

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL:
ANÁLISE E TECNOLOGIA AMBIENTAL

CAMILA DAIANE CANCELIER STEINHORST

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE CONTENÇÃO NA BACIA DO RIO
LONQUEADOR PARA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE
FRANCISCO BELTRÃO**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

CAMILA DAIANE CANCELIER STEINHORST

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE CONTENÇÃO NA BACIA DO RIO
LONQUEADOR PARA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE
FRANCISCO BELTRÃO**

**Design of the containment reservoir in the Lonqueador River basin to flooding
mitigation in the Francisco Beltrão urban area**

Projeto de dissertação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Julio Caetano Tomazoni.

Coorientador: Prof. Dr. Wagner de Aguiar.

FRANCISCO BELTRÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão



CAMILA DAIANE CANCELIER STEINHORST

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATORIO DE CONTENÇÃO NA BACIA DO RIO LONQUEADOR PARA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE FRANCISCO BELTRÃO.

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia Ambiental: Análise E Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 30 de Setembro de 2022

Dr. Julio Caetano Tomazoni, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Adalberto Luiz De Paula, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Decio Lopes Cardoso, Doutorado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Dra. Elaine Schornobay Lui, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Wagner De Aguiar, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/09/2022.

Dedico este trabalho ao meu marido, pelo seu incentivo e compreensão, pelo amor incondicional e pela vivência diária, a minha filha, pelos momentos de ausência e pelo seu sorriso preencher cada segundo que não passamos perto, ao meu filho que está a caminho e aos meus pais pela base da minha educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Julio Caetano Tomazoni, pelas orientações fornecidas, auxílio na execução de levantamentos de campo e disposição em tempo integral para esclarecimento de dúvidas.

Agradeço ao meu Coorientador Prof. Dr. Wagner de Aguiar, pela confiança, pela paciência e por prontamente me ajudar sempre que o procurei.

Ao meu marido pelo apoio incondicional, discussões e esclarecimentos que corroboraram no desenvolvimento deste trabalho.

A minha sogra, que colaborou com seu tempo dedicado à minha filha, para que eu pudesse desenvolver esse trabalho.

Ao Município de Francisco Beltrão, representado pela Administração Municipal, a qual demonstrou interesse no desenvolvimento do trabalho, possibilitou o acesso aos dados necessários e apoiou o desenvolvimento deste trabalho.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Agradeço a minha família, por entenderem minha ausência.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Não conseguimos resolver um problema com base no mesmo raciocínio usado para criá-lo.
(Albert Einstein).

RESUMO

O crescimento horizontal irregular das cidades, por meio da existência de novos bairros, reduz a paisagem de vegetação natural, áreas de parques, bosques, a margem dos córregos e contribui para o aumento de áreas impermeabilizadas. O processo de impermeabilização do solo reduz a infiltração de água no solo e aumenta o volume e a velocidade de escoamento superficial, assim como a probabilidade de inundações urbanas, erosões e assoreamentos. Com o intuito de amenizar o impacto causado pela impermeabilização dessas áreas, o município de Francisco Beltrão está executando obras para aumentar as seções dos córregos existentes e a declividade destes no perímetro urbano para reduzir a ocorrência de eventos de cheias num tempo de recorrência de 100 anos, porém os projetos desenvolvidos até o momento não abrangem a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador. Este trabalho apresenta um estudo de implantação de 5 reservatórios de contenção de cheias na bacia hidrográfica em questão. A vazão dos trechos do Rio Lonqueador onde a seção do canal é reduzida e restringe o escoamento, foi estimada e utilizada como limite para a vazão efluente dos reservatórios. A chuva intensa considerada no estudo foi estimada pela Equação IDF (intensidade, duração e frequência), distribuída em blocos temporais de chuva pelo método de Huff e separado seu escoamento superficial pelo método SCS (Método Soil Conservation Service) para determinar o hidrograma unitário sintético triangular e o hidrograma de projeto. O dimensionamento de cada reservatório de contenção proposto foi realizado pelo método de Puls com os parâmetros de entrada: hidrograma de projeto, curva cota x volume do reservatório e curva cota x vazão do descarregador de fundo. A vazão de restrição do reservatório R03 de 13,6 m³/s contribuiu para obter um maior volume e altura de água armazenada no dimensionamento, 138.136 m³ e 20,77 m. Para o reservatório existente R04 é necessário um volume de 16209 m³ e a redução da seção do seu descarregador de fundo com tubos de concreto de 0,40 metro de diâmetro. No reservatório R05 também é preciso apenas de um armazenamento de 14109 m³ e 3 descarregadores de fundo com tubos de 1 metro de diâmetro, além do vertedor de crista. Concluiu-se que a instalação dos reservatórios de contenção R03, R04 e R05 contribui para a mitigação de enchentes na área urbanizada para um tempo de recorrência de 100 anos, sem a necessidade de implantação dos reservatórios R01 e R02.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; escoamento superficial; inundações urbanas; método de Puls.

ABSTRACT

The irregular outward growth of cities, caused by new neighborhoods risings, reduces the natural vegetation landscapes, parks areas, woods and stream banks, contributing to increase soil sealing areas. The soil sealing process reduces water infiltration into the soil and increases the volume and speed of surface runoff, as well as the likelihood of urban flooding, erosion and siltation. In order to mitigate the impact caused by the soil sealing in these areas, the city of Francisco Beltrão is carrying out works in order to increase the existent inlets streams and the slope of them in the urban perimeter to reduce the occurrence of flood events in a recurrence time of 100 years period, however the developed projects currently are not concerned to Lonqueador River watershed. This work presents a study of the implementation of 5 flood retention reservoirs at the present watershed. The sections flow of Lonqueador River where the channel inlet is reduced and restricts the flow was estimated and used as a limit for the effluent flow from the reservoirs. The intense rainfall considered for the study was estimated by the IDF Equation, distributed in temporal seasons of rainfall by the Huff method and its surface runoff separated by the SCS method to determine the triangular synthetic unit hydrograph and the hydrograph design. The sizing of each proposed retention reservoir was performed using the Puls method with the input parameters: project hydrograph, elevation x reservoir volume curve and elevation x flow curve of the bottom spillway. The restriction flow of the R03 reservoir of 13.6 m³/s contributed to get a greater volume and height of water stored in sizing, 138136 m³ and 20.77 m. For the existing reservoir R04, a volume of 16209 m³ and the reduction of the section of its bottom spillway with 0.40-meter diameter concrete pipes are required. In the R05 reservoir, it is required a storage of only 14109 m³ and 3 bottom spillways with 1 meter diameter tubes, in addition to the crest spillway. It was concluded that the installation of the containment reservoirs R03, R04 and R05 contributes to the mitigation of floods in the urbanized area for a recurrence time of 100 years, without the need to implant the reservoirs R01 and R02.

Keywords: watershed; runoff; urban floods; Puls method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação do ciclo hidrológico.....	21
Figura 2 - Características das alterações de uma área rural para urbana.....	22
Figura 3 - Reservatório de retenção	26
Figura 4 - Reservatório de detenção	27
Figura 5 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Lonqueador	28
Figura 6 - Forma do hidrograma unitário sintético triangular do SCS – HUT	34
Figura 7 - Hidrograma unitário: princípio da proporcionalidade e da superposição	14
Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.....	19
Figura 9 – Tipo de solo da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador e seu grupo hidrológico.....	20
Figura 10 - Locais propostos para estudo de implantação de reservatórios de retenção de cheias na bacia hidrográfica do Rio Lonqueador em Francisco Beltrão (PR).....	22
Figura 11 - Declividade predominante da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador	25
Figura 12 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador	26
Figura 13 - Locais restrição ao escoamento do rio Lonqueador	27
Figura 14 - Seções de restrição de vazões	28
Figura 15 - Hidrograma de projeto (SCS) e hidrograma efluente do reservatório R03.....	31
Figura 16 - Hidrograma de projeto (SCS) e hidrograma efluente do reservatório R04.....	31
Figura 17 - Hidrograma de projeto (SCS) e hidrograma efluente do reservatório R05.....	32
Figura 18 - Local para implantação do reservatório R03	33
Figura 19 - Lago Boa Vista	34
Figura 20 - Lago Boa Vista	34
Figura 21 - Hidrograma de projeto (SCS) do reservatório R02.....	35
Figura 22 - Hidrograma de projeto (SCS) do reservatório R02.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de relevo versus percentual declividade.....	30
Tabela 2 - Distribuições temporais de chuva pelo Método de Huff (1º quartil)..	33
Tabela 3 - Valores de CN para Zona Residencial.....	12
Tabela 4 - Equações de interpolação de CN em função da taxa de ocupação máxima para Zona Residencial para cada grupo hidrológico de solo	12
Tabela 5 - Valores de CN da área rural da bacia hidrográfica do rio Lonqueador	12
Tabela 6 - Valores de CN da área rural da bacia hidrográfica do rio Lonqueador	13
Tabela 7 - Locais propostos para estudo de implantação dos reservatórios de contenção de cheias na bacia hidrográfica do rio Lonqueador em Francisco Beltrão (PR).....	21
Tabela 8 - Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador e das áreas de contribuição de cada reservatório proposto para estudo	23
Tabela 9 – Vazão de restrição ao escoamento do Rio Lonqueador.....	29
Tabela 10 - Curva Cota x Volume dos reservatórios R03, R04 e R05	30
Tabela 11 - Características dos descarregadores de fundo e dos vertedouros dos reservatórios R03, R04 e R05.....	30
Tabela 12 - Características dimensionais dos reservatórios R03, R04 e R05....	32
Tabela 13 - Características hidrológicas da área de contribuição do reservatório R01 utilizadas na determinação de seu hidrograma de projeto	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PR	Paraná
SCS	Soil Conservation Service
APP	Área de preservação permanente
TR	Tempo de recorrência
TC	Técnicas compensatórias
ha	Hectare
km ²	Quilômetro quadrado
GIS	Geographic Information System
Cfa	Clima subtropical, com verão quente.
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UTM	Universal Transversa de Mercator
ESRI	Environmental Systems Research Institute
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
Kc	Coeficiente de capacidade
IC	Índice de Circularidade
GPS	Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
IDF	intensidade-duração-freqüência
HUT	Hidrograma unitário sintético triangular
SCS	Método Soil Conservation Service
NRCS	Natural Resources Conservation Service - USDA
CN	Curve Number
R01	Reservatório 01
R02	Reservatório 02
R03	Reservatório 03
R04	Reservatório 04
R05	Reservatório 05

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REVISÃO DA LITERATURA	16
4.1	Bacias hidrográficas	16
4.2	Bacia hidrográfica do Rio Lonqueador	16
4.3	Inundações urbanas.....	17
4.4	Mapeamento hidrográfico.....	18
4.5	Hidrologia.....	20
4.6	Ciclo hidrológico	20
4.7	Impactos da Urbanização no comportamento da bacia hidrográfica 21	
4.8	Controle de inundação.....	23
4.9	Reservatórios de contenção de cheias	25
4.9.1	Tipos de reservatórios de contenção.....	26
5	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	Área de estudo: bacia hidrográfica do Rio Lonqueador	28
5.2	Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica	30
5.3	Chuva intensa – equação IDF (Intensidade- duração – frequência) 31	
5.3.1	Distribuição temporal da chuva intensa – Método de HUFF	32
5.4	Hidrograma unitário sintético triangular - HUT.....	33
5.5	Precipitação efetiva – SCS	35
5.5.1	Classificação hidrológica dos solos	36
5.6	Hidrograma de projeto	14
5.7	Método de Puls - Level Pool Routing	15
5.7.1	Reservatórios	16
5.7.2	Descarregador de fundo.....	17
5.7.3	Vertedor de crista	17
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18

6.1	Localização dos reservatórios	21
6.2	Seções de restrição ao escoamento.....	27
6.3	Reservatórios R03, R04 e R05	29
6.4	Reservatórios R01 e R02	34
7	CONCLUSÃO	37
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Muitos fatores contribuem para o estado de degradação atual do meio ambiente e para a falta de preservação no entorno de rios, sendo que as aglomerações urbanas às margens de rios iniciam muitas vezes essa situação pela falta de planejamento. Diversos motivos continuam eliminando as matas ciliares, como a especulação imobiliária, agricultura, pecuária, ou mesmo, as áreas de lazer (FAGUNDES e JÚNIOR, 2008). A ocorrência da urbanização nas planícies de inundação e margens de rios sem cumprimento de diretrizes de um plano diretor apropriado, ocasiona a problemática das inundações que podem resultar em perdas de vidas humanas e materiais (SILVEIRA, DIAS e SCHUCH, 2014).

Porto (1999) apresenta a relação entre a ausência do planejamento urbano na grande maioria das cidades brasileiras e a existência de problemas para a população local em decorrência do impacto da urbanização sobre o meio ambiente. Pode-se citar como exemplo os problemas de inundações urbanas e a produção e transporte de cargas difusas de poluição nos corpos de água. Um dos fatores que está diretamente relacionado a maximização dos efeitos das inundações é a impermeabilização do solo causada pelas construções que reduzem a infiltração da água pluvial e seu armazenamento natural, o que aumenta o escoamento superficial (CABRAL *et al.*, 2016).

Segundo Canholi (2014), a ocupação urbana que se desenvolve muitas vezes no sentido de jusante para a montante do curso hídrico torna difícil a compatibilização de soluções, pois a vazão afluyente de canalizações cresce ao longo da bacia. Ainda, o lançamento de esgotos e a disposição inadequada de resíduos sólidos dentro do canal também potencializam a vazão de pico acima do valor máximo considerado para as obras de drenagem, além de causarem poluição (CABRAL *et al.*, 2016).

O desenvolvimento do município de Francisco Beltrão ocorreu em torno das margens do rio Marrecas englobando alguns de seus afluentes, como o rio Lonqueador e Santa Rosa. A mata ciliar foi drasticamente removida, assim como a vegetação da planície de inundação, abrindo espaço para residências, prédios, comércio, indústrias, calçadas e estradas. Enfim, toda a área do perímetro urbano,

que circunda os rios foi massivamente impermeabilizada e seu entorno diretamente impactado pelos eventos de cheia (MINUZZO, 2016).

Os sistemas de drenagem urbana têm a finalidade de solucionar os problemas gerados no processo de urbanização e funcionam como gerenciadores da água da chuva que escoam no meio urbano (TUCCI e MARQUES, 2000).

Nesse contexto, a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador, localizada no perímetro urbano de Francisco Beltrão, apresenta registros recorrentes de inundações no município e demonstra a necessidade de implantação de mecanismos para controle desses eventos. Sendo assim, o trabalho tem o intuito de contribuir para a minimização dos efeitos e impactos causados por inundações atualmente existentes nesta bacia. Para tanto, este trabalho tem como objetivo, complementar o plano de contingência de cheias do rio Marrecas para a redução da vazão de pico dentro da bacia hidrográfica, objetivando a mitigação da inundação na área urbana.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste projeto é estabelecer o dimensionamento das estruturas que compõe o sistema de drenagem proposto, bem como a verificação do funcionamento do conjunto para as condições e critérios previamente estabelecidos, com a avaliação da análise de desempenho hidráulico das singularidades e obras especiais contribuindo com a redução das inundações urbanas de Francisco Beltrão (PR) que são resultantes da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.

2.2 Objetivos específicos

Dimensionar o sistema de macrodrenagem urbana para a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador por meio de reservatórios de contenção para o controle de inundações no perímetro urbano de Francisco Beltrão.

Subsidiar projetos de macrodrenagem na redução da mancha de inundação do perímetro urbano de Francisco Beltrão.

Calcular o volume a ser armazenado nos reservatórios pela chuva de projeto e sua duração crítica para o período de retorno relativo às obras hidráulicas presentes no município (TR de 100 anos) e analisar a viabilidade de implantação dos reservatórios propostos;

3 JUSTIFICATIVA

O sistema de drenagem faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana, pois o escoamento das águas das tormentas sempre ocorrerá, independente de existir ou não sistema de drenagem adequado. A qualidade desse sistema é que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores.

O projeto de drenagem urbana que está sendo executado no Município de Francisco Beltrão foi planejado com o propósito de mitigação dos alagamentos urbanos para um Tempo de Recorrência (TR) de 100 anos. Assim, o Rio Marrecas terá um túnel de desvio projetado para desviar aproximadamente 66% da vazão do rio Marrecas durante um evento de cheias respectivo ao TR de 100 anos, para atender ao objetivo de escoar a água com velocidade diretamente para a jusante da área urbanizada por passagem subterrânea.

Esse sistema encaixa-se no contexto do controle por Escoamento Contínuo Direto, tendo tradicionalmente como base o enfoque orientado para o aumento da condutividade hidráulica do sistema de drenagem. Além dos mecanismos já projetados pelo município de Francisco Beltrão é necessário a realização de estudos para resolver os problemas causados por chuvas respectivas a um TR de 100 anos nas cinco microbacias que possuem seus exutórios localizados na área urbanizada.

Portanto, o estudo de alternativas de resolução do problema de inundações urbanas existente na microbacia do Rio Lonqueador apresenta-se extremamente necessário para contribuir com o desenvolvimento do município, sendo assim, o projeto em questão para dimensionamento de bacias de contenção para atendimento de escoamento para uma TR de 100 anos nas seções existentes do Rio Lonqueador se torna indispensável para mitigação dos alagamentos urbanos.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, é composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 2012).

É considerada um ente sistêmico onde se realizam os balanços de entrada de água proveniente da chuva e saída através do exutório, onde estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema, sendo que a drenagem no exutório é consequente das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO M. e PORTO R., 2008).

Todas as ações antrópicas e naturais que ocorrem dentro da bacia hidrográfica determinam a qualidade e quantidade da malha hídrica que nela se faz presente e por isso a bacia hidrográfica é considerada a melhor unidade territorial para o planejamento e gestão ambiental (JOURAVLEV, 2003).

Segundo Tucci (2008), a gestão das ações que ocorrem no ambiente urbano pode ser definida de acordo com a relação de dependência da água através da bacia hidrográfica ou da jurisdição administrativa do município, do Estado ou da Nação.

4.2 Bacia hidrográfica do Rio Lonqueador

A bacia hidrográfica do Rio Lonqueador possui uma área estimada em 1.754 ha, dos quais 296 ha se encontravam urbanizadas em 2014, especialmente próximo a foz do canal principal na cidade de Francisco Beltrão e uma pequena porção no médio vale, local limítrofe entre os municípios de Francisco Beltrão e Marmeleiro, onde está instalado o Hospital Regional do Sudoeste Paranaense (ANDRES *et al.*, 2013).

Apresenta altas declividades e uma área pequena, sua forma é mais alongada, o que contribui para um maior tempo de concentração na bacia (ALVIM, 2020). Possui grande parte da bacia urbanizada, uma área de 7,37 km² (40,94%), e

possibilidade de ampliação, de acordo com o plano diretor, o que aumenta as vazões de pico ao longo dos cursos d'água (ALVIM, 2020).

4.3 Inundações urbanas

A ocupação desordenada das planícies de inundação e leitos de rios, por parte da população, inicia a problemática das inundações que podem resultar em perdas de vidas humanas e materiais (SILVEIRA, DIAS e SCHUCH, 2014).

Alguns fatores podem maximizar os efeitos das inundações, como a impermeabilização do solo causada pelas construções, que reduzem a infiltração da água pluvial e seu armazenamento natural, o que aumenta o escoamento superficial (CABRAL *et al.*, 2016). Muitas vezes, as ações antrópicas e o crescimento desordenado das cidades são relacionados com eventos hidrológicos por contribuírem com estes fatores (DECINA e BRANDÃO, 2016).

Assim, o uso indiscriminado do solo aliado a uma intensa precipitação pluviométrica pode resultar em enchentes e/ou inundações, uma vez que o volume de água escoado nos rios tende a extrapolar a sua calha e ocupar áreas ribeirinhas povoadas (SILVEIRA, DIAS e SCHUCH, 2014). Sendo que, para este contexto, a diferença entre enchente e inundação significa apenas o confinamento ou não das águas de um curso d'água no seu canal de drenagem (SANTOS, 2015).

Estas consequências, sejam elas de natureza rural ou urbana, alteram toda a dinâmica natural dos cursos d'água e, muitas vezes, manifestadas por meio de enchentes, inundações, assoreamento, deslizamentos de terra entre outros (ALVIM, 2020) com impactos sociais diretos com mortes por afogamentos e danos materiais e indiretos com a transmissão de doenças (SANTOS, 2015).

De acordo com Tucci (2008), o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos em áreas urbanas por dois processos, os quais podem ocorrer isoladamente ou combinados, por inundações de áreas ribeirinhas (que ocorrem no leito maior) e por inundações em razão da urbanização (que ocorrem em função da impermeabilização do solo).

4.4 Mapeamento hidrográfico

Em função do aumento de ocorrência de desastres nos últimos anos, os governos demandam metodologias mais eficazes para prevenir tal fato. A utilização de mapeamentos como subsídio para a gestão de risco pode otimizar os resultados para embasar o planejamento urbano (REIS *et al.* 2016).

Os parâmetros mais influenciados pela urbanização de uma bacia são a fração de superfícies impermeáveis e a velocidade de propagação do escoamento na bacia, em função disso, a maioria dos modelos de simulação empregados na modelagem do escoamento em ambientes urbanos levam em consideração esses dois parâmetros (CAMPANA, 1995).

A restituição da estrutura fluvial da rede hidrográfica, e dos interflúvios que compõem o divisor de águas, subsidiam uma primeira análise morfométrica detalhada da bacia, elaborada a partir das informações obtidas nas cartas topográficas, fotos aéreas e imagens orbitais (SPANGHERO, MELIANI e MENDES, 2015).

Os avanços tecnológicos no campo das ciências da computação e do sensoriamento remoto têm contribuído para os estudos relacionados com o meio físico, possibilitando o acesso a um maior número de informações (imagens orbitais, dados vetoriais) e facilitando sua manipulação e análise, o que torna possível trabalhar com áreas de grande abrangência territorial, em diferentes escalas de detalhamento, com maior rapidez e precisão. Os processamentos digitais e imagens geradas por sensores presentes em satélites contribuem para avaliações espaciais, como a identificação das APPs, delimitação de bacias hidrográficas e cursos d'água (CUNHA *et. al.*, 2015).

No Brasil, os desastres hidrológicos apresentam seu maior impacto em áreas urbanas densamente povoadas, são ocasionados pela vulnerabilidade ambiental, aspectos econômicos, geográficos, sociais (SANTOS, 2007, p. 9-12). O processo de aceleração do crescimento econômico e social no Brasil, bem como o aumento populacional contribuem significativamente para o aumento desses desastres (MARCELINO, NUNES, KOBAYAMA, 2006). Schussel e Neto (2015) ressalta o papel fundamental dos gestores públicos, que, ao implementar o sistema de monitoramento ambiental, passam a pautar sua atuação de acordo com os preceitos do

desenvolvimento sustentável, admitindo a interdependência dos serviços e a inevitabilidade da integração.

Os cursos d'água são periodicamente deflagrados por precipitações com diferentes intensidades e durações, provocando problemas de ordem socioambiental, como as inundações, que têm causado grandes prejuízos financeiros e até mesmo perdas de vidas humanas, condição que tem incentivado criações de programas de desenvolvimento com elevado investimento financeiro, na perspectiva de seus controles em centros urbanos (GERRA e ZACHARIAS, 2016).

As atividades humanas que interferem no regime hídrico acentuam a problemática de inundações em bacias urbanas e, na tentativa de prognosticar, vários estudos apresentam cenários extremos de enchentes e quantificam seus riscos através de modelos hidrológicos com o intuito de subsidiar a formulação de políticas e minimizar ou impedir que tais cenários ocorram. Com vistas à minimização de incertezas de modelagem, tornam-se essenciais: a verificação da acuracidade da informação disponível e; a redução das dificuldades na representação da diversidade e, sobretudo, a variabilidade de parâmetros e variáveis associados aos processos hidrológicos (BARROS, MENDIONDO e WENDLAND, 2007).

O mapeamento serve como subsídio para as políticas municipais trabalharem a gestão com propostas de conservação e preservação do patrimônio ambiental e cultural urbano. Assim, o patrimônio ambiental está diretamente relacionado aos bens culturais enquanto materialização das relações sociais e que fazem parte do habitat humano em harmonia com a natureza e a cultura (GERRA e ZACHARIAS, 2016).

Diante desta problemática, faz-se necessário elaborar medidas preventivas e mitigadoras com o intuito de reduzir os impactos destes eventos sobre as áreas consideradas de risco. Estas medidas podem ser divididas entre estruturais e não-estruturais. As estruturais são caracterizadas pelas obras de engenharia como diques, barragens, piscinões, etc. As demais medidas que envolvem políticas públicas, mapeamento de áreas de risco, educação ambiental, etc., são enquadradas nas não estruturais, as quais se destacam pelo seu baixo custo de implementação (GOERL, KOBIYAMA e PELLEIN *et al.*, 2012).

Nos municípios que ainda estão em fase de desenvolvimento urbano, o mapeamento de áreas susceptíveis a fenômenos naturais é de suma importância para

que os mesmos não se desenvolvam sobre as áreas de risco (GOERL, KOBİYAMA e PELLEIN, 2012). Esse mapeamento é um subsídio para a definição de políticas públicas que possam auxiliar no planejamento urbano dos municípios.

4.5 Hidrologia

Shaidian, Guimarães e Rodrigues (2012), definem hidrologia como sendo a ciência que tem o intuito de quantificar os fenômenos motivados pela água e seu comportamento em bacias hidrográficas. Para Tucci (1997), é a ciência que estuda o comportamento da água e sua distribuição na terra.

A Hidrologia apresenta um importante papel no progresso e desenvolvimento, fornecendo conhecimentos necessários para o melhor aproveitamento da utilização dos recursos hidráulicos (PINTO *et al.*, 1976).

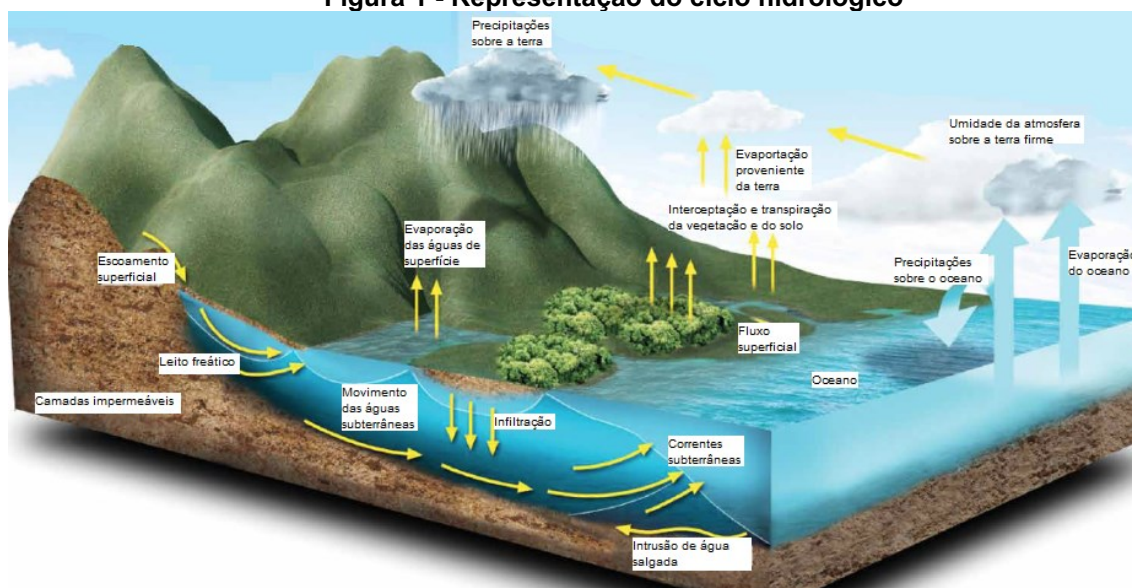
Villela (1975), apresenta alguns exemplos de como a Hidrologia exerce grande influência para tomada de decisões na engenharia:

- Escolha de fontes de abastecimento de água para uso doméstico ou industrial;
- Projeto e construção de obras hidráulicas;
- Drenagem;
- Irrigação;
- Regularização de cursos d'água e controle de inundações;
- Controle da poluição;
- Controle da erosão;
- Navegação;
- Aproveitamento hidrelétrico;
- Operação de sistemas hidráulicos complexos;
- Recreação e preservação do meio-ambiente;
- Preservação e desenvolvimento da vida aquática.

4.6 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico apresentado na Figura 1, representa a movimentação e distribuição da água no planeta. As modificações do estado da água pelas variações de temperatura e pressão associadas com sua movimentação pela ação da gravidade determinam o ciclo hidrológico, composto pelos segmentos: evaporação, condensação, precipitação, interceptação, evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e escoamento subsuperficial (TUCCI, 2012).

Figura 1 - Representação do ciclo hidrológico



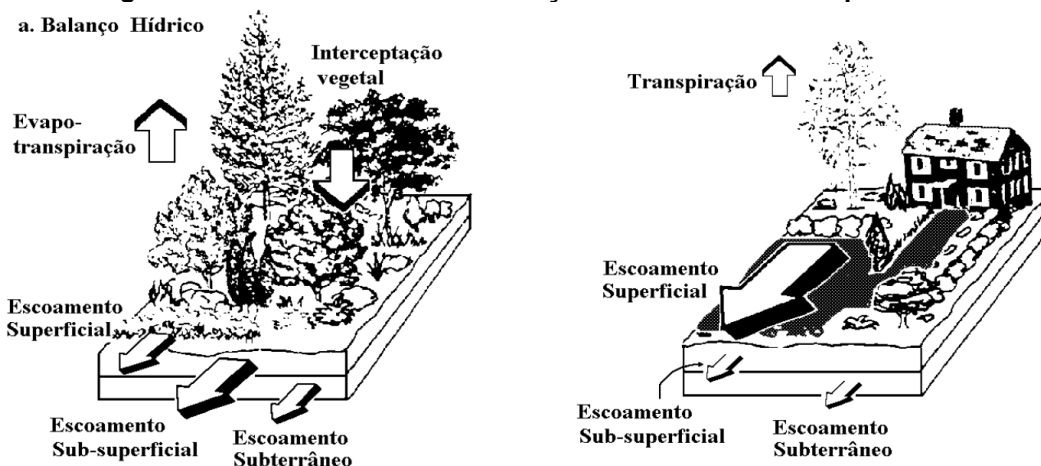
Fonte: Adaptado de Projetos rios Voadores (2014)

O crescimento das cidades tende a consolidar atividades dos setores secundário e terciário, em um processo que gera o aumento da regularização e da impermeabilização do solo. Essa modificação interfere no ciclo hidrológico; a regularização da superfície urbanizada reduz a retenção superficial e o amortecimento da bacia; a impermeabilização diminui infiltração, aumentando o escoamento superficial (MIGUEZ, GREGORIO E VERÓL, 2018).

4.7 Impactos da Urbanização no comportamento da bacia hidrográfica

O aumento da urbanização, altera o escoamento superficial direto da bacia hidrográfica, principalmente em função da impermeabilização da superfície dos interflúvios, dessa forma ocasiona maiores picos e vazões, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Características das alterações de uma área rural para urbana



Fonte: Schueler (1987)

A impermeabilização ocasionada pela urbanização promove o aumento da vazão do rio, que em situações críticas pode promover um processo erosivo das margens (GREGORY, 2006).

Tucci (2012), relaciona o desenvolvimento urbano com a alteração da cobertura vegetal, consequentemente com alteração dos componentes do ciclo hidrológico natural, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Consequências da alteração da cobertura vegetal no ciclo hidrológico

Segmentos do Ciclo Hidrológico	Alteração	Motivo
Infiltração de água no solo	Redução	Aumento da área impermeável
Escoamento superficial	Aumenta	Redução da infiltração
Vazões máximas	Aumentam	Redução do tempo de deslocamento da água pluvial
Escoamento subterrâneo	Redução	Redução da infiltração
Evapotranspiração	Redução	Substituição da cobertura vegetal por áreas construídas ou impermeáveis

Fonte: Adaptado de Tucci (1997)

Nesse contexto, a variabilidade dos segmentos do ciclo hidrológico em um balanço hídrico é de acordo com as condições de cada localidade e são influenciados por fatores como: solo, cobertura, geologia, pluviosidade e clima (TUCCI, 1997).

4.8 Controle de inundação

Tradicionalmente, a solução adotada foi canalizar os cursos d'água para aumentar a sua velocidade de escoamento, mas isto transferiu o problema para áreas a jusante da bacia hidrográfica e aumentou as frequências de inundação, contudo, possibilitou verificar que a drenagem deve ser incorporada na parte inicial do desenvolvimento urbano (DECINA e BRANDÃO, 2016).

Por isso, as soluções propostas pelo sistema de drenagem tradicional, que busca acelerar o escoamento da água pluvial por meio de tubulações, canais revestidos e outros elementos constituintes, tanto da microdrenagem como da macrodrenagem, têm-se mostrado limitadas (RODRÍGUEZ e TEIXEIRA, 2021).

Segundo Canholi (2014), a ocupação urbana que se desenvolve muitas vezes no sentido da jusante para a montante do rio/córrego torna difícil a compatibilização de soluções, pois a vazão afluyente de canalizações cresce ao longo da bacia. Ainda, o lançamento de esgotos e a disposição inadequada de resíduos sólidos dentro do canal também potencializam a vazão de pico acima do valor máximo considerado para as obras de drenagem, além de causarem poluição (CABRAL *et al.*, 2016).

Com o aumento demográfico, os problemas de drenagem urbana no Brasil se agravam cada vez mais e exigem sistemas alternativos aos tradicionais para o transporte das águas, que de forma sustentável seja uma solução para as inundações (ZAPPE *et al.*, 2016).

Estes tem sido os motivos para a busca de soluções alternativas, entre elas as chamadas “técnicas compensatórias” (TC), que começaram a ser desenvolvidas e aplicadas em diversos países, sobretudo a partir dos anos 1970 (RODRÍGUEZ e TEIXEIRA, 2021).

Para a resolução destes problemas, conhecimentos hidráulicos hidrológicos associados ao geoprocessamento são imprescindíveis (CABRAL *et al.*, 2016). Ferramentas de análise topográfica em programas GIS disponíveis possibilitam tal análise (GLENIS, KUTIJA e KILSBY, 2018).

Tem se observado que a ideia de que o melhor é conduzir a água gerada para longe o mais rápido possível, aumentando a capacidade condutora do sistema, porém, além de ser uma alternativa não viável financeiramente, provoca a transferência do

ponto de alagamento para jusante, exigindo futuramente mais projetos e obras ainda mais onerosas e complexas (CRUZ, SOUZA e TUCCI, 2007).

Em função da falta de atenção com as obras de drenagem urbana, bem como a visão restrita que existe sobre o problema e os poucos recursos financeiros disponibilizados, existe a necessidade de tomada de decisões eficientes, que possibilite a escolha de alternativas que priorize a solução definitiva do problema, para toda a área de influência com mínimos investimentos e impactos ambientais (CRUZ, SOUZA e TUCCI, 2007).

As medidas modernas voltadas ao projeto de sistemas de macrodrenagem normalmente interagem com os elementos de formação das ondas de enchente, sendo que a adequada definição dos hidrogramas de projeto nos pontos notáveis do sistema de drenagem é uma atividade essencial para o sucesso da medida proposta (CANHOLI, 2014).

Segundo Decina e Brandão (2016), as medidas de prevenção das inundações podem ser estruturais, obras de engenharia, ou não estruturais, como zoneamento e sistemas de alerta e seguros.

Barros (2004), apresenta que as medidas estruturais podem se apresentar de quatro formas distintas: sistemas de coleta de água de chuva nos lotes e lançamento na rede (obras pontuais que ocorrem em cada lote imobiliário); sistema de microdrenagem, que corresponde a dispositivos de coleta de água de chuva nas vias e ruas; rede de macrodrenagem, com um conjunto de canais, reservatórios e rios para onde escorre a água proveniente do sistema de microdrenagem; e reservatórios para controle de cheias com sistemas para barrar e reter o excesso de chuva temporariamente, visando melhorar a eficiência do sistema como um todo, amortecendo picos de vazão que não podem ser absorvidos pelo sistema ou pela rede de macrodrenagem.

Dentre as medidas estruturais de baixo impacto, o uso de reservatórios de contenção retarda o escoamento superficial e os picos de vazão das ondas de cheias provocados pela impermeabilização da bacia hidrográfica. Assim, os reservatórios de contenção podem reduzir os riscos de inundação por armazenar um determinado volume de água e redistribuir as vazões durante um maior período de tempo para diminuir as vazões de pico em eventos de cheias (CANHOLI, 2014).

4.9 Reservatórios de contenção de cheias

São medidas estruturais com objetivo de minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica (TUCCI, 2007). Além da redução das inundações à jusante, esse dispositivo atua na melhoria da qualidade da água, pela retenção de sedimentos e lixo.

Em áreas urbanas, esses dispositivos enfrentam certas dificuldades para serem implantados, pois requerem grandes áreas, que nem sempre estão disponíveis, além de exigirem manutenção constante na época de chuvas, para a retirada do material que se acumula no seu leito (ARMELIN, 2011).

Os reservatórios destinados a controle de cheias são estruturas que funcionam para detenção ou retenção de águas pluviais e têm finalidade de reduzir o efeito das enchentes em áreas urbanas, retardam o tempo de escoamento da água para rede de microdrenagem, que escoam para os rios. Assim, a vazão escoada na rede diminui e evita-se o transbordamento. Estes reservatórios podem armazenar água tanto ao ar livre como em pátios cobertos no subsolo de áreas urbanas, e o escoamento pode acontecer por gravidade, passando por telas e comportas, ou por bombeamento. Sua atuação ocorre pela redistribuição dos escoamentos no tempo e no espaço (SANTOS E MAMEDE, 2013).

Os reservatórios de contenção de cheias têm o intuito de reduzir o pico de cheias através do amortecimento da vazão máxima resultante de um evento de precipitação pelo armazenamento parcial do volume escoado. Eles podem ser classificados em reservatórios de retenção ou detenção. Reservatórios de detenção são dimensionados para serem drenados após armazenamento da água e os reservatórios de retenção apresentam uma lâmina d'água permanente com infiltração no solo (ARMELIN, 2011).

Os dispositivos de reservatórios de contenção podem ser utilizados para controle da vazão máxima, controle do volume, controle do material sólido e da erosão e controle da qualidade de água (TUCCI, 2007).

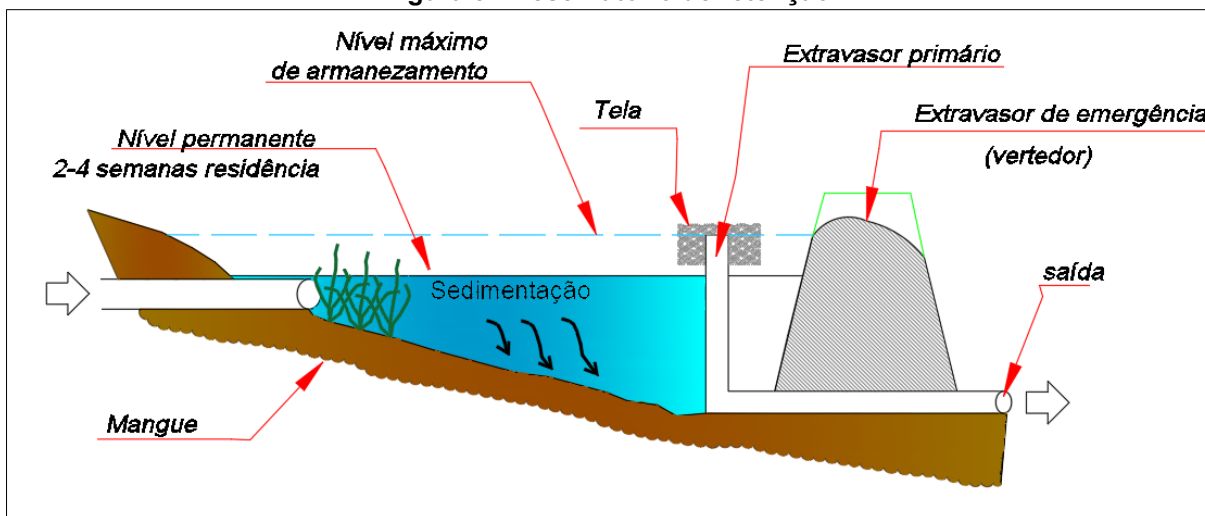
Para a determinação da vazão de cheia proveniente do escoamento superficial, o método racional é uma ferramenta bastante satisfatória para as microbacias urbanas, sendo necessário apenas as variáveis: área, tempo de concentração, precipitação e coeficiente de escoamento superficial (FRANCO, 2004).

Uma prática habitual é a utilização de formas variadas e a separação do reservatório para diferentes períodos de retorno: uma área para escoar uma cheia contínua e outra área de extravasamento para as cheias superior da cota de risco relativo. Esta fragmentação ainda pode acabar em diversas aplicabilidades: uma seção para tratamento da vazão das primeiras chuvas e como resultado para controle da qualidade da água e outra seção para controle de cheias (ABRIL, 2016).

4.9.1 Tipos de reservatórios de contenção

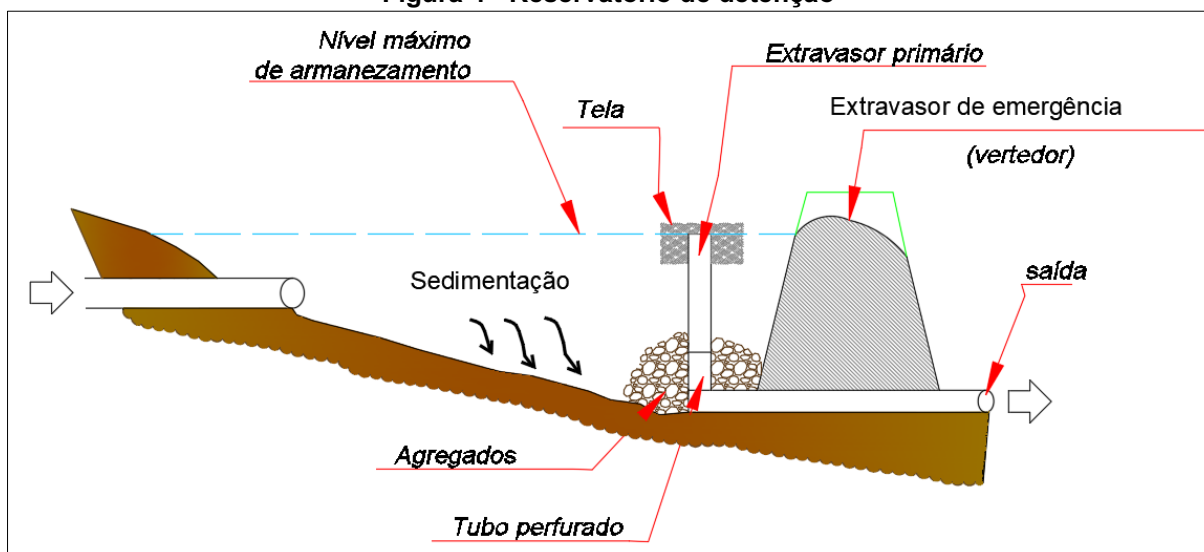
Conforme definição apresentada por Tucci (2007), os reservatórios se diferenciam entre reservatórios de retenção (Figura 3), quando apresentam uma lâmina d'água permanente e detenção (Figura 4), quando apresentam a lâmina d'água durante seu uso na ocorrência de uma chuva intensa e depois a mesma é liberada gradativamente.

Figura 3 - Reservatório de retenção



Fonte: Adaptado de Tucci (2007)

Figura 4 - Reservatório de detenção



Fonte: Adaptado de Tucci (2007)

Os reservatórios de retenção são estruturas a céu aberto com lâmina d'água permanente. Neles o nível d'água ergue-se provisoriamente acima dos níveis normais, significa que a parte d'água aumenta após a precipitação. Os escoamentos são retidos não somente para servir as exigências de controle de quantidade. Os reservatórios de detenção são estruturas que permanecem secas, pois todo o volume guardado durante a cheia é restituído ao sistema de macrodrenagem (MACHADO et. al. 2019). Segundo Tucci (2007), as bacias de retenção, quando utilizadas junto a parques de modo integrado permitem um bom ambiente recreacional. Uma prática comum é o dimensionamento de uma área com lâmina d'água para escoar uma cheia com TR de dois anos e utilizar áreas com paisagismo e campos de esporte para as cheias acima da cota atingida com tempos de retorno superiores. Quando essas áreas forem utilizadas, se realiza a limpeza da área atingida sem que ocasione danos maiores a montante e a jusante.

Quando os reservatórios de detenção são projetados para controle de vazão, seu esvaziamento ocorre em até seis horas e não interfere significativamente na remoção de poluentes, se projetado para detenção de 12 a 60 horas, pode haver melhora na remoção de poluentes (URBONAS e ROESNER, 1994, apud TUCCI, 2007).

Além da classificação em função da existência de lâmina d'água após a utilização, as estruturas podem ser classificadas em função de sua localização em

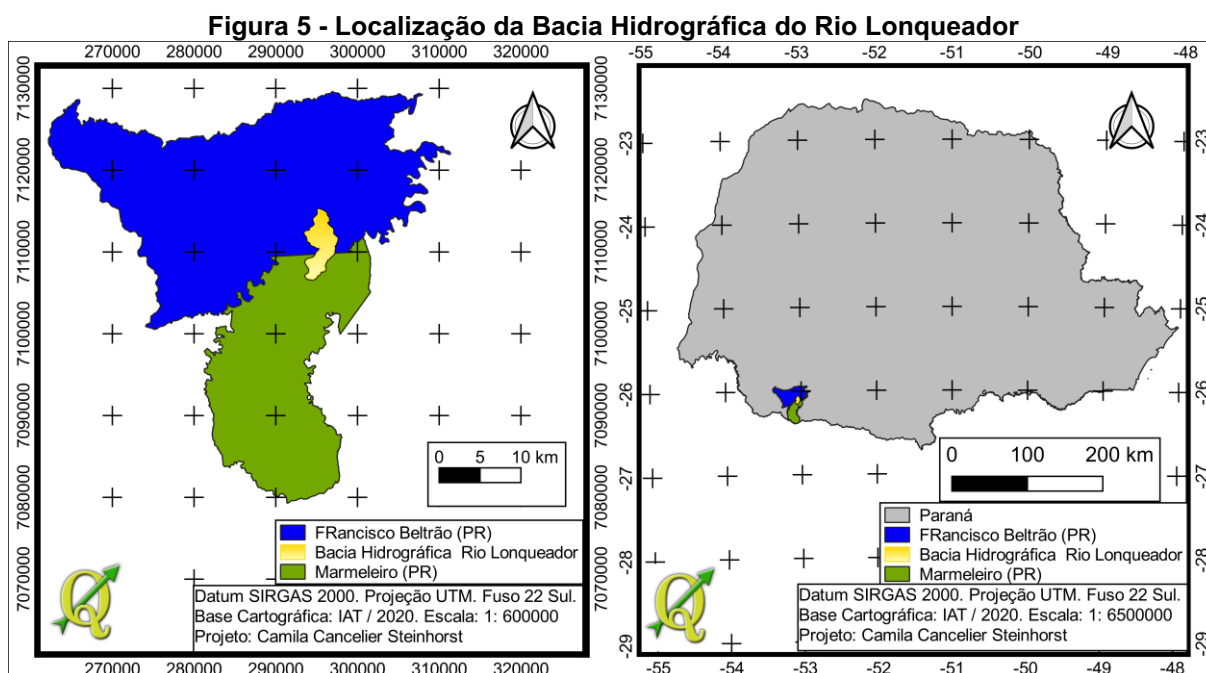
relação ao sistema de drenagem. Estruturas do tipo in-line são localizadas junto ao sistema de drenagem, onde ele passa pelo local do reservatório, estruturas off-line são localizadas de forma anexa ao sistema de drenagem, onde o reservatório recebe somente o excedente da rede de drenagem (ARMELIN, 2011)

Os reservatórios “off-line” podem funcionar automaticamente ou por gravidade, quando a vazão inicia o processo de inundação do reservatório e retorna para o sistema por gravidade. Quando a cota do reservatório, em razão do dimensionamento do mesmo está localizada em cota mais baixa que a cota do sistema de drenagem, para seu esgotamento é necessário a realização de bombeamento (TUCCI, 2007).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de estudo: bacia hidrográfica do Rio Lonqueador

Localizada entre os municípios de Francisco Beltrão e Marmeleiro (Figura 5), Sudoeste do Paraná, a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador foi estudada para reduzir a probabilidade de ocorrência de inundação na área urbana do município de Francisco Beltrão (PR).



Segundo a classificação de Köppen, o clima da região em análise é do tipo Subtropical Úmido – Cfa, apresenta pluviosidade anual média de 1900 mm, sendo o período mais chuvoso nos meses de verão, dezembro a fevereiro, e o período mais seco nos meses de inverno, junho a agosto. A média da temperatura anual fica em torno de 21 oC, sendo o mês mais quente janeiro, podendo atingir médias de 26 oC, e o mês mais frio julho, tendo uma média de 16 oC (IAPAR, 2000).

Todos os mapas geoespaciais e dados vetoriais em formato Shapefile e imagens em formato raster utilizados na análise hidráulico-hidrológica em questão foram processados no programa Qgis 3.14.15 com o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000, projeção UTM, zona 22 S.

Para a caracterização da área de estudo, os dados hidrológicos (ex.: área, perímetro, comprimento do talvegue) foram determinados pelo processamento geoespacial dos dados vetoriais da área de drenagem e dos trechos de rio da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu (862) procedente da Rede Hidrográfica Ottocodificada do Estado do Paraná, disponibilizados em formato ESRI Shapefile pelo Instituto de Águas e terras (IAT, 2020).

Para a localização da área, os limites municipais utilizados no trabalho são procedentes dos arquivos de Divisão Político-Administrativa do Estado do Paraná de 2020 disponibilizado pelo Instituto de Águas e terras (IAT, 2020) e o limite nacional a partir da Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de 2021 (IBGE, 2021), em formato Shapefile.

Por meio do arquivo tipo de solo do Estado do Paraná em formato Shapefile (EMBRAPA/EMATER, 1999 apud IAT,2020), os dados vetoriais de tipo de solo da bacia hidrográfica do rio Lonqueador foram processados e representados em mapa temático geoespacial.

Para a representação geoespacial da declividade e da hipsometria da área foi utilizado o MDE do satélite Alos Palsar de 26/04/2011 em formato raster com resolução espacial de 12,5 m. A classificação dos valores de declividade foi de acordo com a Tabela 1 - Classes de relevo versus percentual declividade (INCRA, 2006) e a declividade predominante estimada por meio da média ponderada da declividade com a área.

Tabela 1 - Classes de relevo versus percentual declividade

Classe de Relevo	Declividade (%)
Plano	0 - 2
Suave Ondulado	2 - 5
Ondulado	5 - 10
Moderadamente Ondulado	10 - 15
Fortemente Ondulado	15 - 45
Montanhoso	45 - 70
Escarpado	70 - 100

Fonte: INCRA (2006)

A área urbana e rural dos municípios de Francisco Beltrão (PR) e Marmeleiro (PR) foi verificada pelo arquivo de dados vetoriais em formato Shapefile disponibilizado pelos respectivos municípios.

5.2 Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica

Para auxiliar na compreensão da dinâmica hidráulico-hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador e das áreas de contribuição dos reservatórios propostos neste estudo, a tendência a enchentes nestas áreas foi verificada por meio da classificação de parâmetros relacionados a geometria, o relevo e as características físicas de drenagem, conforme enumerado:

- 1) Área de drenagem (A): É a área de drenagem inclusa entre os divisores topográficos (VILLELA E MATTOS, 1975).
- 2) Coeficiente de compacidade (kc): É a relação entre o perímetro da bacia (P) e o comprimento da circunferência de um círculo de área igual à da bacia, de acordo com a Equação 1 (VILLELA E MATTOS, 1975).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação 1}$$

- 3) Índice de Circularidade (IC): É a relação entre a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia, de acordo com a Equação 2 (CARDOSO *et al.*, 2006).

$$IC = \frac{12,57 A}{P^2} \quad \text{Equação 2}$$

- 4) Fator de Forma: É a razão entre a área de bacia (A) e o quadrado de seu comprimento axial (L) medido ao longo do curso d'água principal, do exutório à cabeceira mais distante, de acordo com a Equação 3 (VILLELA E MATTOS, 1975).

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Equação 3

- 5) Ordem dos cursos de água: É uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Segundo a metodologia de Strahler (1952), canais de primeira ordem são os que não recebem tributários e quando dois rios de mesma ordem se juntam, estes formam um rio de ordem superior. Assim, a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia (VILLELA E MATTOS, 1975).
- 6) Densidade de drenagem: É a relação entre o comprimento total de rios ou canais e a respectiva área da bacia hidrográfica, de acordo com a Equação 4 (VILLELA E MATTOS, 1975).

$$D_d = \frac{\sum L}{A}$$

Equação 4

- 7) Declividade do talvegue (S): Consiste em relacionar a diferença entre as altitudes do início do talvegue (z_{100}) e do exutório (z_0) pelo seu comprimento (L), de acordo com a Equação 5 (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

$$S = \frac{z_{100} - z_0}{L}$$

Equação 5

- 8) Tempo de Concentração (t_c): É o intervalo de tempo em minutos contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção em estudo (PINTO *et al.*, 1976). A Equação de Kirpich é uma das mais utilizadas para esta estimativa, Equação 6 (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

Equação 6

Sendo que: Δh é a diferença de altitude (metros) ao longo do curso d'água principal medido com GPS RTK Topcon Hiper Lite+.

5.3 Chuva intensa – equação IDF (Intensidade- duração – frequência)

Como o estudo das vazões decorrente de precipitações em centros urbanos depende da quantificação das águas precipitadas para depois adotar medidas que auxiliem no controle deste acréscimo e evite a ocorrência das inundações (SEIBT *et*

al., 2012), inicialmente o valor da chuva intensa foi estimado pela curva IDF (intensidade - duração – frequência).

A equação IDF utilizada com seus parâmetros regionalizados para Francisco Beltrão e Marmeleiro (DENARDIN e FREITAS, 1982) foi utilizada para relacionar a intensidade da chuva intensa (I_m) com seu tempo de duração e a frequência de ocorrência (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013), de acordo com a Equação 7.

$$I_m = \frac{1012,28 \cdot TR^{0,182}}{(t_d + 9)^{0,76}} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

t_d : É a duração da precipitação (minutos);

TR: Tempo de recorrência.

Consoante ao projeto de macrodrenagem, o TR considerado foi de 100 anos. Em concordância com o evento de chuva intensa analisado também foi estabelecido que a duração da chuva (t_d) seja igual ao seu tempo de concentração para que todos os pontos da bacia contribuam na formação do deflúvio e para que a intensidade da chuva não diminua com o aumento de sua duração (DNIT, 2005).

5.3.1 Distribuição temporal da chuva intensa – Método de HUFF

Na sequência, para a definição da chuva de projeto a partir de uma relação IDF foram realizados os procedimentos de distribuição temporal da chuva intensa (SCHUSTER, 2014) em intervalos de tempo menores que a sua duração (blocos de chuva).

O método de Huff (1967) foi utilizado neste trabalho para determinar o instante de tempo inicial de cada bloco de chuva e a sua altura precipitada por meio da associação dos valores unitários padronizados (Tabela 2 - Distribuições temporais de chuva pelo Método de Huff (1º quartil)) para um tempo de duração máximo de chuva intensa menor que 12 horas (1º quartil) com t_d e I_m (CANHOLI, 2014; HUFF, 1990).

O Método de Huff apresenta quatro distribuições para chuvas intensas, onde cada distribuição foi nomeada como Quartil, para casos de chuvas intensas menores que 12 horas, podem ser aplicados o 1º Quartil e o 2º Quartil, para bacias semelhantes a

bacia do estudo, se aplicam valores de referência conforme os dados apresentados na Tabela 2, os quais foram obtidos através da interpretação do gráfico do 1º Quartil.

Tabela 2 - Distribuições temporais de chuva pelo Método de Huff (1º quartil)

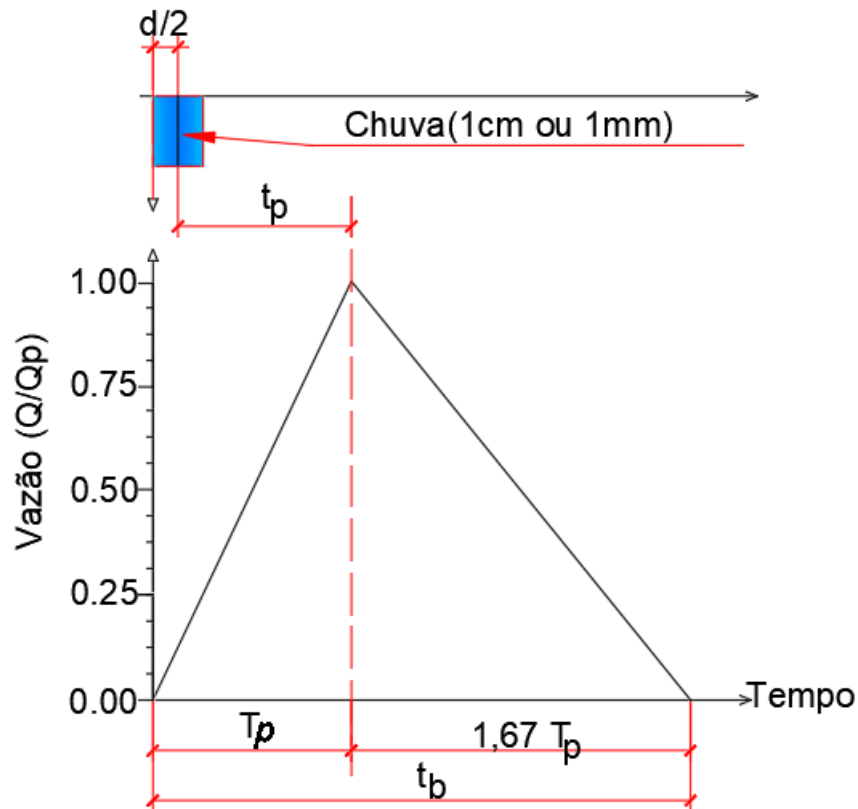
Tempo (%)	Precipitação (%)	Tempo (%)	Precipitação (%)
0	0	0,55	0,84
0,05	0,16	0,6	0,86
0,1	0,33	0,65	0,88
0,15	0,43	0,7	0,9
0,2	0,52	0,75	0,92
0,25	0,6	0,8	0,94
0,3	0,66	0,85	0,96
0,35	0,71	0,9	0,97
0,4	0,75	0,95	0,98
0,45	0,79	1	1
0,5	0,82		

Fonte: Huff (1990)

5.4 Hidrograma unitário sintético triangular - HUT

A análise da chuva intensa foi realizada com a utilização de HUT, de acordo como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Forma do hidrograma unitário sintético triangular do SCS – HUT



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013)

Preliminarmente, os valores de tempo de base (T_b), tempo de subida do hidrograma (T_p) e vazão de pico (q_p) do HUT foram determinados para uma chuva de 1 cm com as Equações Equação 8, Equação 9, Equação 10 e Equação 11 do método SCS (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013). Sendo que, T_p foi estimado como o tempo de pico (t_p) mais a metade da duração do bloco de chuva (d), estabelecido como 0,1 horas.

$$t_p = 0,6 t_c \quad \text{Equação 8}$$

$$T_p = t_p + \frac{d}{2} \quad \text{Equação 9}$$

$$T_b = t_p + 1,67 t_p \quad \text{Equação 10}$$

$$q_p = \frac{2,08 A}{T_p} \quad \text{Equação 11}$$

5.5 Precipitação efetiva – SCS

Para separar o escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo e determinar a magnitude da chuva efetiva foi utilizado o método SCS (NRCS, 1986), que considera a Equação da Continuidade para o balanço hídrico da superfície do solo (Equação 12), e duas hipóteses relacionadas à capacidade de armazenamento de água no solo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

$$P = I_a + F + Q \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

P: Precipitação ocorrida ao longo de uma chuva (mm);

I_a: São as perdas iniciais, que incluem acúmulo de água na superfície, interceptação e infiltração no solo antes do início da geração de escoamento superficial (mm);

F: Infiltração acumulada ao longo do evento de chuva (mm);

Q: Chuva efetiva ou escoamento superficial ao longo do evento (mm).

Hipótese 1: A razão entre o escoamento superficial (Q) e o escoamento superficial máximo potencial (P - I_a) é igual a razão entre a infiltração acumulada no solo (F) e a máxima infiltração acumulada potencial (S), como apresentado na Equação 13.

$$\frac{Q}{(P - I_a)} = \frac{F}{S} \quad \text{Equação 13}$$

Hipótese 2: As perdas iniciais (I_a) correspondem a 20% da capacidade máxima de armazenamento de água no solo (S), de acordo com a Equação 14.

$$I_a = 0,2 S \quad \text{Equação 14}$$

Assim, a Equação 15, resultante da combinação das Equações Equação 13 e Equação 14 (NRCS, 1986; LIMA, SILVA E RAMINHOS, 2006) foi utilizada para estimar o escoamento superficial (chuva efetiva) a partir dos dados de vazão e

características da bacia.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}, \text{ se } P \geq Ia$$

Equação 15

Em que:

Q: Chuva efetiva (mm);

P: Precipitação acumulada ou precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva (escoamento potencial máximo, mm);

S: Capacidade máxima de armazenamento de água no solo (mm);

Ia: São as perdas iniciais, que incluem acúmulo de água na superfície, interceptação e infiltração no solo antes do início da geração de escoamento superficial (mm).

A capacidade de armazenamento (S) da bacia hidrográfica e suas áreas de contribuição dos reservatórios propostos foi determinada pela relação empírica do método que estabelece sua correlação com um índice denominado de curve number (CN), de acordo com a Equação 16 (NCRS, 1986; CANHOLI, 2014).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Equação 16

5.5.1 Classificação hidrológica dos solos

Para a determinação do valor de CN, compreendido entre 0 e 100, valores tabelados por Tucci (2012) e relacionados a grupos hidrológicos de solos (A, B, C e D) com diferentes condições de cobertura e ocupação do solo foram utilizados.

Logo, cada tipo de solo da bacia hidrográfica foi classificado de acordo com os critérios de cada grupo hidrológico de solos (NRCS, 1986):

Grupo A: Solos com baixo potencial de escoamento, alta taxa de infiltração quando completamente molhados e com boa drenagem.

Grupo B: Solos com moderada taxa de infiltração quando saturados, moderadamente profundos, variam de moderadamente a bem drenados, com textura fina a relativamente grossa.

Grupo C: Solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados com textura moderadamente fina.

Grupo D: Solos que possuem alto potencial de escoamento e taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos extremamente argilosos.

O uso e ocupação do solo da área rural da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador foi determinado por meio do processamento da imagem do Satélite CBERS 04A de 06/03/2022, colorida (bandas 3,2,1) e fusionada com a banda pancromática, em formato raster e resolução espacial de dois metros. Para a área urbana do estudo, o uso e ocupação do solo foi definido de acordo com o zoneamento urbano de Francisco Beltrão, pela Lei Municipal 4.612/2018 (2018) e de Marmeleiro pelas Leis Municipais 1.382/2007 e 1.550/2009 e relacionado com sua taxa de ocupação máxima. Conforme Canholi (2014), o desenvolvimento urbano se dá de jusante para montante, tal consideração foi aplicada para consideração de urbanização máxima a montante da área já urbanizada.

Em áreas de ocupação controlada e áreas de restrição de ocupação identificadas no Mapa de Zoneamento de Francisco Beltrão, não existe taxa de ocupação previamente definida e as aprovações para execução de construções passam pela autorização do Conselho da Cidade, sendo que normalmente as construções liberadas apresentam uma taxa muito inferior a 40%. Por esta razão e por não existir representação de CN para este tipo de ocupação, esta área foi considerada como área urbanizada em zona residencial, com uma taxa de ocupação máxima de 40%.

O uso e ocupação do solo urbano da bacia hidrográfica com características residenciais mas com valor diferente do percentual médio impermeável dos apresentados por Tucci (2012) - Tabela 3, tiveram seus valores de CN interpolados de acordo com seu percentual da taxa de ocupação - Tabela 4.

Tabela 3 - Valores de CN para Zona Residencial

Lotes (m ²)	% Médio Impermeável	Grupos Hidrológicos			
		A	B	C	D
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84

Fonte: Tucci (2012)

Tabela 4 - Equações de interpolação de CN em função da taxa de ocupação máxima para Zona Residencial para cada grupo hidrológico de solo

Grupos Hidrológicos	Equação de Interpolação
A	$CN = 0,5751 * Taxa_Ocupação + 39,527$
B	$CN = 0,3762 * Taxa_Ocupação + 60,606$
C	$CN = 0,2475 * Taxa_Ocupação + 73,788$
D	$CN = 0,1755 * Taxa_Ocupação + 80,553$

Em que: Taxa_Ocupação é a taxa de ocupação máxima.

Fonte: Aatoria própria (2022)

Portanto, os valores de CN utilizados no trabalho estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Valores de CN da área rural da bacia hidrográfica do rio Lonqueador

Município (PR)	Uso e Ocupação do Solo	A	B	C	D
Francisco Beltrão Marmeleiro	FLORESTAL	36	60	70	76
	LAVOURA	60	71	79	82
	PERMANENTE				
	PASTAGEM	25	59	75	83

Fonte: Adaptado de Tucci (2012)

Tabela 6 - Valores de CN da área rural da bacia hidrográfica do rio Lonqueador

Município	Zoneamento	Taxa_Ocupação	Uso e Ocupação Tucci (2012)	Grupo Hidrológico				
				A	B	C	D	
FRANCISCO BELTRÃO	Área de Proteção de matas	APM	100	Florestais: Cobertura boa	25	55	70	77
	Área de Proteção Permanente	APP	100	Florestais: Cobertura boa	25	55	70	77
	Área de uso Institucional	AUI	90	Interpolado (Tabela 4)	91	94	96	96
	Arruamento		100	Arruamentos e estradas asfaltadas com drenagem	98	98	98	98
	Macrozona de ocupação controlada	MZOC	40	Interpolado (Tabela 4)	63	76	84	88
	Macrozona de restrição de ocupação	MZRO	40	Interpolado (Tabela 4)	63	76	84	88
	Zona central Dois	ZC 2	90	Interpolado (Tabela 4)	91	94	96	96
	Zona central Um	ZC 1	95	Interpolado (Tabela 4)	94	96	97	97
	Zona de comercio e Serviços	ZCS	95	Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
	Zona de Serviços e Indústria	ZSI	70	Zonas industriais	81	88	91	93
	Zona de uso misto	ZUM	90	Interpolado (Tabela 4)	91	94	96	96
	Zona de uso residencial um	ZR 1	80	Interpolado (Tabela 4)	86	91	94	95
MARMELEIRO	Zona de expansão urbana	ZEU	40	Interpolado (Tabela 4)	63	76	84	88
	Área Urbanizada <500			Zonas residenciais com lote < 500 m ² e 65% de média impermeável	77	85	90	92

Em que: Taxa_Ocupação é a taxa de ocupação máxima.

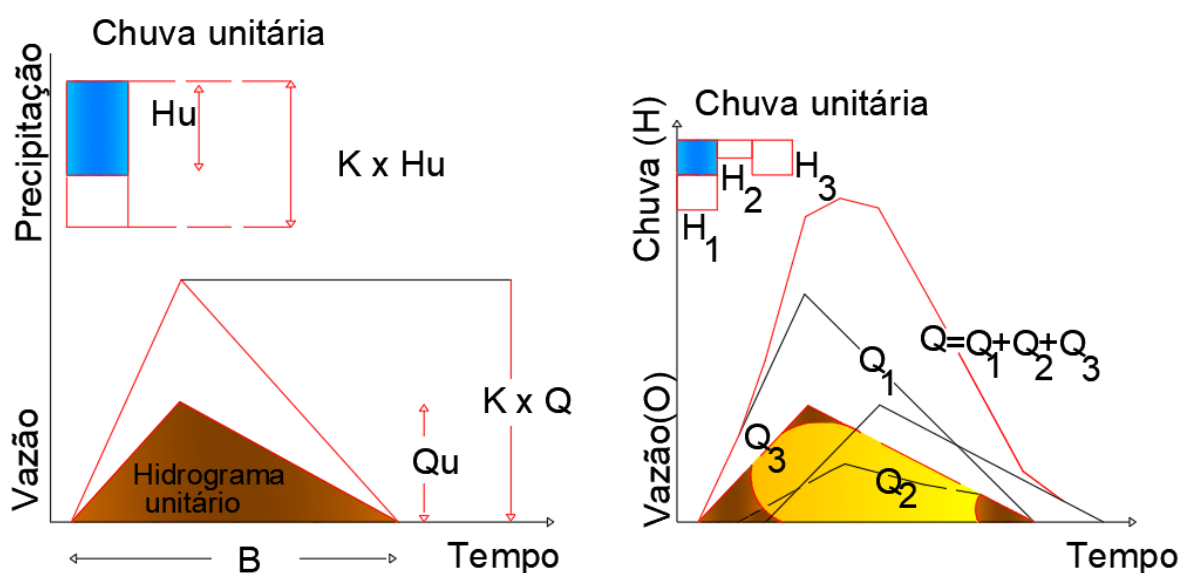
Fonte: Adaptado de Tucci (2012), Francisco Beltrão PR (2018) e Marmeleiro PR (2007)

5.6 Hidrograma de projeto

A construção do hidrograma de projeto teve dois princípios como base (Figura 7 - Hidrograma unitário: princípio da proporcionalidade e da superposição), (CANHOLI, 2014):

- 1) Princípio da proporcionalidade: A chuva efetiva de cada bloco parcial é proporcional à chuva unitária e possibilita determinar a sua vazão de pico;
- 2) Princípio da superposição: A convolução dos deflúvios (somatório das ordenadas) de cada hidrograma triangular parcial resulta nas vazões do hidrograma de projeto.

Figura 7 - Hidrograma unitário: princípio da proporcionalidade e da superposição



Fonte: Canholi (2014)

Nos casos de determinação do hidrograma de projeto de reservatório a jusante de outro, a vazão afluente considerada foi a vazão de sua área de contribuição somada com a vazão efluente do reservatório a montante, sendo que o tempo de escoamento deste até o reservatório a jusante foi estimado com a Equação da Continuidade (Equação 17) e a Equação da velocidade média de escoamento da água (Equação 18).

$$Q = A V$$

Equação 17

Em que:

Q: Vazão crítica do canal (m³/s);

A: Seção média do canal (m²);

V: Velocidade média de escoamento da água (m/s).

$$V = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Equação 18

Em que:

ΔL : Comprimento do talvegue entre o reservatório a montante e o a jusante (m);

Δt : Tempo médio de escoamento da água entre o reservatório a montante e o a jusante (s);

5.7 Método de Puls - Level Pool Routing

O dimensionamento dos reservatórios de contenção foi realizado por meio de simulações hidráulicas matemáticas de amortecimento de cheias pelo método de Puls (*Level Pool Routing*) com as variáveis hidrograma de projeto, as características físicas do reservatório (curva cota x volume) e a curva (cota x vazão) da estrutura de controle de saída para obtenção do hidrograma das vazões efluentes e o volume armazenado (CANHOLI, 2014).

As simulações realizadas têm fundamento na Teoria da Conservação da Massa e foi utilizado a Equação da Continuidade (Equação 19) definida em intervalos de tempo parciais à duração da chuva para determinar o volume de armazenamento do reservatório de contenção (NEH, 2014).

$$\Delta t (\bar{I} - \bar{O}) = \Delta S$$

Equação 19

Em que:

\bar{I} : Vazão afluente média no intervalo de tempo Δt ;

\bar{O} : Vazão efluente média no intervalo de tempo Δt ;

Δt : Intervalo de tempo $t_2 - t_1$ (h);

ΔS : Variação do volume armazenado no intervalo de tempo Δt .

Assim, o volume dos reservatórios foi definido com o método de Puls pelo valor respectivo à vazão efluente que atende às restrições de vazão das seções a jusante.

O valor limite para o escoamento nas seções de restrição foi determinado de acordo como sugerido pelo DNIT (2006), para um regime de escoamento crítico, com a Equação 20, para bueiros tubulares de concreto, e a Equação 21, para bueiros celulares de seção retangular.

$$Q_c = 1,533 D^{2,5} \quad \text{Equação 20}$$

$$Q_c = 1,705 B H^{1,5} \quad \text{Equação 21}$$

Em que:

D: Diâmetro do bueiro tubular (m);

B: Base do bueiro retangular (m);

H: Altura do bueiro retangular (m).

5.7.1 Reservatórios

Os locais de implantação dos reservatórios para o controle de cheias no estudo foram definidos em função das áreas municipais disponíveis e de áreas com características topográficas naturais propícias para um reservatório, mesmo que dependa de desapropriação, mas que dependa apenas da construção da barragem e que permita operar por gravidade para não necessitar de sistema de bombeamento.

Por meio do levantamento da altitude de pontos localizados, na área de inundação dos reservatórios propostos, com a utilização de GPS RTK Topcon Hiper Lite+ foi determinado as características dos reservatórios, como cota de fundo e de crista e formato. A cota de fundo do rio foi considerada como limite para a profundidade dos reservatórios. Estradas e construções existentes foram consideradas como limitantes na análise da cota de crista. Assim, o volume de cada reservatório foi determinado no programa AutoCad e depois relacionado com sua altitude para determinação da curva cota x volume.

5.7.2 Descarregador de fundo

A estrutura considerada como descarregador de fundo no trabalho foi tubular de concreto e sujeita a descarga livre com a sua vazão calculada pelo processo expedito, de acordo com a Equação 22 (NETTO, FERNANDEZ e ARAÚJO, 1998). Na sequência, a curva cota x vazão do vertedouro foi relacionada.

$$Q = C_d A \sqrt{2 g (H - H_s)} \quad \text{Equação 22}$$

Em que:

Q: Vazão do descarregador de fundo (m³/s);

C_d: Coeficiente de descarga (0,65);

A: Área da seção transversal do descarregador de fundo (m²);

g: Aceleração da gravidade (9,8 m/s²);

H: Altura da lâmina de água acima da soleira do descarregador de fundo (m);

H_s: Altura da soleira do descarregador de fundo, considerada no eixo de simetria vertical do descarregador de fundo (m).

5.7.3 Vertedor de crista

O vertedor de crista só será acionado caso a precipitação de projeto supere o tempo de recorrência de 100 anos, foi projetado como um vertedor de emergência, com objetivo de direcionar o volume excedente de água para um local com controle e dissipação de energia.

Nos reservatórios, o vertedouro retangular de parede delgada foi considerado para controle do excesso de água armazenada de forma segura para jusante. Sua vazão foi determinada pela fórmula de Francis, de acordo com a Equação 23 (NETTO, FERNANDEZ e ARAÚJO, 1998).

$$Q = K L (H - H_s)^{1,5} \quad \text{Equação 23}$$

Em que:

Q: Vazão do vertedouro retangular ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

K: Coeficiente de descarga (1,8);

L: Largura do vertedouro (m);

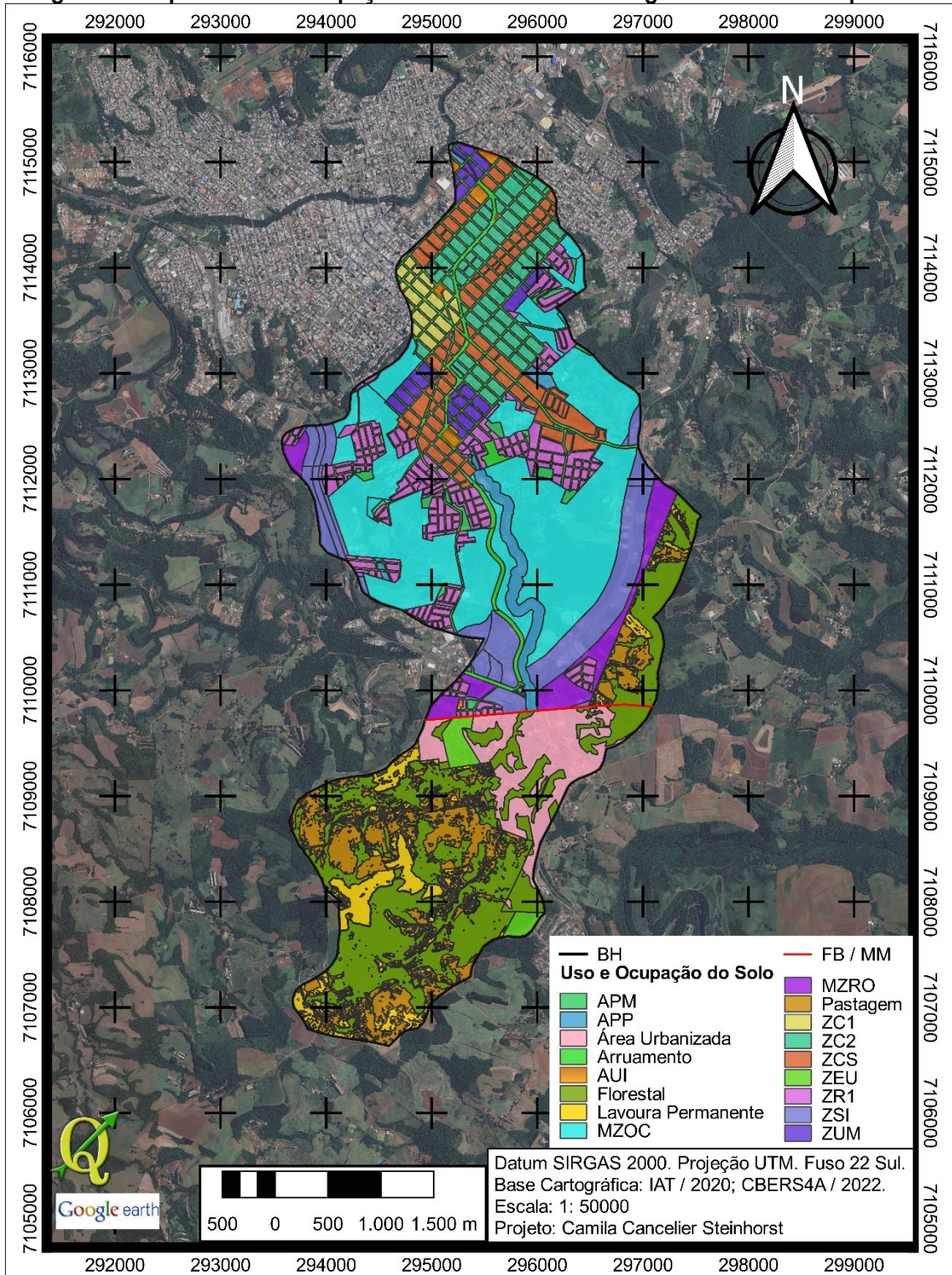
H: Altura da lâmina de água acima da soleira do vertedouro (m);

H_s: Altura da soleira do vertedouro (m).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Lonqueador está em constante desenvolvimento urbano com 63% de sua área dentro do perímetro urbano do município de Francisco Beltrão (PR) e 7% em Marmeleiro (PR). Em sua área rural, o uso e ocupação do solo predominante é com florestas, campos e áreas agricultáveis, de acordo com a Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.

Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador

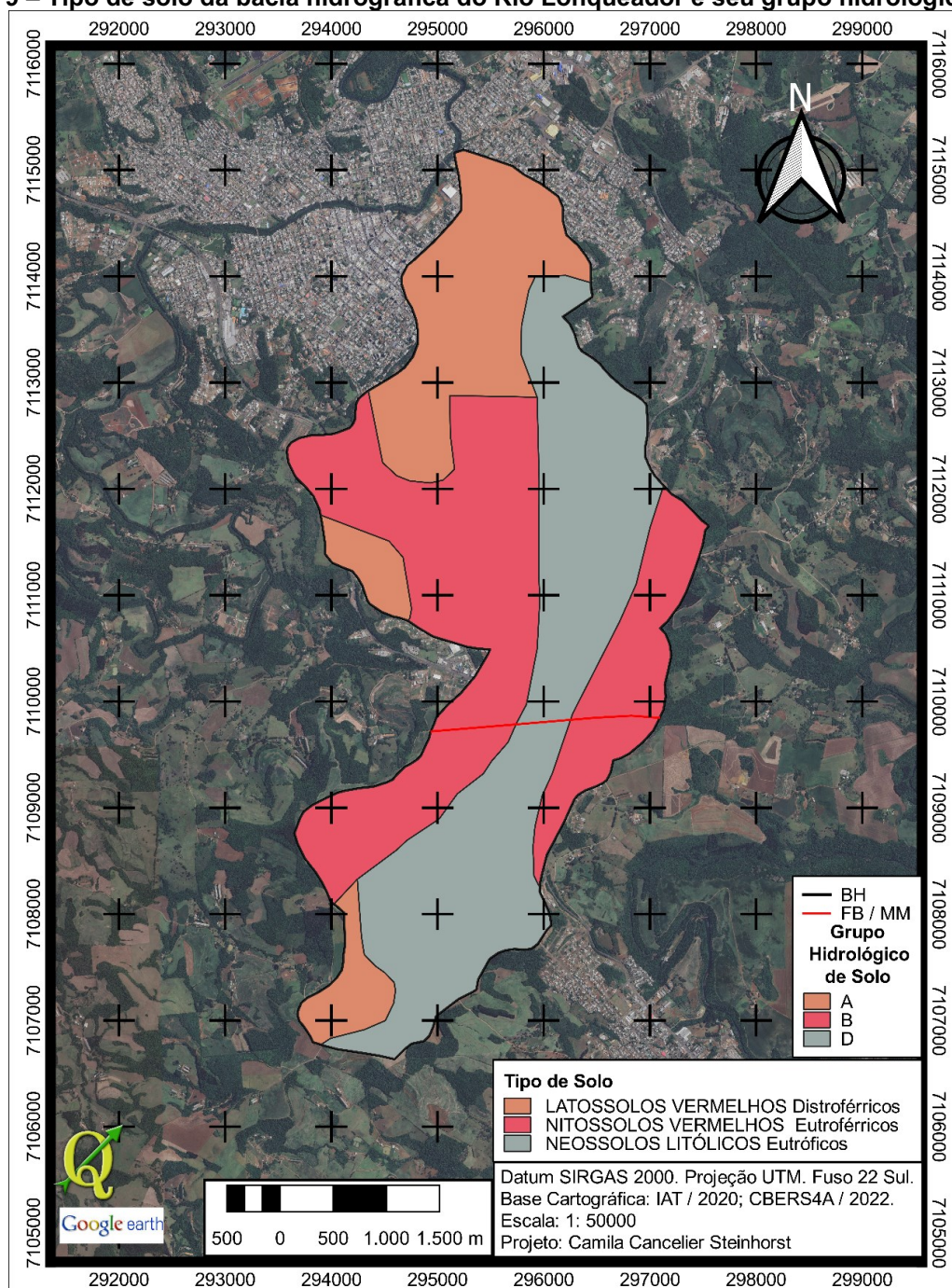


Em que: APM é a área de proteção de matas; APP é a área de preservação permanente; AUI é a área de uso institucional; MZOC é a macrozona de ocupação controlada; MZRO é a macrozona de restrição de ocupação; ZC1 é a zona central 1; ZC2 é a zona central 2; ZCS é a zona de comércio e serviços; ZEU é a zona de expansão urbana; ZR1 é a zona de uso residencial 1; ZSI é a zona de serviços e indústria; ZUM é a zona de uso misto; BH é a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador; FB / MM é o limite municipal entre Francisco Beltrão e Marmeleiro na BH.

Fonte: Autoria própria (2022)

O tipo de solo encontrado na área em estudo (IAT, 2020) e seu grupo hidrológico correspondente, citado por ALVIM (2020) e também, de acordo com a classificação hidrológica de Sartori, Neto e Genovez (2005), estão apresentados na Figura 9 – Tipo de solo da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador e seu grupo hidrológico.

Figura 9 – Tipo de solo da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador e seu grupo hidrológico



Em que: BH é a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador; FB / MM é o limite municipal entre Francisco Beltrão e Marmeleiro na BH.

Fonte: Autoria própria (2022)

6.1 Localização dos reservatórios

Os locais propícios para a implantação dos reservatórios de contenção de cheias no município de Francisco Beltrão nas proximidades do rio Lonqueador foram propostos para análise hidráulico-hidrológica no trabalho, como apresentado na Tabela 7.

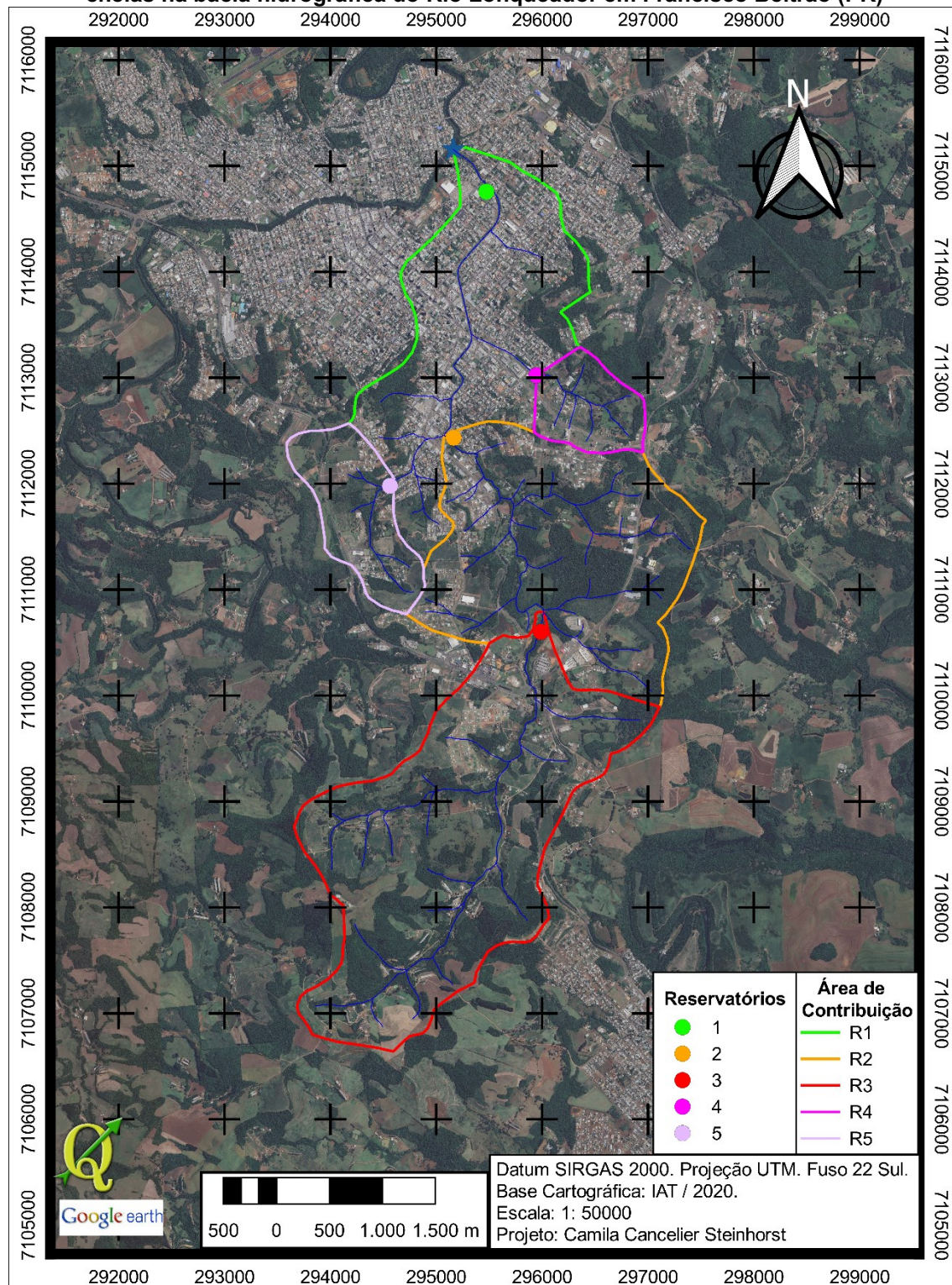
Tabela 7 - Locais propostos para estudo de implantação dos reservatórios de contenção de cheias na bacia hidrográfica do rio Lonqueador em Francisco Beltrão (PR)

Reservatório	Local	Utilidade	Característica
R01	Complexo Esportivo Arrudão - Bairro Presidente Kennedy	Campo de Futebol (gramado)	Público
R02	Complexo Esportivo João Cantu – Bairro São Cristóvão	Pista de Atletismo com campo gramado	Público
R03	Bairro Água Branca	Área de Vegetação Remanescente	Privado
R04	Parque Ambiental Boa Vista	Lago com Pista de Caminhada	Público
R05	Bairro São Cristóvão	Campo Gramado	Privado

Fonte: Autoria própria (2022)

A área de contribuição de cada reservatório proposto foi delimitada na bacia hidrográfica do rio Lonqueador e apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Locais propostos para estudo de implantação de reservatórios de contenção de cheias na bacia hidrográfica do Rio Lonqueador em Francisco Beltrão (PR)



Fonte: Autoria própria (2022)

Para melhor compreender a dinâmica dos processos hidrológicos destas áreas e a tendência a enchentes, os fatores morfométricos e o parâmetro hidrológico CN foram determinados e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador e das áreas de contribuição de cada reservatório proposto para estudo

Característica	Área de Contribuição					
	BH Rio Lonqueador	R01	R02	R03	R04	R05
Área (km ²)	17,553893	4,141840	4,813393	6,629152	0,764785	1,204901
Perímetro (km)	24,103	10,935	9,856	12,724	3,393	4,892
Comprimento do talvegue (m)	10639	4278	2463	5006	1109	1348
Altitude Mais Alta (m)	709,72	552,00	575,68	709,72	659,10	630,70
Altitude Mais Baixa (m)	545,95	547,50	552,00	575,68	584,35	570,81
Declividade predominante (%)	28,7	22,4	28,9	31,7	38,0	26,6
Fator de Forma (K _f)	0,16	0,23	0,79	0,26	0,62	0,66
Coefficiente de Compacidade (k _c)	1,61	1,50	1,26	1,38	1,09	1,25
Índice de Circularidade (IC)	0,38	0,44	0,62	0,51	0,84	0,63
Declividade do talvegue (m/m)	0,015	0,001	0,010	0,027	0,067	0,044
Comprimento da Rede Drenagem (m)	45664	7733	15634	16255	3503	2539
Densidade de Drenagem - D _d - km/km ²	0,24	1,87	3,25	2,45	4,58	2,11
Hierarquização Fluvial (Strahler - 1952)	4	4	4	3	2	2
Tempo de concentração - Kirpich (min)	123	171	48	56	12	17
CN	77	89	71	72	91	84

Fonte: Autoria própria (2022)

Segundo Collishonn e Dornelles (2013), a área de uma bacia hidrográfica define a sua potencialidade hídrica. Portanto, a área contribuinte do reservatório R03 tem influência significativa nas inundações urbanas a jusante devido a sua contribuição na captação de água da chuva a montante (6,629152 km²).

Segundo Vilela (1975), a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o K_c, devido a bacia hidrográfica se aproximar de uma área circular. Tal condição é verificada na área contribuinte do reservatório R04, o que caracteriza a sua tendência a enchentes.

Simultaneamente ao K_c, o IC tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (CARDOSO *et al.*, 2006), o que é verificado nos resultados de maneira correspondente ao K_c.

Neste contexto, o formato mais circular de uma bacia causaria uma natural concentração temporal do escoamento superficial, já que o escoamento de um grande número de afluentes tenderia a chegar mais ou menos ao mesmo tempo ao exutório (COLLISHONN e DORNELLES, 2013).

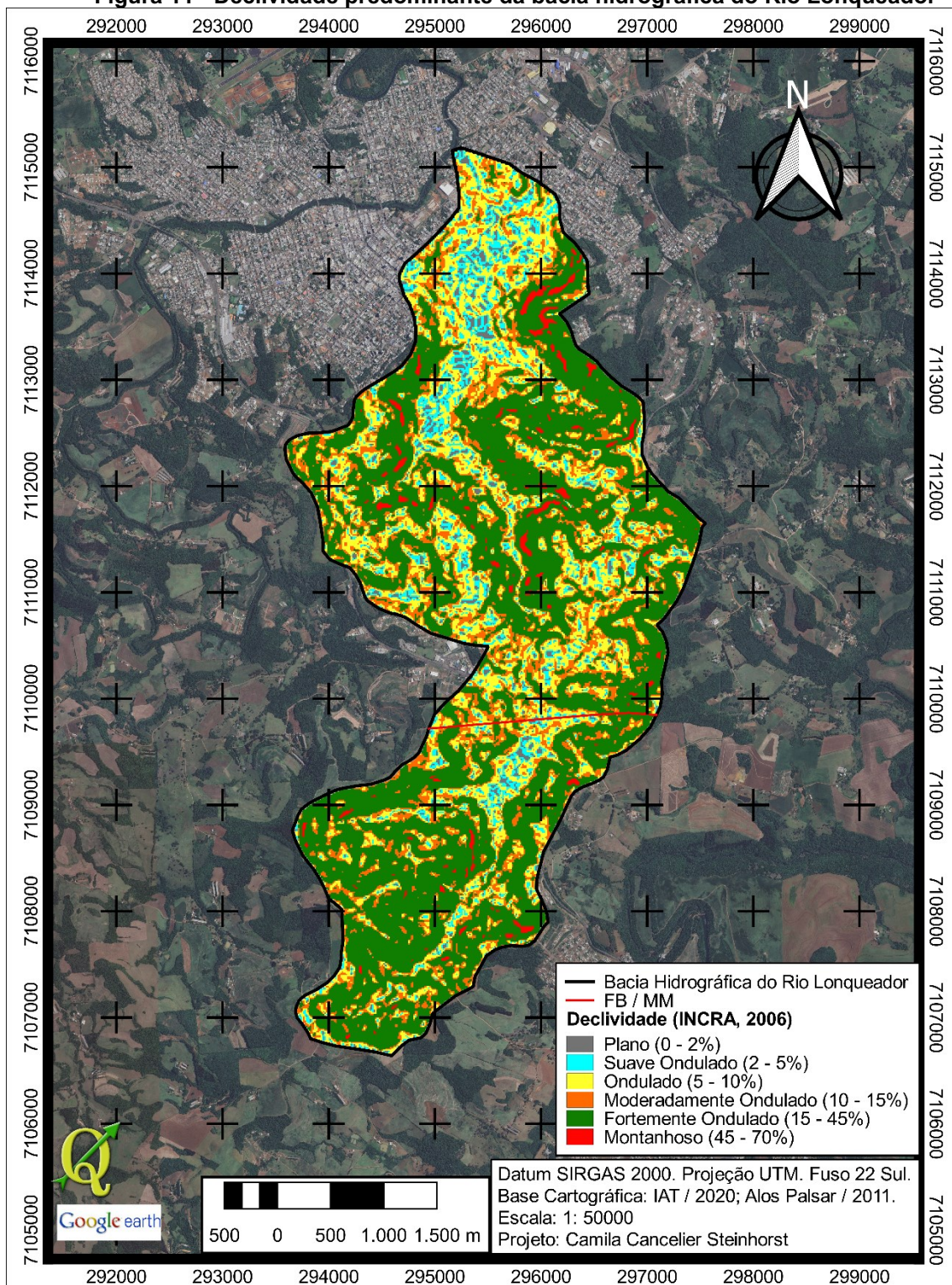
A redução dos valores de declividade do talvegue das áreas de contribuição dos reservatórios R03, R04 e R05 para R02 e R01 indicou possibilidade de o escoamento da água precipitada ser mais rápido a montante que a jusante, com sua atenuação na zona urbana já desenvolvida.

Segundo Vilela (1975), a densidade de drenagem de bacias hidrográficas varia de 0,5 km/km² a 3,5 km/km², de drenagem pobre a excepcional respectivamente. A densidade de drenagem em conjunto com a forma da bacia e a declividade da área de contribuição do R04 corroboram a tendência a enchentes devido ao maior escoamento proporcionado, o que influencia de forma direta nas ocorrências de inundação da área de contribuição do R01 a jusante.

A discrepância do tempo de concentração da área contribuinte do reservatório R01 em relação às demais áreas do estudo designa sua maior tendência a enchentes devido o escoamento ser mais rápido a montante que a jusante, com cenário acentuado devido possuir trechos de rio com maior ordem de Strahler e ter menor densidade de drenagem.

Segundo a classificação do INCRA (2006), a declividade predominante de todas as áreas do estudo é fortemente ondulada, de 15 a 45% (Figura 11 - Declividade predominante da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador), o que contribui para um maior escoamento, como também pode ser visualizado na Figura 12 – **Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.**

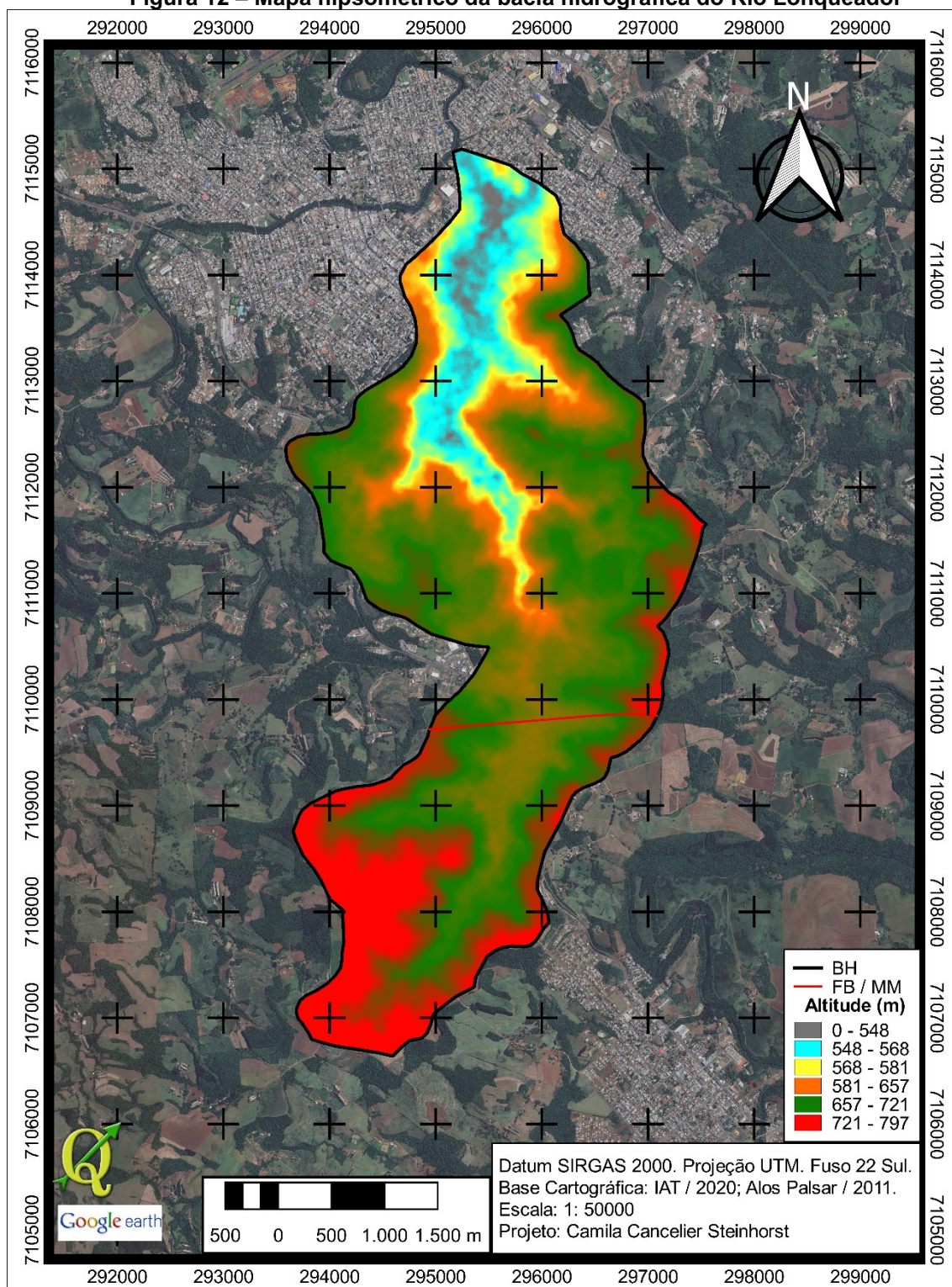
Figura 11 - Declividade predominante da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador



Em que: BH é a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador; FB / MM é o limite municipal entre Francisco Beltrão e Marmeleiro na BH.

Fonte: Autoria própria (2022)

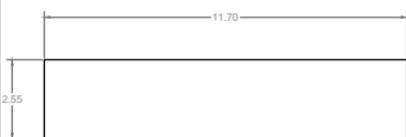
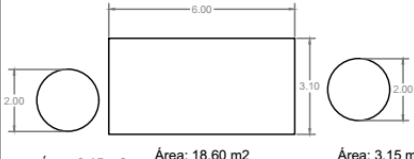
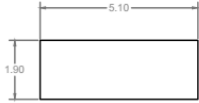


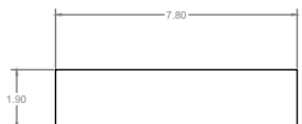
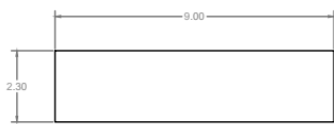


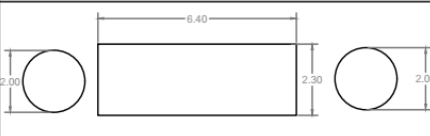
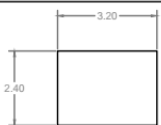
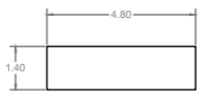
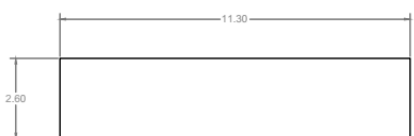
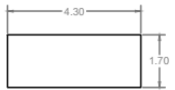

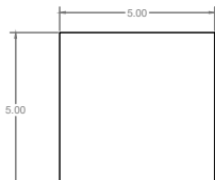
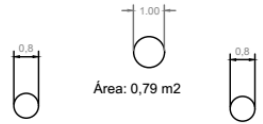
Figura 12 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador



Em que: BH é a bacia hidrográfica do Rio Lonqueador; FB / MM é o limite municipal entre Francisco Beltrão e Marmeleiro na BH.

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 14 - Seções de restrição de vazões

<p>RUA SÃO PAULO</p>  <p>Área: 29,84 m²</p>	<p>RUA GOIAS</p>  <p>Área: 3,15 m² Área: 18,60 m² Área: 3,15 m²</p> <p>Área: 24,90 m²</p>	<p>TRAVESSA GUAIRA</p>  <p>Área: 9,69 m²</p>
<p>RUA VEREADOR ROMEU LAURO WERLANG</p>  <p>Área: 18,00 m² Área: 3,15 m²</p> <p>Área: 21,15 m²</p>	<p>INICIO CÔRREGO MURO DE PEDRA - ARENA COM AS 2 CONTRIBUIÇÕES</p>  <p>Área: 11,70 m²</p>	<p>PONTE 03</p>  <p>Área: 14,82 m²</p>
<p>RUA SERGIPE</p>  <p>Área: 20,70 m²</p>	<p>RUA ALAGOAS - CONTRIBUINTE ESQUERDA</p>  <p>Área: 8,25 m²</p>	<p>RUA PATO BRANCO - SÃO CRISTÓVÃO</p>  <p>Área: 3,15 m²</p>
<p>RUA RIO GRANDE DO SUL</p>  <p>Área: 3,15 m² Área: 14,72 m² Área: 3,15 m²</p> <p>Área: 21,02 m²</p>	<p>RUA ALAGOAS - CONTRIBUINTE DIREITA</p>  <p>Área: 7,68 m²</p>	<p>PONTE 01</p>  <p>Área: 6,72 m²</p>
<p>RUA MINAS GERAIS</p>  <p>Área: 29,38 m²</p>	<p>PINGUELA</p>  <p>Área: 7,31 m²</p>	<p>PONTE 02</p>  <p>Área: 6,60 m²</p>
<p>RUA URUGUAI</p>  <p>Área: 25,00 m²</p>	<p>RUA SÃO MATEUS</p>  <p>Área: 0,50 m² Área: 0,79 m² Área: 0,50 m²</p> <p>Área: 1,79 m²</p>	

Fonte: Autoria própria (2022)

A vazão estimada de cada seção de restrição encontrada está apresentada na Tabela 9 – Vazão de restrição ao escoamento do Rio Lonqueador.

Tabela 9 – Vazão de restrição ao escoamento do Rio Lonqueador

Reservatório a Montante	Vazão de Restrição (m ³ /s)	Local da Seção de Restrição
R01	95,3	Rua Uruguai
R02	53,5	Rua Sergipe
R02	55,4	Rua Rio Grande do Sul
R02	61,8	Rua Vereador Romeu Lauro Werlang
R02	73,2	Rua Goias
R02	80,8	Rua Minas Gerais
R02	81,2	Rua São Paulo
R03	13,6	Ponte 01
R03	15,9	Ponte 02
R03	16,3	Pinguela
R03	22,8	Travessa Guaira
R03	34,8	Ponte 03
R04	3,3	Rua São Mateus
R04	8,7	Rua Pato Branco - São Cristóvão
R05	22,2	Rua Alagoas - Contribuinte esquerda

Fonte: Autoria própria (2022)

6.3 Reservatórios R03, R04 e R05

Conhecido o comportamento hidrológico das áreas em estudo bacia hidrográfica do rio Lonqueador e das áreas contribuintes de cada reservatório, o trabalho foi conduzido inicialmente com o dimensionamento hidráulico hidrológico dos reservatórios R03, R04 e R05 devido a vazão efluente destes contribuírem com a vazão afluente dos reservatórios R02 e R01 a jusante.

A curva cota x volume dos reservatórios e as características dos descarregadores de fundo e dos vertedouros consideradas no dimensionamento estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Curva Cota x Volume dos reservatórios R03, R04 e R05

R03		R03		R04		R04		R05	
Cota (m)	Vol. (m ³)	Cota (m)	Vol. (m ³)	Cota (m)	Vol. (m ³)	Cota (m)	Vol. (m ³)	Cota (m)	Vol. (m ³)
575,68	0	587,68	46336	584,35	0	585,45	10074	570,80	0
576,68	223	588,68	55463	584,45	916	585,55	10990	571,00	1851
577,68	930	589,68	65342	584,55	1832	585,65	11905	571,50	6479
578,68	2180	590,68	75974	584,65	2747	585,75	12821	572,00	11107
579,68	4028	591,68	87359	584,75	3663	585,85	13737	572,50	15735
580,68	6531	592,68	99497	584,85	4579	585,95	14653	573,00	20363
581,68	9739	593,68	112388	584,95	5495	586,05	15569	573,50	24991
582,68	13702	594,68	126032	585,05	6411	586,15	16484	574,00	29619
583,68	18467	595,68	140428	585,15	7326	586,25	17400	574,50	34247
584,68	24078	596,68	155578	585,25	8242	586,35	18316	575,00	38875
585,68	30575	597,21	163910	585,35	9158			575,40	42577
586,68	37992								

Em que: Vol. é o volume do reservatório.

Fonte: Autoria própria (2022)

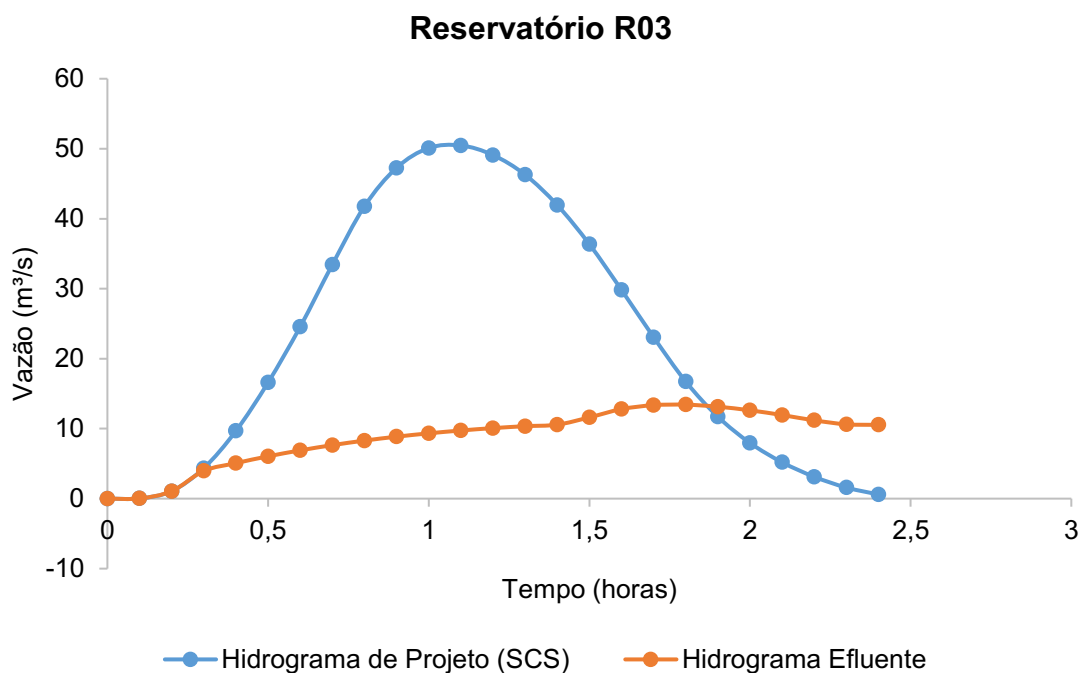
Tabela 11 - Características dos descarregadores de fundo e dos vertedouros dos reservatórios R03, R04 e R05

Descarregador de Fundo Tubular				
Reservatórios	R03	R04	R05	
Quantidade	3	1	3	
Diâmetro (m)	0,6	0,4	1	
Cota do Eixo (m)	575,68	584,4	570,8	
Vertedor de Crista retangular				
Reservatórios	R03	R04	R05	
Largura do vertedouro (m)	3	2	5	
Altura da soleira do vertedouro (m).	595	585,15	572,5	

Fonte: Autoria própria (2022)

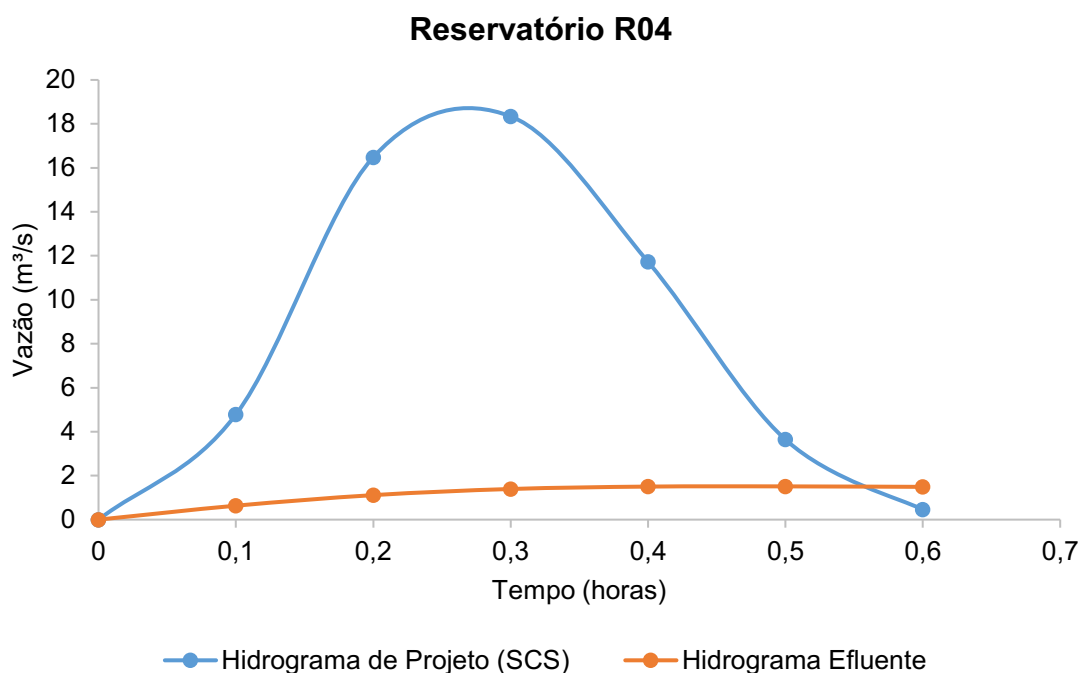
Na sequência, o hidrograma de projeto (afluente) e o hidrograma efluente dos reservatórios R03, R04 e R05 foram determinados com as respectivas características hidrológicas de cada área de contribuição e dos respectivos descarregador de fundo e vertedor de crista, como apresentado nas Figuras: 15, 16 e 17.

Figura 15 - Hidrograma de projeto (SCS) e hidrograma efluente do reservatório R03



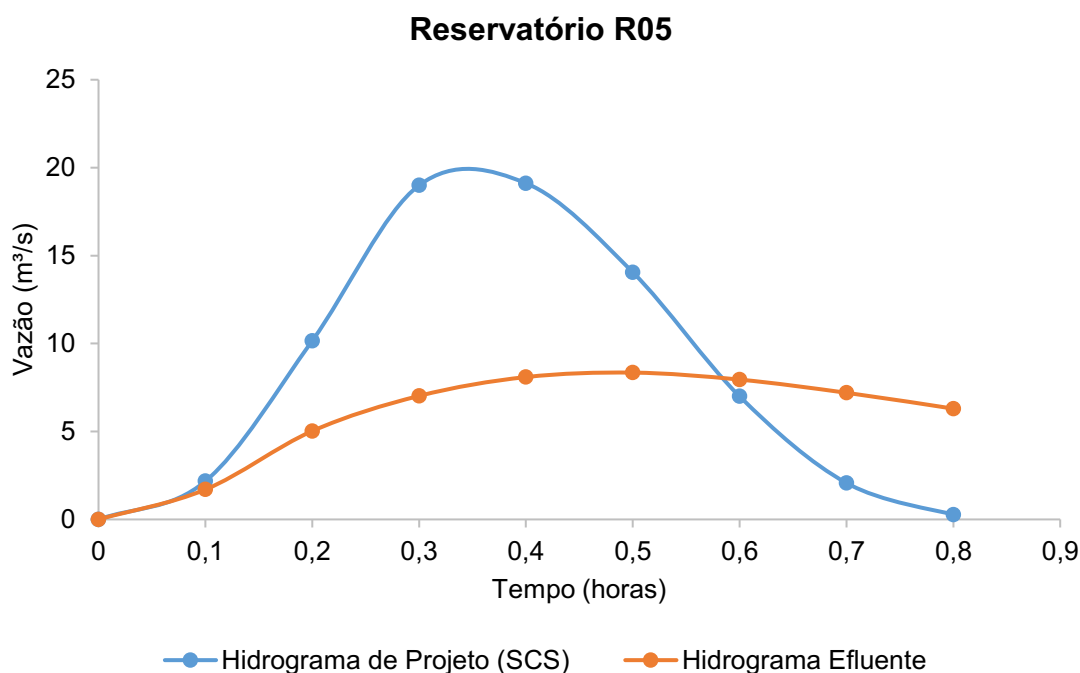
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 16 - Hidrograma de projeto (SCS) e hidrograma efluente do reservatório R04



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 17 - Hidrograma de projeto (SCS) e hidrograma efluente do reservatório R05



Fonte: Autoria própria (2022)

Em síntese, o dimensionamento dos reservatórios R03, R04 e R05 resultou nas características apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Características dimensionais dos reservatórios R03, R04 e R05

Característica	R03	R04	R05
Cota da Barragem (m)	596,45	586,3	572,5
Altura da barragem (m)	20,77	1,95	1,7
Área (m ²)	15925	9158	9255
Vazão de Restrição (m ³ /s)	13,6	3,3	22,2
Vazão Efluente Máxima (m ³ /s)	13,42	1,51	8,35
Volume (m ³)	138136	16209	14109

Fonte: Autoria própria (2022)

A concepção de implantar o reservatório R03 no curso d'água em sequência a uma cachoeira existente (Figura 18) devido ao local possuir taludes e possibilitar a elevação do nível do reservatório sem muitas interferências nas áreas produtivas lindeiras utilizadas para produção de bovinos, suínos e ovinos e apresentar área de supressão limitada e necessidade de execução de apenas uma barragem, descarregador de fundo e vertedor foi verificada.

Figura 18 - Local para implantação do reservatório R03



Fonte: Autoria própria (2022)

A altura do barramento (20,77 metros) necessária exige um alto investimento para fins de projeto, sugere-se a realocação do reservatório R03 para evitar ter um armazenamento de água significativo com barramento muito alto logo a montante da área urbana.

O reservatório R04 se encontra em local de área pública destinada a lazer onde já existe um reservatório (Figuras 19 e 20), mas necessita de redução da seção do seu descarregador de fundo com tubos de concreto de 0,40 metro de diâmetro e ampliação do talude para ter mais 0,95 metro de altura vertical.

Figura 19 - Lago Boa Vista

Fonte: Município de Francisco Beltrão (2014)

Figura 20 - Lago Boa Vista

Fonte: Município de Francisco Beltrão (2015)

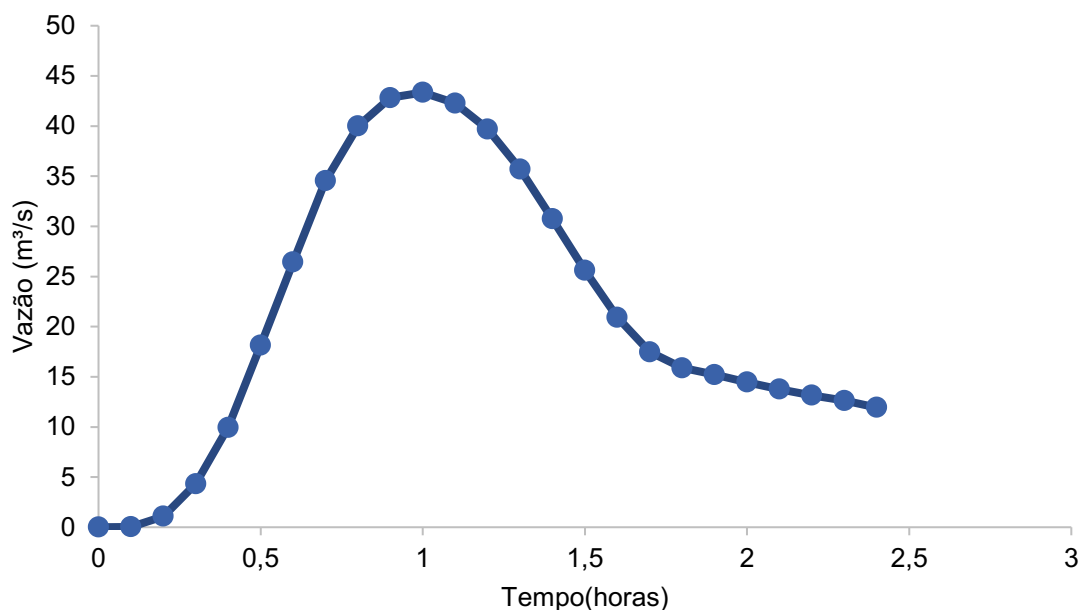
O reservatório R05 se encontra em um local de domínio privado e necessita de desapropriação, mas tem potencial de utilização multifinalitária com atividades recreativas e de lazer, como no Lago Boa Vista do reservatório R04, o que proporciona aos munícipes melhor qualidade de vida.

6.4 Reservatórios R01 e R02

Antes de dimensionar o reservatório R02 foi verificado previamente a necessidade de sua implantação pelo hidrograma de projeto (Figura 21) e sua vazão de restrição. Na construção do hidrograma de projeto foi considerado a vazão efluente que o R03 contribui com o R02, após 0,3 horas, com a vazão resultante de sua área de contribuição.

Figura 21 - Hidrograma de projeto (SCS) do reservatório R02

Hidrograma de Projeto (SCS) - Reservatório R02



Fonte: Autoria própria (2022)

Como a vazão de pico do hidrograma de projeto do reservatório R02 (43,34 m³/s) é menor que sua vazão de restrição (53,5 m³/s), não será necessário implantar o R02 proposto para redução das inundações urbanas na bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.

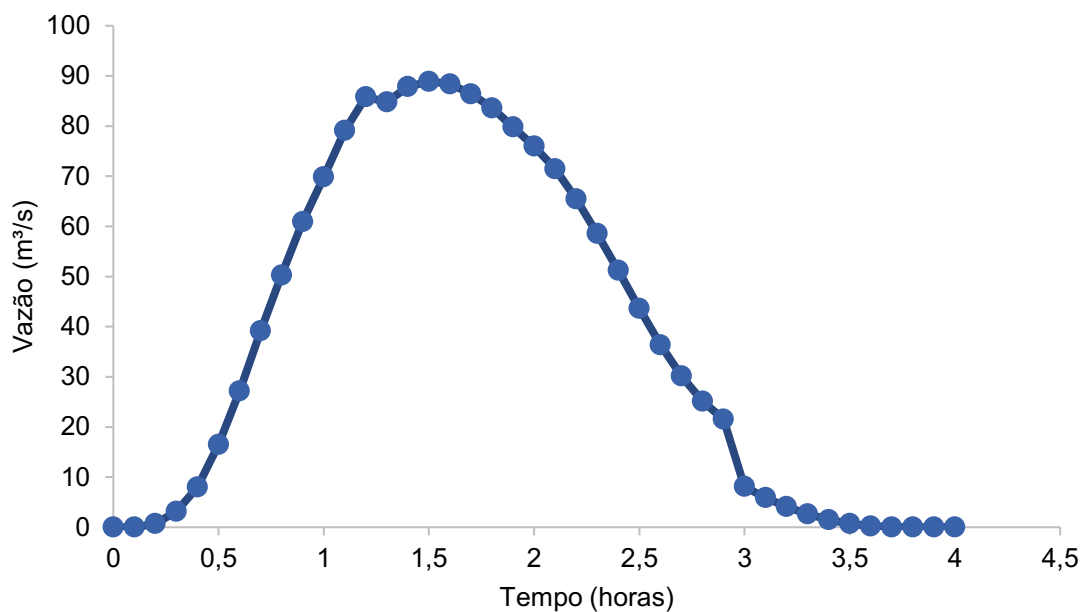
Para a verificação da necessidade de implantação do reservatório R01 procedeu-se da mesma forma, contudo na construção de seu hidrograma de projeto (Figura 22) foi considerado as características hidrológicas apresentadas na Tabela 13 por não ter sido necessário a implantação do reservatório R02 e sua área de contribuição ter sido ampliada com isto. Também foi considerado que a vazão efluente que o R04 e o R05 contribuem com o R01 inicia após 0,3 e 0,4 horas, respectivamente.

Tabela 13 - Características hidrológicas da área de contribuição do reservatório R01 utilizadas na determinação de seu hidrograma de projeto

Característica	R01
Área (km ²)	8,955233
Altitude mais alta (m)	575,68
CN	79

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 22 - Hidrograma de projeto (SCS) do reservatório R02

Hidrograma de Projeto (SCS) - Reservatório 01

Fonte: Autoria própria (2022)

Como a vazão de pico do hidrograma de projeto do reservatório R01 (88,91 m³/s) é menor que sua vazão de restrição (95,3 m³/s), não será necessário implantar o R01 proposto para redução das inundações urbanas na bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no dimensionamento foram correspondentes a caracterização morfométrica prévia da área em estudo, que denotou significativa influência das áreas de contribuição dos reservatórios a montante (R03, R04 e R05), com destaque para o R03.

A seção da Ponte 01 foi significativamente restritiva para a vazão efluente do reservatório R03, o que implicou em um maior armazenamento de água e barramento mais alto no R03 e inviabilizou a implantação dos reservatórios a jusante (R01 e R02),

Um valor de CN apropriado é fundamental para uma estimativa confiável do escoamento superficial direto, mas, suposições originalmente feitas para algumas condições hidrológicas podem não reproduzir resultados realistas de escoamento (ALVES, 2016).

O dimensionamento realizado neste estudo apresentou que a utilização de reservatórios é uma alternativa que pode ser utilizada no controle e redução das inundações urbanas da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador.

A vazão de restrição do reservatório R03 de 13,6 m³/s contribuiu para obter um maior volume e altura de água armazenada no dimensionamento, 138136 m³ e 20,77 m, o que confere alto risco sócio-ambiental quando associado a possibilidade de sua ruptura.

Para o reservatório existente R04 é necessário um volume de 16209 m³ e a redução da seção do seu descarregador de fundo com tubos de concreto de 0,40 metro de diâmetro.

No reservatório R05 também é preciso apenas de um armazenamento de 14109 m³ e 3 descarregadores de fundo com tubos de 1 metro de diâmetro, além do vertedor de crista.

Concluiu-se que a instalação das bacias de contenção R03, R04 e R05 é viável para mitigação da inundação na área urbanizada para o tempo de recorrência de 100 anos, não havendo necessidade de implantação dos reservatórios R01 e R02.

Em razão da importância do reservatório R03, a efetiva implantação dele sugere-se uma análise de estabilidade de taludes, para fornecer elementos e

parâmetros geotécnicos que conduzam a um fator de segurança de no mínimo 1,5, o que viabilizaria a implementação do reservatório sem risco de ruptura.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação dos reservatórios R03, R04 e R05 contribuiu para reduzir a ocorrência das inundações urbanas na bacia hidrográfica do Rio Lonqueador para um TR de 100 anos e o estudo básico pode ser utilizado como subsídio para projetos futuros que o Município venha a desenvolver.

Por fim, este estudo contribui com a Administração Pública por meio de orientações dimensionais da macrodrenagem urbana da bacia hidrográfica do Rio Lonqueador. Portanto, o estudo contribui com o desenvolvimento do município, sendo apresentado como solução para a problemática existente na área urbanizada dessa bacia, apresentando grande relevância social e se demonstrando indispensável para mitigação dos alagamentos urbanos.

REFERÊNCIAS

- ABRIL, M. J. 54 piscinões nas várzeas do Alto Tietê: o projeto de retenção de água pluvial na Bacia do Rio Aricanduva. In: **SEMINARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN URBANISMO**, 8, Barcelona, 2016.
- ALVIM, D. A.. **Simulação hidrológica sobre o cenário atual e futuro de urbanização do rio Lonqueador, Francisco Beltrão, Sudoeste do Paraná**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24366/1/simulacaohidrologiacariolonqueador.pdf>. Acesso em 17 de março de 2021.
- ANDRES, J.; MENDES, J.; ANDRADE, S. e CANEPARO, S. C. **Risco de enchentes e lógica de fuzzy no planejamento da expansão urbana na microbacia hidrográfica do Arroio Lonqueador (SW/PR)**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em:
<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.22.50.15/doc/p0178.pdf>. Acesso em: 05 de agosto de 2021.
- ARMELIN, L. F. **Estudo do comportamento dos resíduos sólidos veiculados pelos rios urbanos junto aos vertedores de entrada de reservatórios de controle de cheias**. Tese (Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2011. Disponível em:
https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-15032012-123630/publico/Tese_Liliane_Frosini_Armelin.pdf. Acesso em: 05 de agosto de 2021.
- BARBOSA L. S. **Modelagem chuva-vazão: uma proposta metodológica à análise do coeficiente de abstração inicial do método curva número**. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental). Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, Poços de Caldas, 2021.
- BARROS, R. M.; MENDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. C. Cálculo de áreas inundáveis devido a enchentes para o plano diretor de drenagem urbana de São Carlos (PDDUSC) na bacia escola do Córrego do Gregório. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 12, n. 2, p. 5-17, 2007. Disponível em:
https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/20/da5fadbac2d33a4ca509c36b81b5ff70_2028cd0aea-d9f9010ab93dc013c3b0d2.pdf. Acesso em 01 de maio de 2021.
- BARROS, M. T. L.. **Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. Saneamento, saúde e ambiente : fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. 1 ed. São Paulo: Editora Manole, 2004, v. 1, p. 221-266.

CABRAL, S. L. B.; CAMPOS, J. N.; SILVEIRA, C. S.; TEIXEIRA, F. A. A. Integração do sig, hec/hms e hec/ras no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do rio Granjeiro-CE. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 90-101, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287319008>. Acesso em: 12 de junho de 2021.

CAMPANA, N. A. **Impacto da Urbanização nas cheias urbanas**. Tese (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 1995. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/206746/000036768.pdf?sequence=1>. Acesso em 02 de maio de 2021.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARDOSO, Christiany Araujo; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOARES, Carlos Pedro Boechat; MARTINS, Sebastião Venâncio. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. Revista *Árvore*, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/cXmkNxXThc8ksdjWwFM6vNt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 04/10/2021.

COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F. e TUCCI, C. E.M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2007. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/controledrenagemurbana.pdf>. Acesso em 01 de maio de 2021.

CUNHA, H. N.; NOBREGA, M. R. R.; FIORI, D.; ALBA, J. M. F.; MIURA, A. K. M.; SALDANHA, D. L. **Mapeamento de áreas de preservação permanente de topo de morro da bacia hidrográfica do Alto Camaquã, RS, nos termos da resolução CONAMA de 2002 (revogado) e do Novo Código Florestal de 2012**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1016417/mapeamento-de-areas-de-preservacao-permanente-de-topo-de-morro-na-bacia-hidrografica-do-alto-camaqua-rs-nos-termos-da-resolucao-conama-de-2002-revogado-e-do-novo-codigo-florestal-de-2012>. Acesso em 01 de maio de 2021.

DECINA, T. G. T.; BRANDÃO, J. L. B. **Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 207-217, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141341522016000100207&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 02 mai. 2021.

DERNARDIN, J., FREITAS, P. L. **Características fundamentais da chuva no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.17, p.1409-1416, 1982.

DNIT. **Manual de drenagem de rodovias**. Publicação IPR-724. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Publicação IPR-715. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed., rev ed. Brasília, DF, 2018.

FAGUNDES, N. A.; JÚNIOR, C. V. de S. G. **Diagnóstico Ambiental e delimitação de Áreas de Preservação Permanente em um assentamento rural**. Acta Sci Biol Sci, Maringá v.30, n. 1, p 29-38. 2008. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/1440>. Acesso em: 25 de julho de 2021.

FRANCISCO BELTRÃO (PR). **Lei Municipal 4.612/2018 de 31 de outubro de 2018**. Dispõe sobre o Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo do Perímetro Urbano do Município de Francisco Beltrão e dá outras providências. Francisco Beltrão, PR. 2018. Disponível em: <https://www.franciscobeltrao.pr.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Lei-n%C2%B0-4.612-2018-Zoneamento-do-Uso-e-Ocupa%C3%A7%C3%A3o-do-Solo.pdf>. Acesso em 16 de julho de 2022.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção de águas pluviais com base no método Racional**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2004.

GERRA, F. C; ZACHARIAS, A. A. **Mapeamento das áreas de riscos hidrológicos e as políticas públicas de sustentabilidade: o caso de Ourinhos/SP**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. V. 04, 1. 26, 2016. ISSN: 2318-8472. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/viewFile/1345/1367. Acesso em: 12 de junho de 2021.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M.; PELLEIN, J.R.G.M. **Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC**. Boletim de Geografia, Maringá, 30(1), pp. 81-100, 2012. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Goerl_Risco_de_inundacao.pdf. Acesso em 12 de junho de 2021.

GLENIS, V.; KUTIJA, V.; KILSBY, S. G. Um Sistema de modelagem de inundação urbana totalmente hidrodinâmico que representa edifícios, espaços verdes e intervenções. **Modelagem Ambiental e Software**. V. 109, p. 272 – 292, novembro de 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815217310009>. Acesso em: 04 de Agosto de 2021.

GREGORY, K. J. **The human role in changing river channels**. Geomorphology, v. 79, p. 172-191. 2006. GUIMARÃES, R. e RODRIGUES, C. M. (editores), **Hidrologia Agrícola**. ISBN: 978-989-97060-4-0. ECT, ICAAM, Universidade de Évora, 2012.

HENAUT, I. G; MARTINS, I. B. O. e PEREIRA J., S.A. **Movimentos gravitacionais de massa estudados pelo campo geografico**. Juiz de Fora, MG. 22 jun. 2011.

Disponível em:

<http://ageoesta.blogspot.com.br/2011/06/movimentos-gravitacionais-demassa.html>.

Acesso em: 01 mai. 2016.

HUFF F. A.. **Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois**. Circular 173. State of Illinois. Department of energy and natural resources. 1990.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Atlas Climático do Paraná**. Disponível em

: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 19 de julho de 2022..

IAT. **Mapa de Solos do Paraná**. Formato Shapefile. Disponível em:

<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>.

Acesso em: 17 de julho de 2022.

IAT. **Rede Hidrográfica Ottocodificada do Estado do Paraná**. Formato Shapefile.

Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

INCRA. Norma de Execução INCRA/ DT/ N° 52 de 25 de outubro de 2006. **Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial**. Brasília, 2006.

JOURAVLEV, A. **Los municipios y la gestión de los recursos hídricos**. Santiago: CEPAL, 2003. 72p. (Recursos Naturales e Infraestructura, v. 66). Disponível em:

https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/TEXT/LETTERS/list_cd/lcl2003s.pdf.

Acesso em 04 de agosto de 2021.

LIMA, H. M.; SILVA, E. S.; RAMINHOS, C. **Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação**. Revista Escola de Minas, v. 59, n. 1, p. 97-109, 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rem/a/xndZLswjWn68zvfNBSCVXjy/?lang=pt>. Acesso em: 04/10/2021.

MACHADO, B. A; SILVA, J. C. G; PASCHOALIN FILHO, J. A. Drenagem urbana com aproveitamento de cava abandonada no bairro de Guaianases, São Paulo.

Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista. V. 15, n 04, p. 104 – 118, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/328912742_DRENAGEM_URBANA_COM_APROVEITAMENTO_DE_CAVA_ABANDONADA_NO_BAIRRO_DE_GUAIANASE_S_SAO_PAULO/link/5beac9db92851c6b27bab52e/download. Acesso em 04 de agosto de 2021.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos de Geografia*, v.6, n.10. 9, p. 130-49, 2006.

MARMELEIRO (PR). **Lei Municipal 1382**. Institui o Sistema de Ordenamento Territorial do Município de Marmeleiro – PR. Marmeleiro, PR. 2007. Disponível em: <http://www.marmeleiro.pr.gov.br/leis.php?txtBusca=1382&txtAno=&tipo=2>. Acesso em 16 de julho de 2022.

MARMELEIRO (PR). **Lei Municipal 1550**. “Altera e acresce dispositivos às Leis nº 1.339 de 9 de julho de 2007, Lei Complementar nº 1.382, de 12 de novembro de 2007, à Lei nº 1.395, de 5 de dezembro de 2007 e à Lei nº 1.396, de 05 de dezembro de 2007, e dá outras providências”. Marmeleiro, PR. 2007. Disponível em: <http://www.marmeleiro.pr.gov.br/leis.php?txtBusca=1.382&txtAno=&tipo=2>. Acesso em 16 de julho de 2022.

MIGUEZ, M. G.; GREGORIO, L. T. di; VERÓL, A. P. **Gestão de riscos e desastres hidrológicos**. 2018. Elsevier Editora Ltda. Conhecimento sem fronteiras.

MINUZZO, S. **Análise das características do solo de Francisco Beltrão – PR e suas influências nas inundações do Perímetro Urbano**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2016. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2207/1/PB_PPGECC_M_Minuzzo%20%20Simone_2016.pdf. Acesso em: 12 de junho de 2021.

NRCS. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. USDA: TR-55. 2 ed. Washington (EUA): NRCS, 1986. Disponível em: <https://tamug-ir.tdl.org/bitstream/handle/1969.3/24438/6545-Urban%20Hydrology%20for%20Small%20Watersheds.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 28 de agosto de 2021.

NRCS. **National Engineering Handbook**. USDA: Part 630 Hydrology. 2014. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/hydrology/?cid=stelprdb1043063>. Acesso em: 04/10/2021.

NETTO, A., FERNANDEZ, M. F., ARAUJO, R., ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. São Paulo. 8ª Edição. Editora Edgard Blücher LTDA, 1998.

PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976. 278p.

PORTO, M. F.A. e PORTO, R. La L. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Estudos Avançados* 22 (63), 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/ccyh4cf7NMdbpJdhSzCRNtR/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 04 de agosto de 2021.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos – SP. Publicação EESC – USP, 1999.

REIS, J. T; KOBIAAMA, M; ZAMBRANO, F. C.; MICHEL G. P. **Correlação das variáveis para mapeamento de vulnerabilidade aos desastres hidrológicos no Arroio Forromeco-RS**. Ciência e Natura. 2016, 38 (3), 1361-1371. ISSN: 0100-8307. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547716023>. Acesso em: 05 de agosto de 2021.

RODRÍGUEZ C. A. M. e TEIXEIRA, B. A. N. Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 26, n. 01, p. 143-150. Jan/fev 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190034>. Acesso em: 04 de agosto de 2021.

SANTOS, S. A. **Estudo de áreas urbanas susceptíveis a fenômenos de inundações, enchentes e alagamentos na cidade de alegrete-RS. 2015**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/1698>. Acesso em: 02 mai. 2021.

SANTOS, L. B. e MAMEDE, B. B. Automação em drenagem pluvial e controle de enchentes: aproveitamento das águas nos grandes centros urbanos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**. V. 9, n 02, p. 457 – 475, 2013. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/660. Acesso em 04 de agosto de 2021.

SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

SARTORI, A., NETO F. L., GENOVEZ, A. M.. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.4 Out/Dez 2005, 05-18.

SCHUSTER, R. C. **Desenvolvimento de um modelo hidrológico de transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149583/001002805.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 mai. 2021.

SEIBT, A. C.; BARBOSA, D. I.; SALGADO, A. A.; FORMIGA, K. T. M. **Comparação das vazões de projeto pelo método racional e método tempo área para bacias urbanas do município de Goiânia – GO**. Revista eletrônica de Engenharia Civil, v. 4, n. 2, p. 59-68, 2012. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/19513>. Acesso em: 04/10/2021.

SILVEIRA, C. A; DIAS, P; SCHUCH, F. S. **A problemática das inundações em áreas urbanas sob a ótica da permeabilidade do solo**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2014, Florianópolis, SC. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/134547/COBRAC_2014_6-8-1-RV.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 02 mai. 2021.

SOUZA, R. C. C. **Método para dimensionamento eficiente de reservatórios de contenção de cheias para a cidade de Curitiba-PR**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2018.

SPANGHERO, P. E. S. F.; MELIANI, P. F.; MENDES, J. S. **Mapeamento Hidrográfico de detalhe e análise morfométrica comparativa das bacias dos Rios Tijuípe e Tjuipinho, litoral sul da Bahia**. Caminhos de Geografia. V. 16, n. 53, p. 101-117, 2015. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/27861/16437>. Acesso em 27 de agosto de 2022.

SCHUSSEL, Z. Neto, N.. **Gestão por Bacias Hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal**. Ambiente & Sociedade. São Paulo. 2015. v. XVIII, n.3. p. 137-152.

Tucci, C. E. M. (2008). **Águas urbanas**. Estudos Avançados, 22(63), 97-112. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em 20 de junho de 2021.

TUCCI, C. E. M. 2007. **Inundações Urbanas**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/ RHAMA, 2007. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.11).

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS – ABRH, 2012. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUCCI, C. E. M. e MARQUES, D. M. L. D. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 2000. 558 p. ISBN 85-7025-544-6.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245pp

ZAPPE, A. P. S.; SPANEMBERG, P.; GREGORIO, G. R. S.; TABILLE, D. F.R.; BRUNE, C.; DARONCO, G. C. Reservatórios como soluções em drenagem urbana. **XXIV Seminário de Inovação e Tecnologia**. Salão do Conhecimento. Unijuí, 2016.