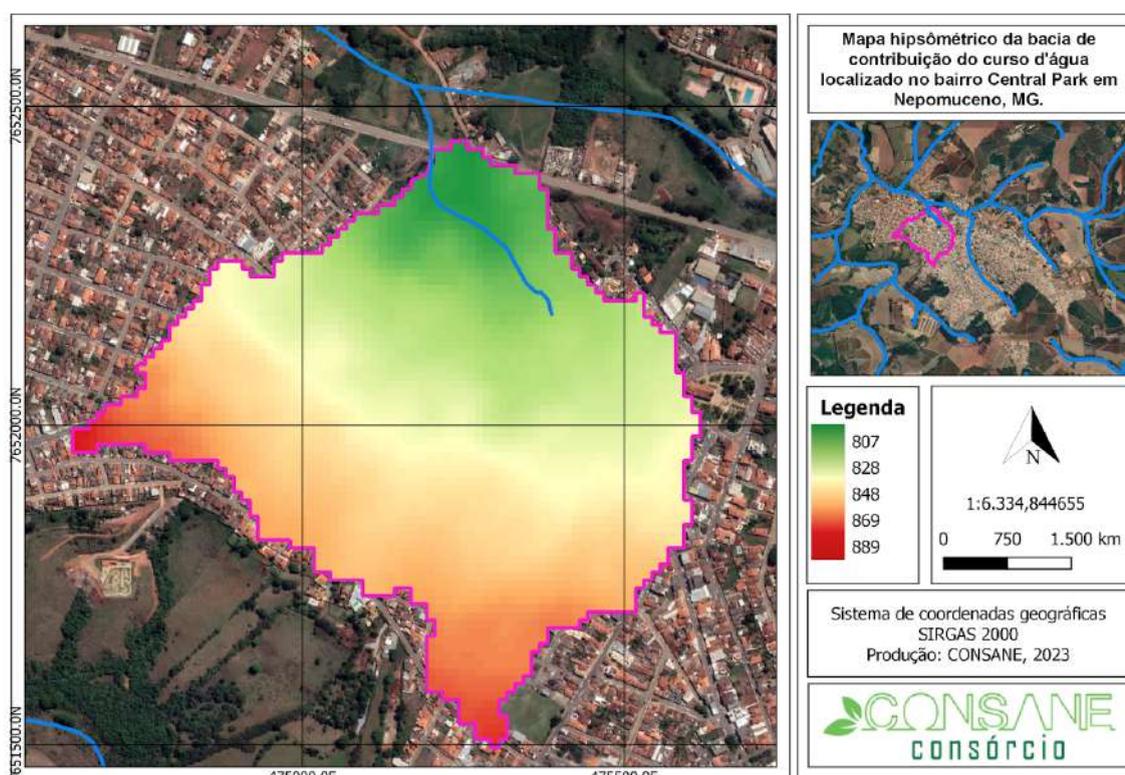
4.1 Caracterização do Trecho da Intervenção

O trecho trata-se de uma canalização do afluente do Córrego da Estiva, localizado próximo à Rua Vicente Paula Costa no bairro Ana Natalina, Rua Izidoro Zacaroni no Bairro Serra Negra, e o parque ecológico em construção no bairro Central Park, perímetro urbano do município de Nepomuceno-MG.

Possui uma extensão de 0,1065 km, o trecho apresenta algumas partes degradadas em função de assoreamentos e erosões. Sua implantação iniciará por meio de um canal aberto, de seção geométrica de formato retangular, sendo sua entrada e saída com 1,7 m de base e 1,5 de altura. E prevê, ao longo de sua extensão, uma travessia para pedestres e veículos.

O trecho inicial (Rua Vicente Paula Costa) da canalização se encontra na altitude de 802,23 metros e o trecho final está na altitude de 798,77 metros (Rua Izidoro Zacaroni). Assim, têm-se que a declividade do canal é de 0,019 m/m, enquanto a declividade média de todo talvegue é de 0,29 m/m, calculada através da Equação 10.

Figura 1. Representação hipsométrica.



Fonte: CONSANE, 2023.

A implantação do trecho de intervenção será entre os pontos com coordenadas geográficas iniciais **Latitude 21°13'50.04"S, Longitude 45°14'17.80"O** e coordenadas finais **Latitude 21°13'47.71"S, Longitude 45°14'20.27"O** expressas no Datum SIRGAS 2000 fuso 23S, conforme a figura 2.

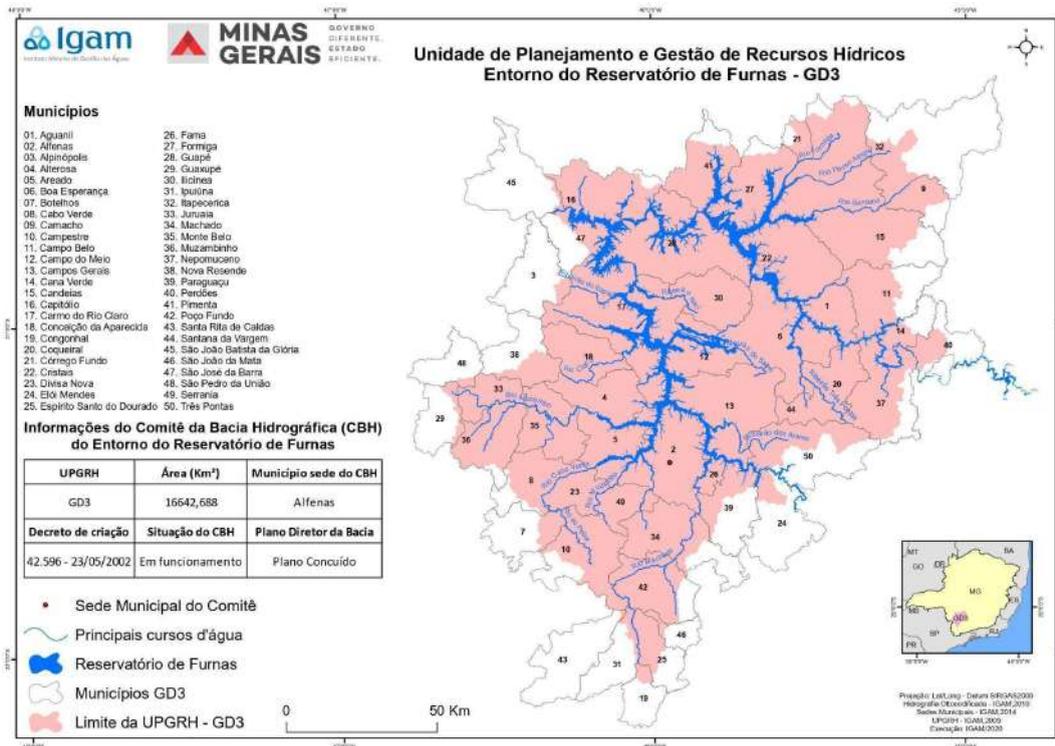
Figura 2. Mapa do trecho e acesso à canalização.



Fonte: Google Earth, 2023.

O Córrego da Estiva pertence à bacia federal do Rio Grande e à unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos (UPGRH), sendo ela a UPGRH Entorno do Reservatório de Furnas (GD3), como mostrado na figura 3.

Figura 3. Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Entorno do Reservatório de Furnas (GD3).



4.2 Sinuosidade do Curso d'Água

A sinuosidade do curso d'água natural desempenha um papel importante na dissipação da energia do curso d'água, sendo assim ela foi determinada a partir da seguinte equação:

$$I_s = \frac{100(L - Lt)}{Lt}$$

Equação 1 - Cálculo da Sinuosidade

Onde:

I_s = sinuosidade

L = comprimento do curso principal (km)

L_t = comprimento do talvegue (km)

Segundo Christofletti (1980), o índice de sinuosidade é distribuído por classes, descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Classes do Índice de Sinuosidade.

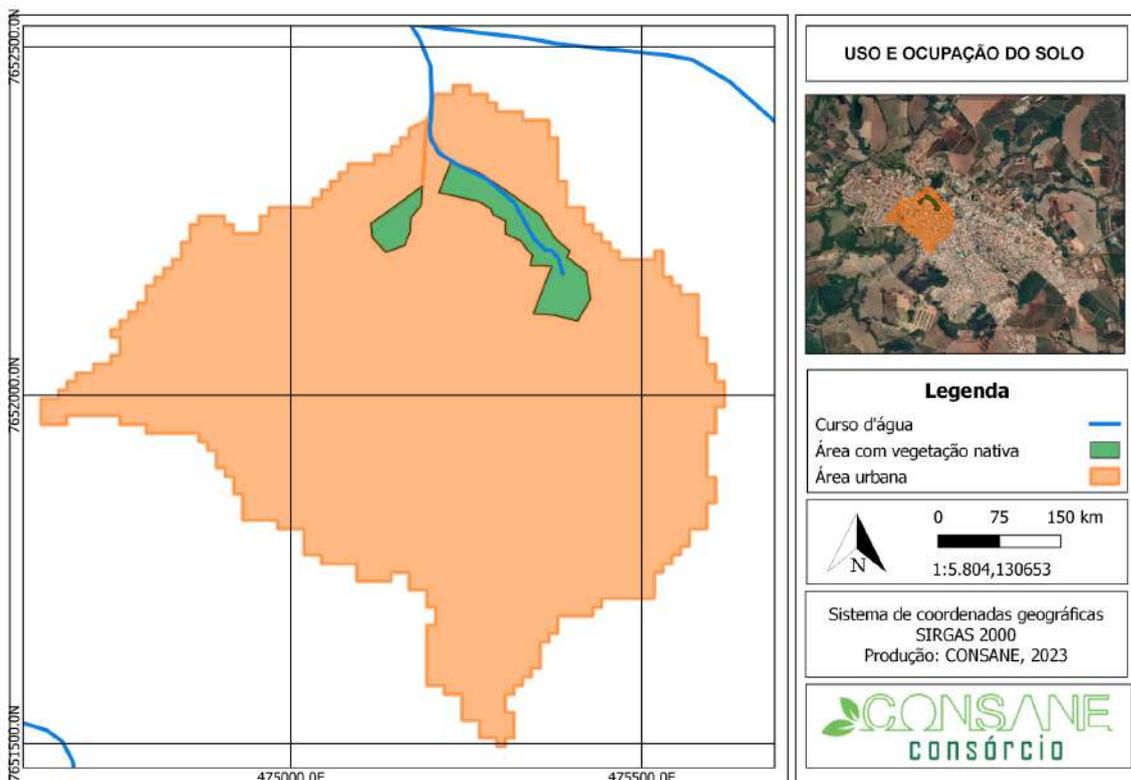
Classes	Descrição	Limites
I	Muito Reto	< 20%
II	Reto	20 – 29%
III	Divagante	30 – 39,9%
IV	Sinuoso	40 - 49,9%
V	Muito sinuoso	>50%

Fonte: Christofoletti, 1980.

4.3 Intervenções em Cursos D'água de Sistemas de Drenagem Urbana

Como a intervenção se dará em um sistema de drenagem urbana, foi realizado a avaliação conforme a Deliberação Normativa COPAM nº95/2006, com a classificação do uso e ocupação das áreas marginais à montante e à jusante da intervenção proposta, bem como no local onde será realizada a intervenção.

Figura 4. Ocupação das áreas marginais à montante, local e jusante.



Fonte: CONSANE, 2023.

4.4 Estudo Hidrológico

4.4.1 Bacia de Contribuição

Para a realização do estudo hidrológico, foi levado em consideração a área da bacia de contribuição de 0,4573 km² através do QGIS, e um tempo de retorno de 100 anos, visando maior segurança ao projeto. A caracterização da bacia de contribuição pode ser vista na Figura 6.

4.4.2 Uso e Ocupação do Solo

A ocupação atual da bacia é diversificada, sendo alguns locais antropizados e outros trechos com áreas de floresta. Com o intuito de obter a bacia de contribuição no exutório no qual será feito a canalização, foi realizada inicialmente uma análise através do modelo digital de elevação. A partir dessa delimitação, foi realizado o estudo de uso e ocupação do solo, levando em consideração a mata, a área urbana e verificando a área referente ao uso e tipo de solo em hectares, definindo então, um valor de CN para cada tipo e uso do solo.

O CN é bastante utilizado para se obter previsões do volume de águas pluviais que sofre escoamento superficial em função do volume de precipitação. De acordo com Tucci 1993, asfalto com drenagem de água pluvial possui CN 98, áreas com paralelepípedos possui CN 76, então foi feita a média entre esses valores. Na sequência, foi realizada a multiplicação entre a área e o CN adotado. Para calcular o valor do CN referente a bacia toda foi feita a divisão entre CN geral pela área total.

4.4.3 Comprimento do Talvegue

O ponto de máxima altitude da bacia de drenagem é de 889,292 metros e o exutório é de 801,412 metros. O comprimento do talvegue é a distância entre o ponto mais alto do curso principal e o exutório, sendo 0,301 km.

4.4.4 Tempo de Concentração

O tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle é a definição de tempo de concentração (tc). Foram utilizados diferentes modelos de determinação de tempo de concentração, e posteriormente, obtido a média.

O primeiro modelo utilizado foi Modelo Ven Te Chow, para áreas <25km², com “L” sendo o comprimento do talvegue em km, S é a declividade média do talvegue em m/m.

$$t_c = 0,16 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,64}$$

Equação 2: Modelo Ven Te Chow

O segundo modelo utilizado foi o Modelo Kirpich, para áreas <0,50km², com L” sendo o comprimento do talvegue em km, S é a declividade média do talvegue em m/m.

$$t_c = 0,0663 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385}$$

Equação 3: Modelo Kirpich

O terceiro modelo foi o Método Pasini , para pequenas áreas, com “A” sendo a área da bacia em km², L” sendo o comprimento do talvegue em km e “S” é a declividade média do talvegue em m/m.

$$t_c = 0,107 \frac{\sqrt[3]{AL}}{\sqrt{S}}$$

Equação 4: Método Pasini

4.4.5 Intensidade de Precipitação

No cálculo da intensidade de precipitação, foi levado em consideração o tempo de retorno de 100 anos e o tempo de concentração calculado anteriormente, de acordo com a equação 5.

$$I = \frac{KTR^a}{(t+b)^c}$$

Equação 5 - Cálculo da Intensidade de Precipitação

Em que, o valor de K, a, b e c são parâmetros que foram obtidos no aplicativo Plúvio, em que os valores estão dispostos na tabela 3.

Tabela 2. Parâmetros do IDF

K	9767,527
a	0,187
b	54,326
c	1,139

Fonte: Aplicativo Pluvio

4.4.6 Cálculo da Vazão

Para o cálculo da vazão de pico foi utilizado o método do Q racional, através da equação 6.

$$Q_{\text{racional}} = \left(\left(\frac{CN}{100} \right) I A \right) / 360$$

Equação 6 - Cálculo do Q racional

Com “A” sendo a área da bacia em ha, “I” sendo a intensidade de precipitação, e o valor de “CN”.

Na sequência, foi calculado o valor de Phi pela seguinte equação:

$$Phi = 0,278 - 0,0000034 A$$

Equação 7 - Cálculo do Phi

Na sequência, foi realizado o cálculo do Q racional modificado, através da seguinte equação:

$$Q_{\text{racional mod}} = Q_{\text{racional}} \times Phi$$

Equação 8 - Cálculo do Q racional modificado

4.4.6.1 Primeiro Retorno do IGAM

Contudo, houve um retorno do IGAM, pedindo a revisão dos valores dos parâmetros K, a, b e c, utilizados para o cálculo de intensidade de precipitação, utilizando o software

“Plúvio”, a retificação do cálculo de intensidade de precipitação utilizando os valores atualizados de K, a, b e c. E também, a retificação do cálculo da vazão máxima de cheia utilizando os valores atualizados de intensidade de precipitação e a retificação do dimensionamento hidráulico da intervenção (canalização) para que seja capaz de suportar a vazão máxima de cheia calculada, sendo que o regime de escoamento deverá ser subcrítico.

Além disso, foi solicitado os seguintes parâmetros para a travessia: profundidade normal; declividade; coeficiente de rugosidade; folga; comprimento; largura da base (retangulares e trapezoidais); inclinação do talude (triangulares ou trapezoidais); e diâmetro (circulares).

4.4.6.2 Segundo Retorno do IGAM

Após o envio do ofício com as considerações do primeiro retorno do IGAM, eles retornaram, solicitando a apresentação de um novo dimensionamento hidráulico da intervenção (canalização), de forma que seja capaz de suportar a vazão de 11,99 m³/s, com regime de escoamento subcrítico, encontrada através do método racional modificado, utilizando a equação 9.

$$Q_{\text{racional mod}} = \left(\left(\left(\frac{CN}{100} I A \right) / 360 \right) \right) \times \frac{1}{\sqrt[n]{A}}$$

Equação 9 - Cálculo do Q racional modificado (IGAM)

Com “A” sendo a área da bacia em ha, “I” sendo a intensidade de precipitação, o valor de “CN” que se encontra na tabela 3 e o valor de “n” dependendo da declividade. Para declividade <0,005 m/m o valor de “n” será 4, declividade até 0,01 m/m o valor de “n” será 5 e para declividade >0,01 m/m o valor de “n” será 6. Neste caso, o valor utilizado foi 6.

Utilizando a mesma equação 9, a Urga-SM, obteve uma vazão máxima de cheia de 9,6 m³/s para o local da travessia, solicitando um novo dimensionamento hidráulico da travessia, de forma que suporte a vazão de 9,6 m³/s.

4.5 Estudo Hidráulico

4.5.1 Estudo Hidráulico sem canalização

O estudo hidráulico sem a canalização foi elaborado utilizando os parâmetros apresentados anteriormente por meio do Software Canal. Para as seções estudadas, foi

considerado um coeficiente de Manning de 0,045 e a declividade média de cada trecho. O estudo foi simplificado ao trecho principal por meio de uma contribuição homogênea ao longo do trecho. A Largura média da base ao longo de todo o trecho é de 1,6 metros, inclinação média do talude é cerca de 0,5 e profundidade média é 1,8 metros.

4.5.2 Estudo Hidráulico com Canalização

4.5.2.1 Vazão

Para o cálculo da vazão de pico foi utilizado o método do Q racional modificado, através da equação 6.

4.5.1.2 Declividade

A declividade foi calculada pela seguinte equação:

$$I = \frac{Cota\ máx - Cota\ mín}{L \times 1000}$$

Equação 10 - Cálculo da declividade

Sendo “L” o comprimento do talvegue.

4.5.2.3 Profundidade Normal e Folga

Para a determinação da profundidade normal da canalização foi utilizado ainda o software Canal. Em relação a folga, esta foi calculada pela diferença entre a profundidade total (1,5 m) e a profundidade normal (calculada através do Canal).

4.5.2.4 Coeficiente de Rugosidade

Para o estudo hidráulico sem a canalização foi considerado um coeficiente de Manning de 0,0400, visto que o mesmo é regular, de pequeno porte, sinuoso e com alguns poços ou baixos (rasos). Para o estudo hidráulico com a canalização foi considerado um coeficiente de Manning de 0,0300, visto que o revestimento da canalização será de gabião e colchão reno.

4.5.2.5 Largura da Base

Será um valor fixo para todo o canal, de 1,70 metros.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

Como a intervenção se dará em um sistema de drenagem urbana, foi realizado a avaliação conforme a Deliberação Normativa COPAM nº95/2006, com a classificação do uso e ocupação das áreas marginais à montante e à jusante da intervenção proposta, bem como no local onde será realizada a intervenção.

Quadro 1. Índice de impacto para a ocupação marginal à montante, local e jusante.

Ocupação marginal			
Local			
Tipo (Local)	Taxa de Ocupação (%)	Fator de Impacto	Indicador de Impacto
Urbana	40	1	40
Industrial	0	2	0
Veg.nativa	30	4	120
Não ocup.	30	3	90
Fator de ponderação Local			0,5
Índice de Impacto Local			125
Montante			
Urbana	75	1	75
Industrial	0	2	0
Veg.nativa	25	4	100
Não ocup.	0	3	0
Fator de ponderação Montante			0,10
Índice de Impacto Montante			17,5
Jusante			
Urbana	30	1	30
Industrial	0	2	0
Veg.nat.	15	4	60
Não ocup.	55	3	165
Fator de ponderação Jusante			0,40
Índice de Impacto Jusante			102
Índice de Impacto - 244,5			

Fonte: CONSANE, 2023.

Quadro 2. Índice de impacto para eventos de inundação

Eventos de inundação			
Localização	Fator de Ponderação	Fator de Impacto anual = 100 eventual = 200 não ocorre = 300	Indicador de Impacto
Montante	0,1	200	20
Local	0,3	100	30
Jusante	0,6	100	60
Índice de impacto para eventos de inundação			110

Fonte: CONSANE, 2023.

Quadro 3. Índice de impacto para ocorrência de processos erosivos

ocorrência de focos erosivos			
Localização	Fator de Ponderação	Fator de impacto sim = 100 não = 200	Indicador de Impacto
Montante	0,1	100	10
Local	0,3	100	30
Jusante	0,6	100	60
Índice de impacto para ocorrência de processos erosivos			100

Fonte: CONSANE, 2023.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 95 DE 2006, Art 3º, a canalização do curso d'água se enquadra na Classe C, uma vez que o índice de impacto geral é menor que 455 (Índice de Impacto Geral - 454,5). Sendo assim, o tipo de intervenção no curso d'água permitido para a Classe C é a adoção de canal aberto, com revestimento das

paredes laterais e manutenção do leito natural. Contudo, será utilizado gabiões, bem como colchão reno, pois em obras de contenção é uma das soluções usualmente adotadas para o controle de erosão por serem estruturas autodrenantes, flexíveis, de fácil execução, de baixo custo em relação aos outros tipos de estruturas de contenções, de baixo impacto ambiental e por se interagirem com o meio.

As principais funções dessas estruturas são conter, controlar a erosão e estabilizar taludes em obras civis, hidráulicas e geotécnicas. O presente curso d'água está com erosão no fundo e nas paredes laterais, por isso torna-se necessário a contenção dos taludes laterais e o revestimento em colchão de reno do fundo do córrego. O colchão reno se faz necessário para evitar o carreamento de terra do leito do córrego e abaixo dos gabiões nas laterais causando ruptura da fundação, visto que com a contenção lateral irá aumentar a velocidade do curso d'água e o aumento desta velocidade pode movimentar sedimentos naturais do fundo do córrego e vir a prejudicar as estruturas dos gabiões, podendo causar a sua ruptura e conseqüentemente ao assoreamento e barramento da água o que pode levar a transbordos e alagamentos.

Para fins de caracterização e estudo, realizou-se o estudo hidrológico e hidráulico da bacia, utilizando-se as seguintes características para ambos os estudos:

- Comprimento do curso d' água: 0,333 km
- Área: 0,4573 km²
- Q 7,10 (m³/s): 0,0012
- Q 90 (m³/s): 0,0035
- Q 95 (m³/s): 0,0026
- Q mld (m³/s): 0,0128
- Desnível (ΔH): 87,88 m
 - Altimetria no ponto mais alto da bacia: 889,292 m
 - Altimetria no início do canal: 801,412 m

Os valores do Q7,10; Q90; Q95 e Q mld foram obtidos através do IDE Sisema. As costas do desnível foram obtidas através do QGIS pelo Modelo Digital de Elevação.

5.1 Estudo Hidrológico

Foi definido o valor do CN para cada tipo e uso do solo de acordo com Tucci 1993, (asfalto com drenagem de água pluvial possui CN 98, e áreas com paralelepípedos possui CN 76), e após a realização da média entre os valores (87), foi feita a multiplicação entre a área e o CN adotado. Para calcular o valor do CN referente a bacia toda foi feita a divisão entre CN geral (3896,95), dividido pela área total (45,734 ha), resultando em um CN 85,21.

A tabela abaixo representa o tipo de solo e as classes gerais de uso e ocupação do solo à montante, as quais foram utilizadas posteriormente para a determinação do CN (coeficiente de deflúvio).

Tabela 3. Classes gerais de uso e ocupação do solo.

Solo	Cobertura	CN	Área (ha)	Área (decimal)	CN
	Cidade	87	44,128	0,9649	3839,136
	Floresta	36	1,606	0,0351	57,816
LVd2	TOTAL	85,21	45,734	1,0000	3896,952

Fonte: Do autor (2023)

Na sequência, foi realizado o cálculo do comprimento do talvegue, através da diferença entre o ponto de máxima altitude (889,292 m) e o exutório (801,412 m), sendo a distância total de 0,301 km.

Para o cálculo do tempo de concentração, foram usados três modelos diferentes, sendo o Modelo Ven Te Chow (tc de 6,60 min), o Modelo Kirpich (tc de 2,54 min) e o Método Pasini (tc de 6,13 min) e em seguida, foi realizada a média dos valores encontrados nos três diferentes modelos, chegando ao valor de 5,093 min.

Através da equação 5, foi realizado o cálculo da intensidade de precipitação, levando em consideração o tempo de concentração anterior, o tempo de retorno de 100 anos, e os parâmetros K, a, b e c, chegando ao valor de 228,25 mm/h.

Através da equação 8, o valor da vazão de pico total encontrada foi de 6,86 m³/s.

5.2 Estudo Hidráulico sem a Canalização

Através dos parâmetros apresentados anteriormente, foi realizado o estudo hidráulico antes da canalização, calculando por meio do Software Canal, os dados topográficos e vazão

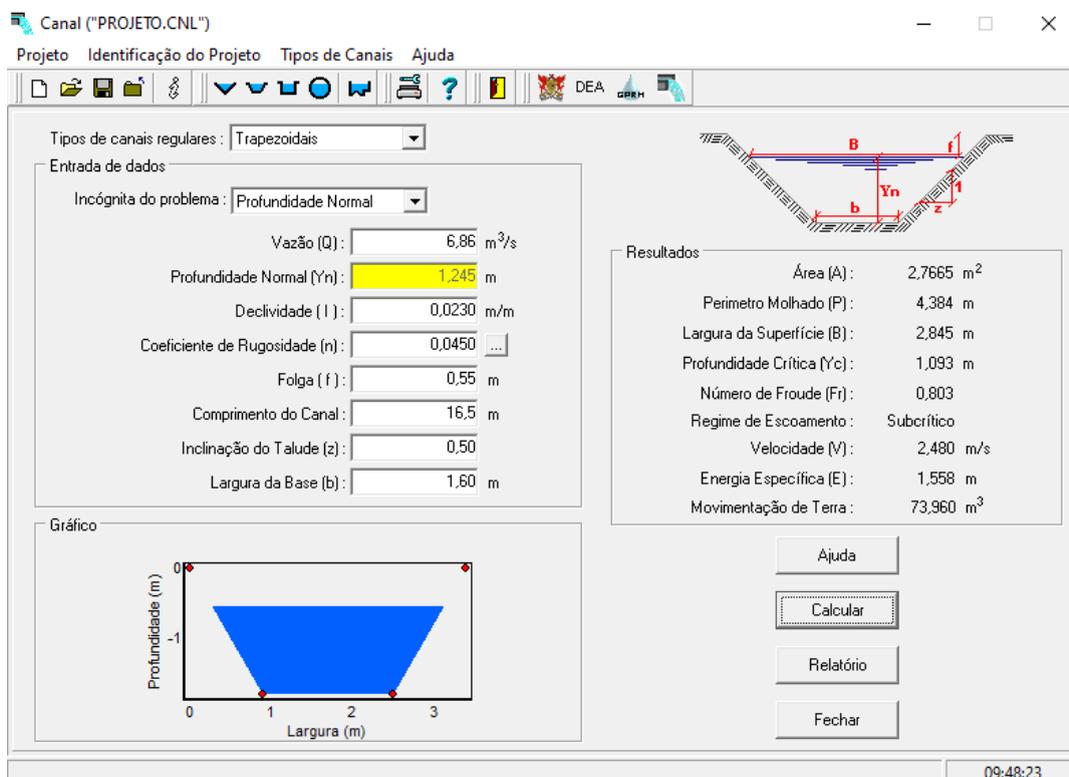
de projeto. Para as seções, foi considerado um coeficiente de Manning de 0,045 e a declividade média de cada trecho. A Largura média da base ao longo de todo o trecho é de 1,6 metros, inclinação média do talude é cerca de 0,5 e profundidade média é 1,8 metros.

Quadro 4. Parâmetros hidráulicos da canalização

Parâmetros Hidráulicos	Trechos da Canalização		
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
Vazão (m³/s)	6,86	6,86	6,86
Profundidade Normal (m)	1,24	1,32	1,37
Largura da base (m)	1,60	1,60	1,60
Declividade (m/m)	0,0230	0,0187	0,0165
Coeficiente de Manning	0,0450	0,0450	0,0450
Folga (m)	0,56	0,48	0,43
Comprimento do canal (m)	16,5	53,75	53,75

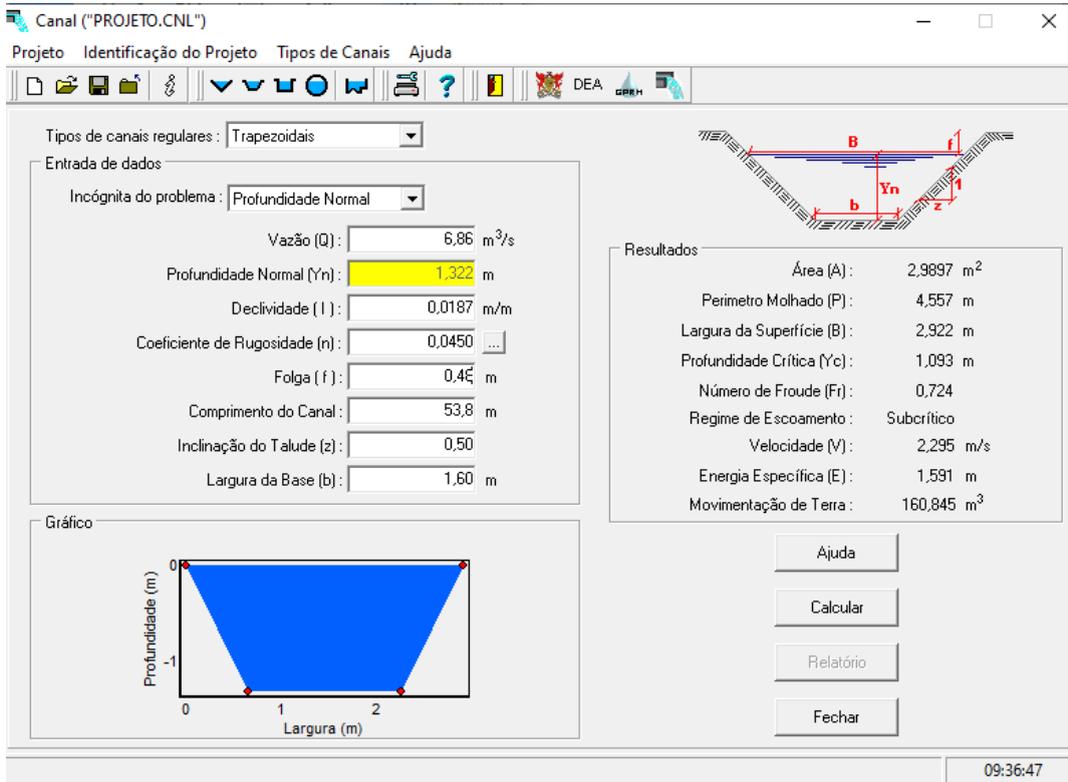
Fonte: CONSANE, 2023.

Figura 5. Parâmetros hidráulicos 1º trecho - Canal.



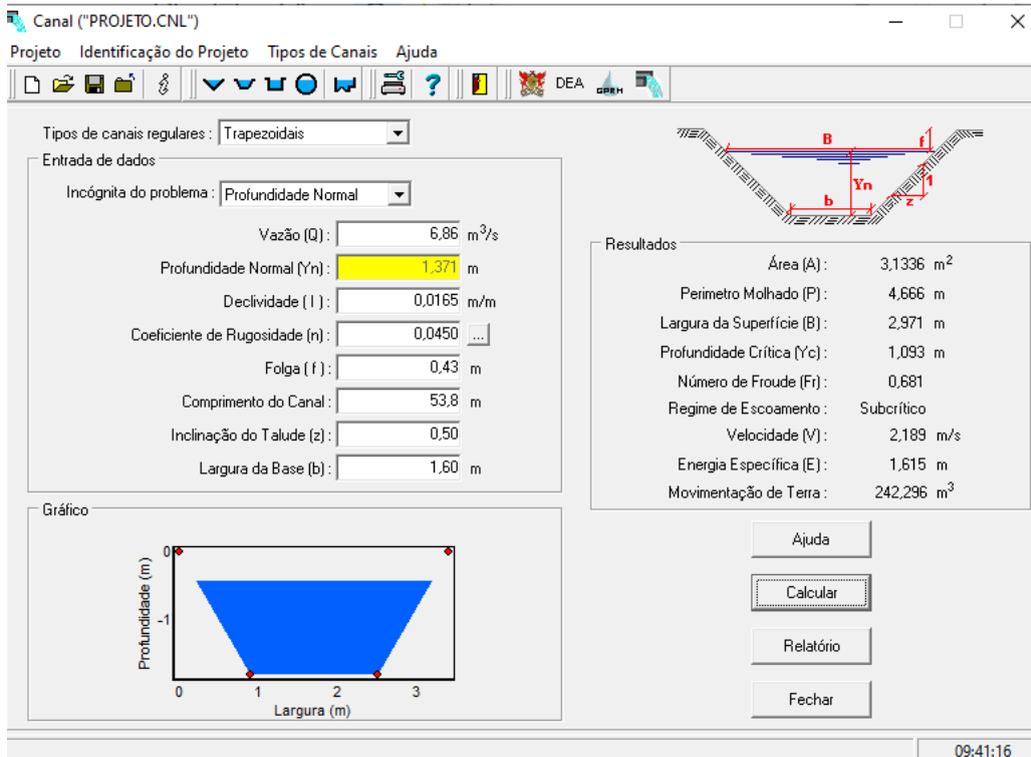
Fonte: Canal (2023).

Figura 6. Parâmetros hidráulicos 2º trecho - Canal.



Fonte: Canal (2023).

Figura 7. Parâmetros hidráulicos 3º trecho - Canal.



Fonte: Canal (2023).

O Regime do escoamento dos trechos apresentados são subcríticos, visto que os números de froude são menores que 1,0 e a velocidade de escoamento está dentro dos limites permitidos.

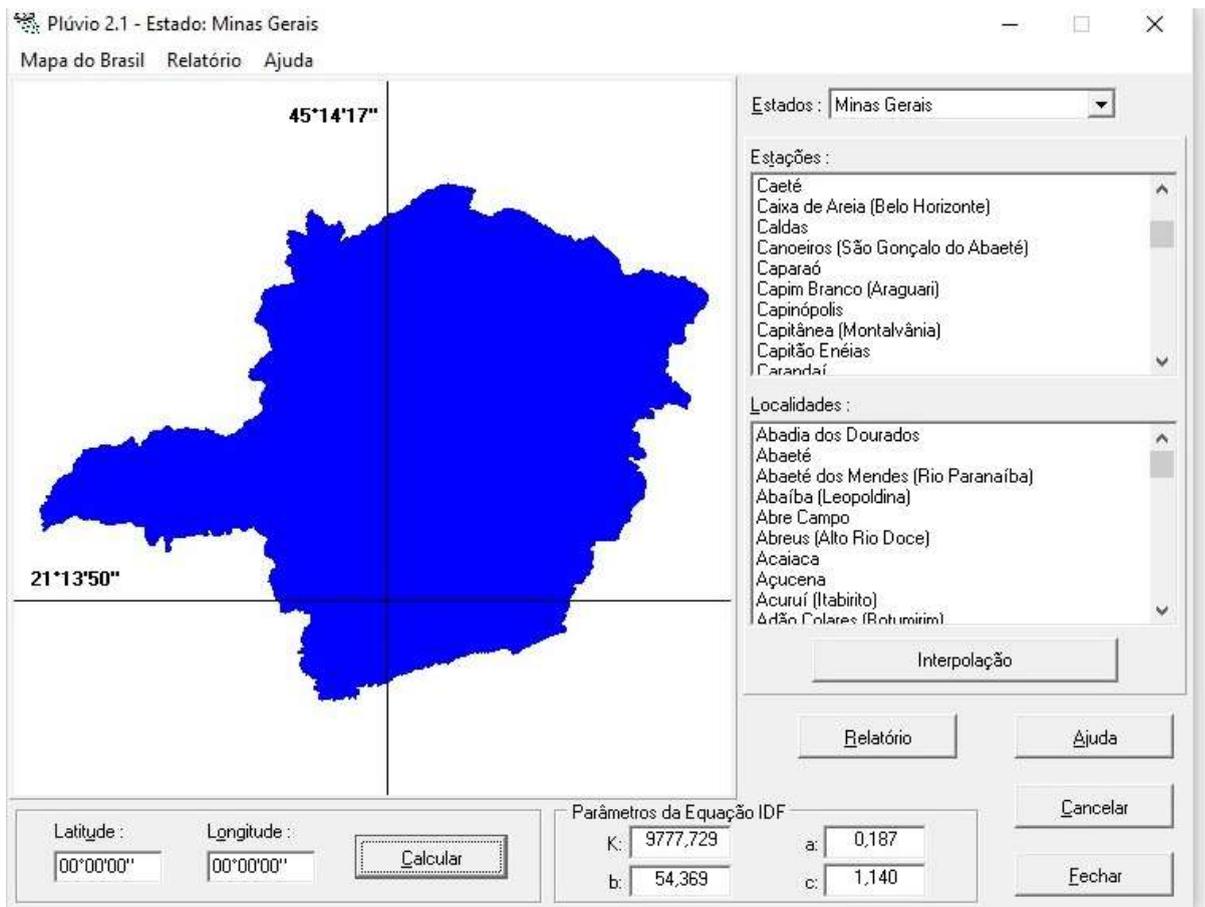
5.3 Estudo Hidráulico com a Canalização

Conforme apresentado no Quadro 4, a vazão de pico total encontrada foi de **6,86 m³/s**, sendo a vazão mais crítica que possa acontecer considerando um tempo de retorno de 100 anos.

5.3.1 Primeiro Retorno do IGAM

Após o primeiro retorno do IGAM, os parâmetros K, a, b, e c, foram revisados utilizando o software “Plúvio”. Os valores dos parâmetros são: 9777,729; 0,187; 54,369; e 1,140, respectivamente, conforme a Figura 8.

Figura 8. Parâmetros atualizados através do software “Plúvio”.

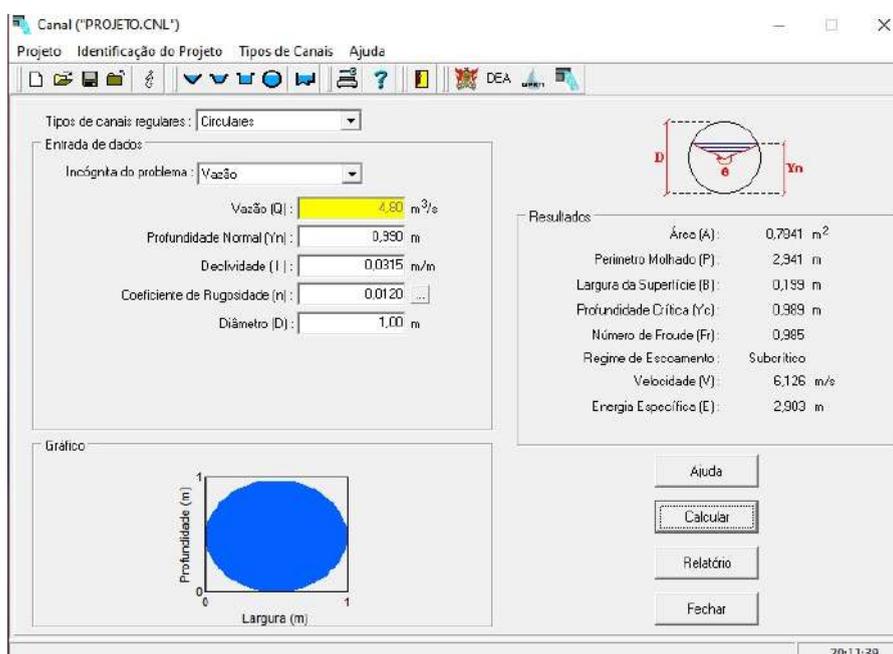


Fonte: Software Pluvio

Na sequência foi retificado o cálculo de intensidade de precipitação utilizando os valores atualizados de K , a , b e c , através da equação 5, chegando ao valor de 220,44 mm/h. Após, foi realizada a retificação do cálculo da vazão máxima de cheia utilizando os valores atualizados de intensidade de precipitação e a retificação do dimensionamento hidráulico da intervenção através da equação 8, tendo como resultado o valor de 6,60 m³/s.

Além disso, a obra terá uma única travessia para pedestres e veículos. Serão duas manilhas de mesmo diâmetro, dispostas lado a lado, suportando juntas a vazão de 6,76 m³/s. As informações de uma única manilha se encontram na Figura 9.

Figura 9. Parâmetros hidráulicos para uma manilha da travessia.



Fonte: Canal (2023).

5.3.2 Segundo Retorno do IGAM

Após o envio do ofício com as considerações do primeiro retorno do IGAM, eles retornaram, solicitando a apresentação de um novo dimensionamento hidráulico da intervenção (canalização), de forma que seja capaz de suportar a vazão de 11,99 m³/s, com regime de escoamento subcrítico, encontrada através do método racional modificado, utilizando a equação 9.

Primeiramente, o cálculo do tempo de concentração foi realizado novamente, substituindo o método de Pasini pelo Método Ventura, para pequenas áreas, com “A” sendo a área da bacia em km² e “S” é a declividade média do talvegue em m/m.

$$t_c = 0,127 \sqrt{A/S}$$

Equação 11: Método Ventura

Sendo assim, foram usados três modelos diferentes, sendo o Modelo Ven Te Chow (t_c de 6,60 min), o Modelo Kirpich (t_c de 2,54 min) e o Método Ventura (t_c de 9,53 min) e em seguida, foi realizada a média dos valores encontrados nos três diferentes modelos, chegando ao valor de 6,23 min.

Através da equação 5, foi realizado o cálculo da intensidade de precipitação, levando em consideração o tempo de concentração anterior, o tempo de retorno de 100 anos, e os parâmetros K, a, b e c, chegando ao valor de 215,74 mm/h.

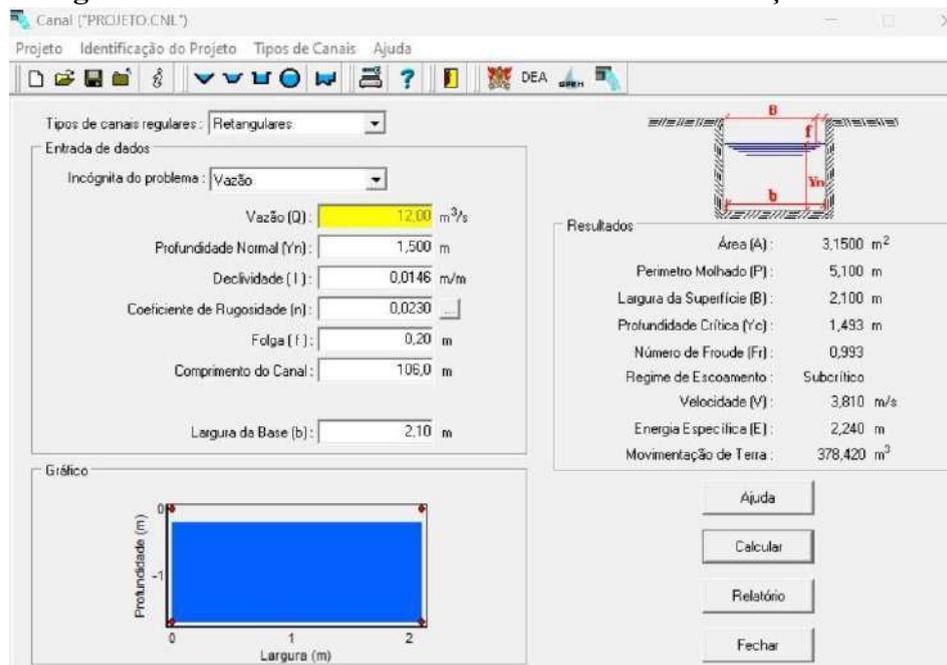
Através da equação 9, o valor da vazão de pico total encontrada foi de 12,00 m³/s, e na sequência, foi realizado o dimensionamento hidráulico da canalização no software Canal, tendo um regime de escoamento subcrítico, sendo que os valores se encontram na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros hidráulicos da canalização.

Parâmetros Hidráulicos	Trecho da Canalização
Vazão (m ³ /s)	12,00
Profundidade Normal (m)	1,500
Largura da base (m)	2,10
Declividade (m/m)	0,01460
Coefficiente de Rugosidade	0,0230
Folga (m)	0,20
Comprimento do canal (m)	106,5

Fonte: CONSANE, 2023.

Figura 10. Parâmetros hidráulicos do trecho da canalização - Canal.



Fonte: Canal (2023).

Sendo assim, para o dimensionamento da canalização foi considerada a vazão de pico total de **12,00 m³/s**, a fim de não causar alagamentos e danos materiais a área adjacente a canalização, bem como a população ali inserida.

Existem duas declividades diferentes com uma escada de dissipação entre elas e a declividade de todo o trecho da canalização é de 0,0279 m/m, considerando que a diferença de cotas é de 3,46 e que o comprimento total do canal é 106,5 metros.

Através do software Canal, foi determinado a profundidade normal da canalização, variando em cada trecho. Em seguida, foi calculada a folga, através da diferença entre a profundidade do canal (1,5 m) e a profundidade normal. O coeficiente de Manning utilizado foi de 0,0230, visto que o revestimento da canalização será de gabião e colchão reno, conforme consta na Tabela 4.

O comprimento total do canal equivale a 106,5 m e a largura da base da canalização, de 2,10 metros, sendo que a declividade e a largura do canal são as mesmas durante todo o canal, a profundidade normal do canal é a mesma para os dois trechos, evitando processos de ressaltos hidráulicos e consequentemente danos a jusante da canalização.

Assim, analisando a Figura 8 podemos observar que a canalização se encontra em regime subcrítico. Sendo assim, o canal representa velocidade dentro do permitido, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11. Limites para velocidade média considerando o material das paredes do canal.

Material das Paredes do Canal	Velocidade (m/s)	
	Média	Máxima
Areia muito fina	0,23 a	0,30
Areia solta-média	0,30 a	0,46
Areia grossa	0,46 a	0,61
Terreno arenoso comum	0,61 a	0,76
Terreno silt-argiloso	0,76 a	0,84
Terreno de aluvião	0,84 a	0,91
Terreno argiloso compacto	0,91 a	1,14
Terreno argiloso, duro, solo cascalhento	1,22 a	1,52
Cascalho grosso, pedregulho, piçarra	1,52 a	1,83
Rochas sedimentares moles-xistos	1,83 a	2,44
Alvenaria	2,44 a	3,05
Rochas compactas	3,05 a	4,00
Concreto	4,00 a	6,00

Fonte: Universidade Federal de Pelotas.

De acordo com o quadro 6, e levando em consideração que o material das paredes do canal serão de gabião (rochas compactadas), a velocidade média e máxima é de 3,05 a 4,00 m/s, respectivamente. As velocidades encontradas estão abaixo da velocidade máxima permitida, sendo assim, a canalização não irá apresentar altas velocidades.

A escada de dissipação apresenta dois degraus, com piso de 0,50 metro e o espelho d'água de 0,40 metros. Portanto, a escada de dissipação terá 2 pisos e 3 espelhos e comprimento total de 1 metro. Além disso, a mesma encontra-se a 16,5 metros do início da canalização, que é o ponto que apresenta um degrau natural devido à erosão.

5.4 Definição do Revestimento da Canalização

De acordo com o Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais: “Canalização é toda obra ou serviço que tenha por objetivo dar forma geométrica definida para a seção transversal do curso d'água, ou trecho deste, com ou sem revestimento de qualquer espécie nas margens ou no fundo.” (IGAM, 2010).

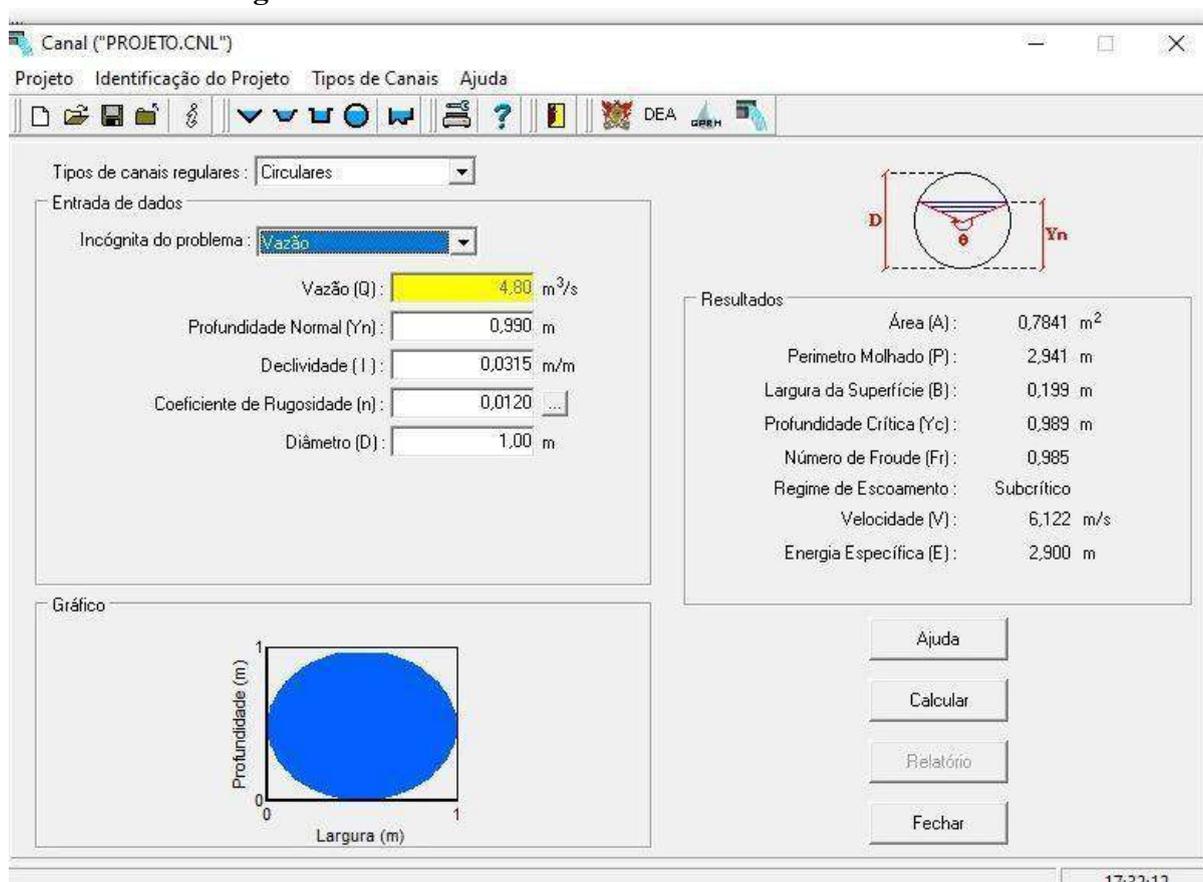
Nesta intervenção, buscando soluções que aliassem maiores benefícios ambientais, com menores custos de implantação e tecnicamente seguras, definiu-se por um sistema seguro e de bom aproveitamento de escoamento do curso d'água natural que realiza a contenção das margens do ribeirão, favorece a manutenção natural do curso d'água, e previne processos erosivos.

5.5 Dimensionamento da Travessia

Utilizando a mesma equação 9, a Urga-SM, obteve uma vazão máxima de cheia de 9,6 m³/s para o local da travessia, e solicitou um novo dimensionamento hidráulico da travessia, de forma que suporte a vazão de 9,6 m³/s.

O dimensionamento hidráulico da travessia foi realizado para suportar vazão de início do canal de 9,6 m³/s. Na Figura 12, encontra-se o dimensionamento hidráulico da travessia, considerando para uma única manilha.

Figura 12. Parâmetros hidráulicos de uma manilha - Canal.



Fonte: CANAL, 2023.

A vazão encontrada pelo software Canal para uma única manilha foi de 4,8 m³/s, utilizando os parâmetros da imagem. Serão colocadas duas manilhas do mesmo diâmetro, uma do lado da outra com 16,5 metros de comprimento. Portanto, as duas manilhas suportam a vazão de 9,6 m³/s.

É importante ressaltar que após a passagem será construída uma escada de dissipação com 2,10 m de largura, altura do degrau de 0,46 m e comprimento do degrau de 0,50 m e

desnível do trecho de 1,38 m, diminuindo a velocidade da água para 6,024 m/s, de acordo com o software SisCCoH, pelo regime skimming flow.

5.6 Estudo de Impacto à Montante e à Jusante do Trecho

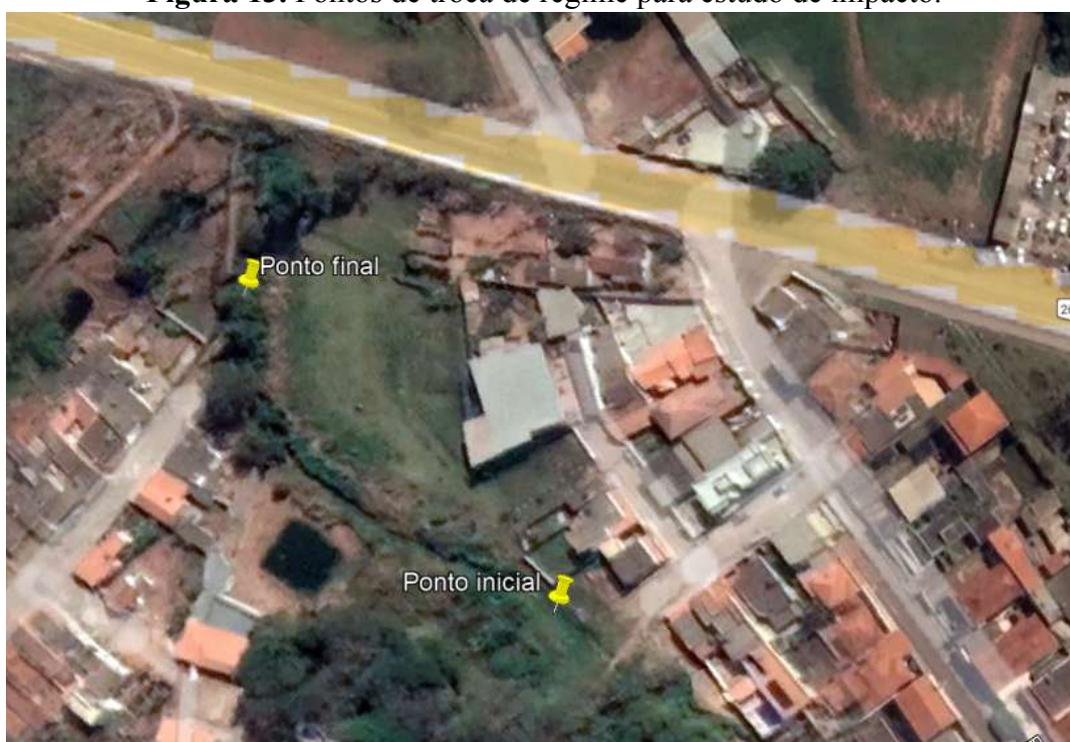
O estudo de impacto será concentrado na análise nos pontos de troca de regime, a fim de analisar o comportamento do fluxo de água. Os pontos são:

Ponto 1 - situada no início do local a ser canalizado.

Ponto 2 - situada no final do local a ser canalizado.

Os pontos supracitados podem ser observados na Figura 13.

Figura 13. Pontos de troca de regime para estudo de impacto.



Fonte: CONSANE, 2023.

A vazão calculada para o final da canalização é de 12,00 m³/s, dando uma diferença. É notável que as dimensões do projeto da canalização foram projetadas para suportar a vazão obtida no final do canal, sendo assim, o projeto é seguro e pertinente de ser realizado, de forma a não causar prejuízos e/ou danos ambientais e/ou sociais agora e no futuro, não causando impactos à montante e jusante.

6. CONCLUSÃO

A intervenção citada neste Trabalho de Conclusão de Curso consiste na canalização de um trecho de extensão de 0,1065 km de afluente do Córrego da Estiva, com o intuito de melhorar a saúde da população com melhoria nas condições do saneamento do local; minimizar os eventos erosão, visando a qualidade de vida, segurança da população e melhoria ambiental, atingindo benefícios ambientais, sociais e econômicos à população do Município.

Uma vez que a área encontra-se em obras para a criação de um espaço ecológico para fins turísticos de visitação pública e considerando as informações fornecidas neste trabalho, o projeto desta canalização é apropriado e seguro de ser realizado, de forma a não causar prejuízos e/ou danos ambientais e/ou sociais agora e no futuro. Sendo assim, o projeto para a canalização do canal não causará impactos ao longo do curso d'água.

Desta forma, o projeto atende os critérios definidos na Portaria IGAM N° 48, de 04 de Outubro de 2019, e as referências do “Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Recursos Hídricos de Minas Gerais” (IGAM,2010), sendo passível de realização de outorga.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico**. Hidroweb/Mapa. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em: out.2023.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Política Nacional de Recursos Hídricos. [S. l.], [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: out.2023.

CARACTERIZAÇÃO morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil**, [s. l.], 28 mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v9n2/v9n2a09.pdf>. Acesso em: out.2023.

COPAM (Minas Gerais). Deliberação nº 217, de 6 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário do Executivo [do] Estado de Minas Gerais**, Minas Gerais, 8 dez. 2007. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>. Acesso em: out.2023.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades.2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/nepomuceno/panorama>. Acesso em: out.2023.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13199, de 29 de janeiro de 1999**. Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. [S. l.], [1999]. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>. Acesso em: out.2023.

MINAS GERAIS. Portaria administrativa nº 49, de 01 de julho de 2010. Estabelece os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo [do] Estado de Minas Gerais**, Minas Gerais, 6 jul.

2010. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/barragem/Portaria-IGAM-MG-49-2010.pdf>. Acesso em: out.2023.

Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH, 1993. Acesso em: out.2023.