

VI. A - Estudo Hidrológico e Hidráulico

Implantação de barramento para regularização de vazões, com captação para abastecimento público no Ribeirão Boa Vista, no município de Artur Nogueira – SP

Estudos para obtenção da Declaração de Viabilidade de Implantação (DVI) de uso de recursos hídricos junto à Agência de Águas de São Paulo -SP Águas

MC

Apresentação

O município de Artur Nogueira dista 153 km da capital do Estado e pertence à Região Metropolitana de Campinas – RMC e à UGRHI 5 – Piracicaba-Capivari-Jundiaí, cuja disponibilidade hídrica é considerada crítica. Mais de 70% do abastecimento público da área urbana do município é feito atualmente a partir do barramento Cotrins, que possui condições inadequadas para esta finalidade. Nesse sentido, o presente estudo visa apresentar alternativas para a implantação de uma nova captação superficial, no Ribeirão Boa Vista, para garantia da segurança hídrica local, tendo em vista um horizonte de abastecimento para o município de 20 anos.

Sumário

Apresentação	2
Introdução	4
O município de Artur Nogueira	4
Evolução populacional	5
Bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Vista	5
Localização do eixo do barramento	6
Abastecimento público	8
Estudos hidrológicos	10
Regionalização hidrológica	10
Vazão regularizável	11
Curva Cota x Área x Volume	11
Níveis notáveis do reservatório	12
NA Normal	12
NA Máximo	13
NA Máximo <i>maximorum</i>	13
Vazão de descarga a jusante	13
Estudos hidráulicos	14
Dimensionamento do descarregador de fundo	14
Dimensionamento do vertedor extravasor	14
Definições do CN - Curve Number	17
Uso e ocupação do solo na bacia	20
Intensidade e distribuição temporal da precipitação - chuva de projeto	20

Introdução

O município de Artur Nogueira

O território do atual município de Artur Nogueira pertenceu até o início do século XX à famílias tradicionais paulistas, como João e Matheus Ferreira de Camargo, conhecidos por “Doricos”, estabelecidos no Guaiquicá, hoje município de Engenheiro Coelho; Francisco Pinto Adorno e irmãos no Mato Dentro; João Sertório e Dona Maria Glória Sertório no bairro do mesmo nome; os irmãos Magalhães na Fazendinha; Pedro da Cunha Claro no Taperão; os Cotrins no bairro do mesmo nome; os Amarais no bairro do mesmo nome; Jorge Tibiriçá no Ribeirão; Fernando Arens no Sítio Novo e os Rosas na Fazenda Palmeiras.

Próxima de todas essas terras estava a propriedade da empresa Artur Nogueira & Cia, proprietária da Usina Ester, produtora de açúcar. O então território da atual sede municipal era chamado de “Lagoa Seca” e pertencia ao município de Mogi Mirim.

A ferrovia atingiu a região em 1907, através da Estrada de Ferro Funilense, como ponta do primeiro prolongamento da linha após a abertura da mesma em 1899[9]. O prolongamento da linha passava em terras da fazenda São Bento, de propriedade de Artur Nogueira, que as doou à Funilense em 1905.

Já a estação ferroviária foi erguida na gleba seguinte à fazenda, a pedido de seu proprietário Fernando Arens, e ficava próxima ao armazém de Francisco Cabrino, cujo prédio foi o primeiro a ser edificado e ainda hoje existe na atual Rua 15 de Novembro.

A estação acabou recebendo o nome de Artur Nogueira, em homenagem ao doador das terras, apesar do local ser conhecido como Lagoa Seca, e por isso seu nome acabou por prevalecer, dando origem a atual denominação do município.

A povoação surgiu em torno dela, onde no ano seguinte é que vieram os verdadeiros fundadores da cidade, ocupando os lotes do patrimônio doado por Fernando Arens. Entre eles José Sanseverino, Júlio Caetano, João Pulz, Henrique Steckelberg, os Andrades, os Mauros, etc. Já se achavam também radicados na zona rural os irmãos Tagliari

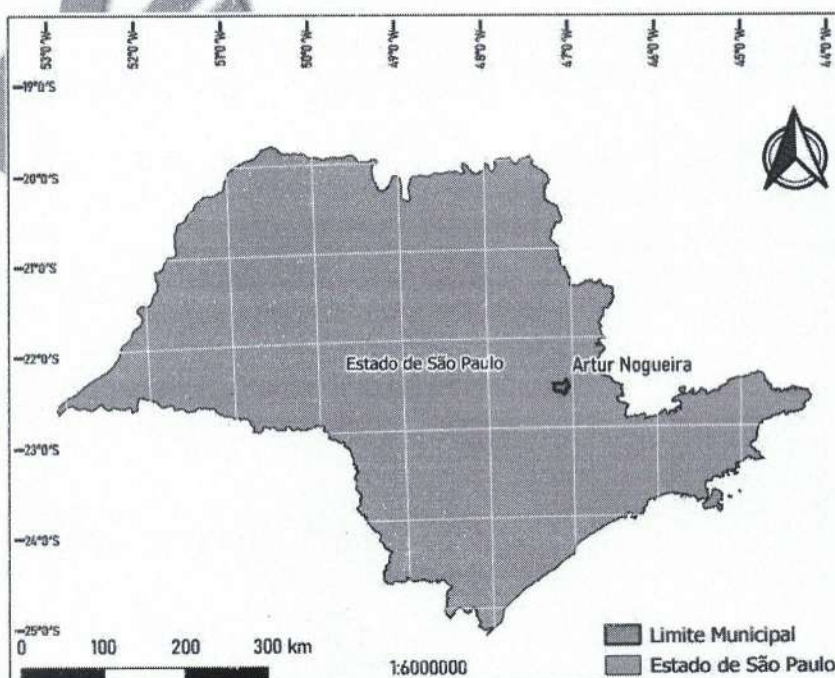


Figura 1. Localização do município no Estado de São Paulo

O acesso ao município é feito pelas Rodovias Anhanguera (SP-330) ou Bandeirantes (SP-348) até alcançar a Rodovia Professor Zeferino Vaz (SP-332). Alternativamente, pode ser utilizada a Rodovia Fernão Dias (BR-381) até o cruzamento com a Rodovia Dom Pedro I (SP-065) no município de Bragança Paulista, de onde se segue rumo à Campinas até a Rodovia Professor Zeferino Vaz (SP-332).

O município é limítrofe com os municípios de Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Limeira e Mogi-Mirim.

Evolução populacional

Ao longo dos últimos anos, o município tem experimentado elevadas taxas de crescimento, da ordem de 3,9% ao ano. Destaca-se o acelerado crescimento observado entre os anos de 1980 e 1990, quando a população local cresceu na ordem de 7,60% ao ano, o que fez a população municipal praticamente dobrar no período. Considerando o horizonte de projeto de 2050 com as atuais tendências de crescimento, o município deverá ter seu atendimento em saneamento para cerca de 85.000 habitantes, praticamente o dobro da população atual.

Este elevado crescimento populacional pode ser parcialmente explicado pela forte aceleração econômica da Região Metropolitana de Campinas, no período, passando as cidades satélites a funcionar como "cidades-dormitório" ao polo de desenvolvimento.

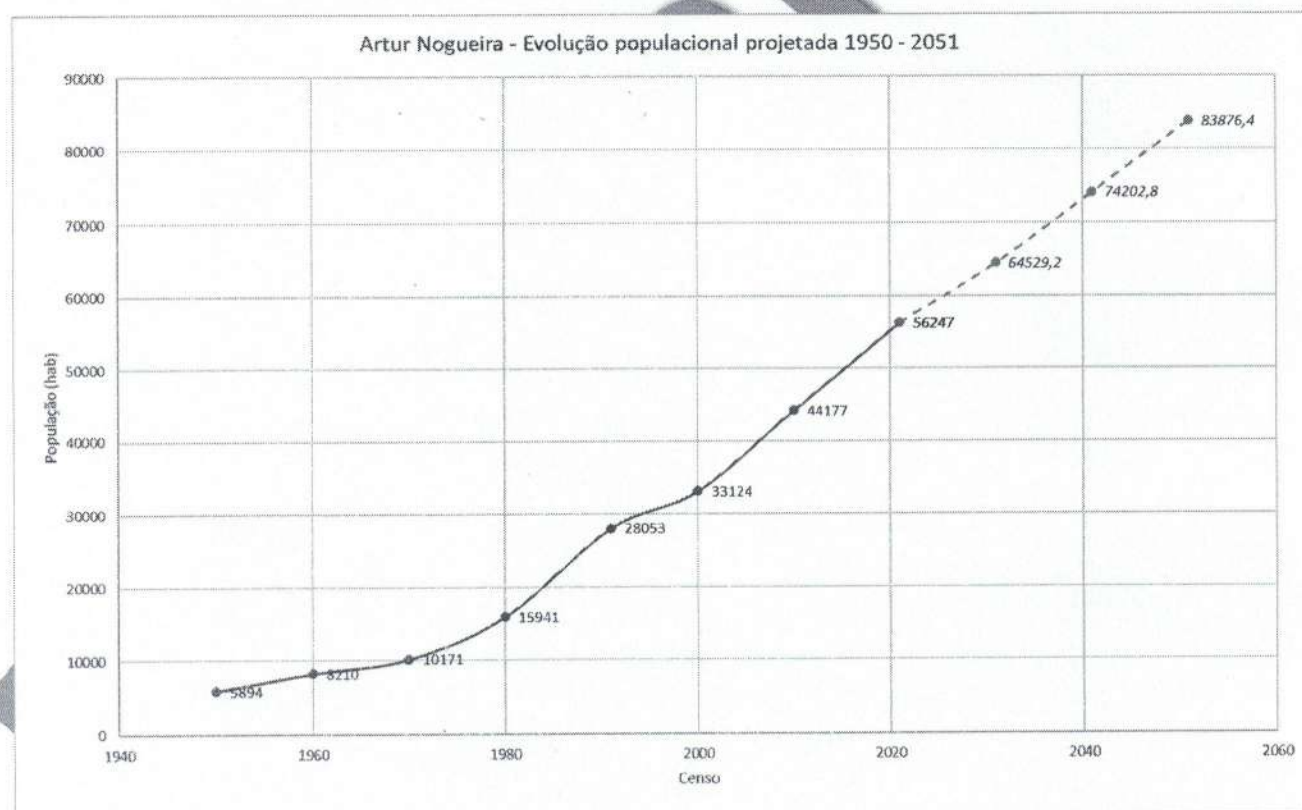


Figura 2. Crescimento populacional do município entre 1950 e 2021, com estimativa populacional para 2050.

Bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Vista

A bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Vista é tributária do Rio Jaguari. As nascentes se situam na porção NE do município de Artur Nogueira e na porção S do município de Engenheiro Coelho. A bacia possui uma área de drenagem da ordem de 86,5 km² até a seção de interesse mais a montante para o presente estudo que visa estabelecer a localização mais favorável para a implantação do novo barramento para captação de água para abastecimento público da área urbana de Artur Nogueira.

Esta área de drenagem está distribuída na proporção aproximada de 40,8% no município de Engenheiro Coelho e 59,2% no município de Artur Nogueira. A figura a seguir apresenta os limites da bacia hidrográfica:

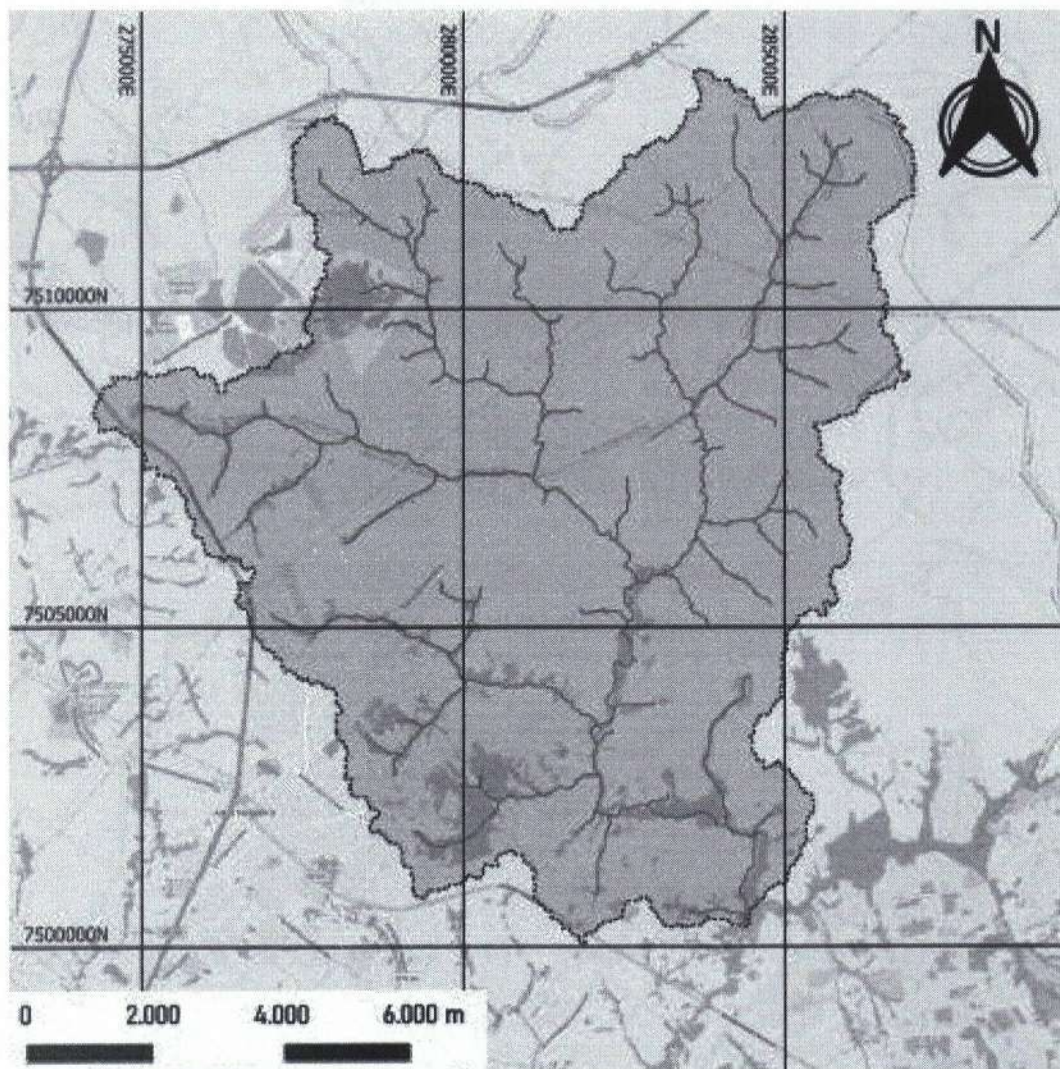


Figura 3. Limites da bacia hidrográfica do Ribeirão Boa Vista até as proximidades do eixo proposto para o barramento (arte sobre base Open Street Map)

Localização do eixo do barramento

O eixo do barramento se desenvolve no sentido NW – SE por uma extensão aproximada de 179 m, com azimute de $92^{\circ}17'04''$ de acordo com as coordenadas apresentadas a seguir:

Tabela 1. Coordenadas dos pontos de eixo do barramento

Ponto	Coordenadas UTM (m)	
	E	N
início	281.839,16	7.503.081,16
fim	282.018,42	7.503.074,01

A figura 4 a seguir apresenta a localização do eixo do barramento em relação à bacia hidrográfica de contribuição do Ribeirão Boa Vista:

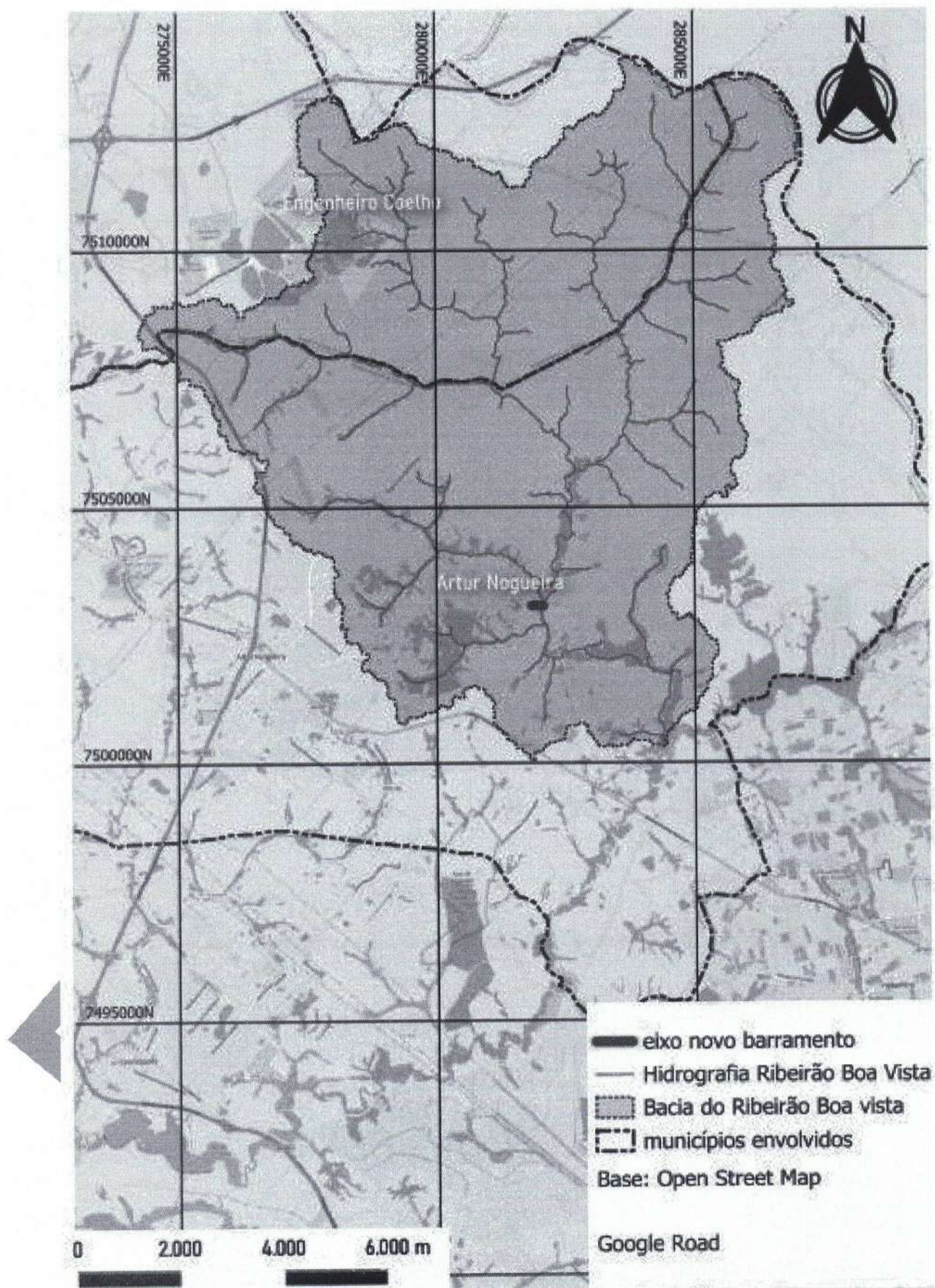


Figura 4. Localização do eixo do barramento em relação à bacia de contribuição do Ribeirão Boa Vista e aos limites do município de Artur Nogueira (arte sobre base Open Street Map)

Abastecimento público

O abastecimento público do município de Artur Nogueira é operado pelo SAEAN – Serviço de Água e Esgoto de Artur Nogueira, cujas origens remontam à 1957, com a implantação pelo poder público da primeira captação no Ribeirão dos Cotrins, com um sistema simples de filtração e armazenamento.

Posteriormente, no início da década dos anos 1980, entraram em operação as ETAs - Estação de Tratamento de Água denominadas I e II, consolidando o abastecimento público local, seguidas no início dos anos 1990 pela implantação do barramento Cotrins e da ETA III.

No início dos anos 2000, com o fracasso da concessão à iniciativa privada do sistema de abastecimento público, o município estrutura e profissionaliza o SAEAN, situação que perdura até os dias atuais.

Segundo dados do SINISA (Sistema Nacional de Informações de Saneamento), o consumo *per capita* da população urbana do município (47.060 hab, em 2023) é da ordem de 245,74 L/hab*dia.

Deve-se destacar que, para um eventual projeto básico do sistema de captação a ser implantado, deverão ser observados os parâmetros locais de consumo em micromedição, de forma a ajustar os parâmetros às condicionantes locais, de acordo com o disposto pela NBR 12.211:1992 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. De acordo com os dados do SNIS, o consumo per capita médio do país se situa na ordem de 159 L/hab*dia, enquanto o consumo médio no Estado de São Paulo é da ordem de 170,5 L/hab*dia.

Para fins do presente estudo de concepção, será utilizado o consumo diário per capita apurado acima

(170,5 L/hab * dia), sem as majorações dos coeficientes k_1 (dia de maior consumo) e k_2 (hora de maior consumo).

Considerando a tendência observada em termos mundiais da concentração da população em áreas urbanas, e de acordo com os padrões de crescimento populacional observados no município, o sistema de abastecimento público deverá ser capaz de atender a população horizonte de plano (2050) de 85.000 habitantes, assim, o volume diário a ser captado para o abastecimento da população no ano horizonte de planejamento, é dada por:

$$V_{\text{captado}} (m^3) = \frac{q \left(\frac{L}{hab} * dia \right) * População(hab)}{1000} = 14.450 m^3/dia$$

Em termos de vazão instantânea, o sistema de captação ora em estudos deverá fornecer ao sistema de tratamento uma vazão firme da ordem de 0,167 m³/s.

Caso o sistema ora em estudos estivesse destinado à complementar e reforçar o sistema de captação de água bruta para o município, este deveria garantir apenas a diferença entre a capacidade dos sistemas existentes e as demandas de horizonte de plano, o que significaria apenas o acréscimo de 0,071 m³/s.

No entanto, em face das condições operacionais do Barramento Mateus Mariano Cotrins, que atualmente é responsável por 70% do abastecimento público municipal, pode ser considerada a hipótese de assunção de que toda a expansão do abastecimento público venha a ser executada no novo ponto de captação ora em estudo, mantendo-se os poços profundos existentes como margem de segurança operacional.

Há que se considerar então o atendimento de 50% da população no horizonte de projeto pelo novo ponto de captação, implicando em uma capacidade de produção diária de cerca de 8.000

m³, ou uma vazão mínima de 100 L/s. Considerando eventual margem de segurança, esta vazão deverá ser da ordem de 0,120 m³/s para fins dos estudos aqui conduzidos.

Preliminar

Estudos hidrológicos

Regionalização hidrológica

Para fins do presente estudo, foi considerado o modelo de regionalização hidrológica proposto por Wolff (2013), e foi considerada uma disponibilidade de vazão firme para jusante com 98% de permanência, mantendo boas condições de escoamento no Ribeirão Boa Vista.

A tabela a seguir apresenta os valores de vazão para a bacia de contribuição do Ribeirão Boa Vista em função da probabilidade de permanência:

Tabela 2. Vazões no Ribeirão Boa Vista em função da probabilidade (tempo) de permanência:

Permanência (%)	Vazão (m³/s)
5	3,635878
10	2,950186
15	2,56206
20	2,290262
25	2,080118
30	1,907838
35	1,760916
40	1,631939
45	1,516115
50	1,410123
55	1,311506
60	1,218328
65	1,128935
70	1,041778
75	0,955208
80	0,867191
85	0,774706
90	0,67211
95	0,544286
100	0,428963

Assim, de acordo com os dados dispostos acima, foi obtida a seguinte curva de permanência de vazões:



Figura 5. Curva de permanência de vazões para a bacia de contribuição do Ribeirão Boa Vista, no eixo proposto para o barramento

Para uma confiança de permanência de vazões da ordem de 95% do tempo para jusante, obteve-se o valor de 0,3434 m³/s, com uma vazão ecológica ($Q_{7,10}$) da ordem de 0,2847 m³/s (1024,96 m³/h).

Vazão regularizável

A vazão regularizada, segundo esta metodologia é de 0,1647 m³/s, com uma vazão firme a jusante da ordem de 0,5081 m³/s.

Curva Cota x Área x Volume

Considerando uma probabilidade de não-atendimento de 2% (Tempo de Retorno de 50 anos) para o reservatório, dentro do pressuposto de que haverá atendimento suplementar do abastecimento público por outras fontes, verifica-se que o volume a ser armazenado para a regularização da vazão destinada ao abastecimento público é da ordem de 198.000 m³.

A partir dos levantamentos topográficos da área em questão, obteve-se a seguinte curva cota x volume para o reservatório:

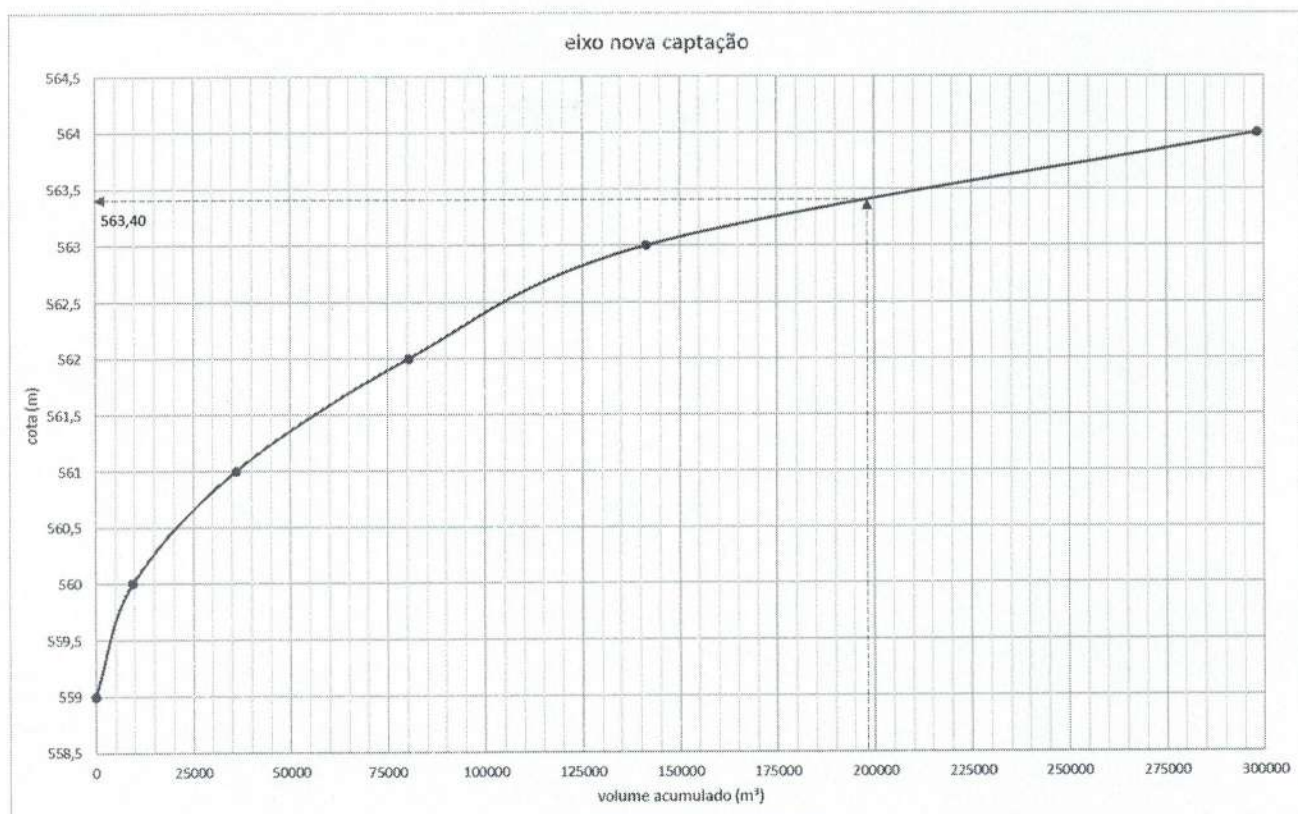


Figura 6. Curva cota x volume para o eixo proposto para o barramento destinado à nova captação

Tabela 3. Tabela cota x área x volume para o eixo proposto

eixo proposto nova			
cota	área (m²)	volume (m³)	volume acumulado (m³)
559	0	0	0
560	19131,08	9565,54	9565,54
561	33787,99	26459,54	36025,08
562	55159,46	44473,73	80498,8
563	66929,31	61044,39	141543,2
564	246469,64	156699,5	298242,7

A partir da interpolação dos valores constantes da tabela 3 acima, foi possível determinar a cota do NA Normal para o barramento para o volume de armazenamento necessário como sendo a cota 563,40 m, implicando numa altura útil de barramento de aproximadamente 4,40 m. Para fins de borda livre, a crista do barramento foi definida para a cota 565, com borda de 1,60 m em relação ao nível d'água normal.

Níveis notáveis do reservatório

NA Normal

O NA Normal de operação, conforme apresentado, foi estabelecido para a cota 563,40, para que seja possível efetuar a operação de abastecimento público, dentro dos volumes de reservação esperados.

NA Máximo

O NA máximo operacional foi definido para a cota 564,00 onde será instalada a soleira do vertedouro de descarga.

O volume acumulado (diferença entre a cota do NA Normal e a cota do NA Máximo), nessa situação é da ordem de 100.000 m³, implicando numa capacidade de amortecimento de vazões no reservatório de cerca de 4:00 horas, antes do início do vertimento.

NA Máximo *maximorum*

O NA máximo *maximorum* para o reservatório foi definido para a cota 564,50 m, considerando uma folga livre de 0,50 m até a crista do barramento. Para essa situação, o volume total acumulado no reservatório é da ordem de 350.000 m³,

Vazão de descarga a jusante

De acordo com os estudos de regionalização hidrológica, a vazão firme a jusante será de 0,5081 m³/s, ou seja, 78% acima da vazão mínima $Q_{7,10}$ para o local.

Estudos hidráulicos

Dimensionamento do descarregador de fundo

O descarregador de fundo, necessário à adequada manutenção e operação da barragem, foi dimensionado como uma saída de borda (bocais) para a veiculação da vazão Q_{50} , ou seja: vazão média do curso d'água, que é da ordem de $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$, resultando em um diâmetro de $0,40 \text{ m}$, conforme apresentado na figura a seguir:

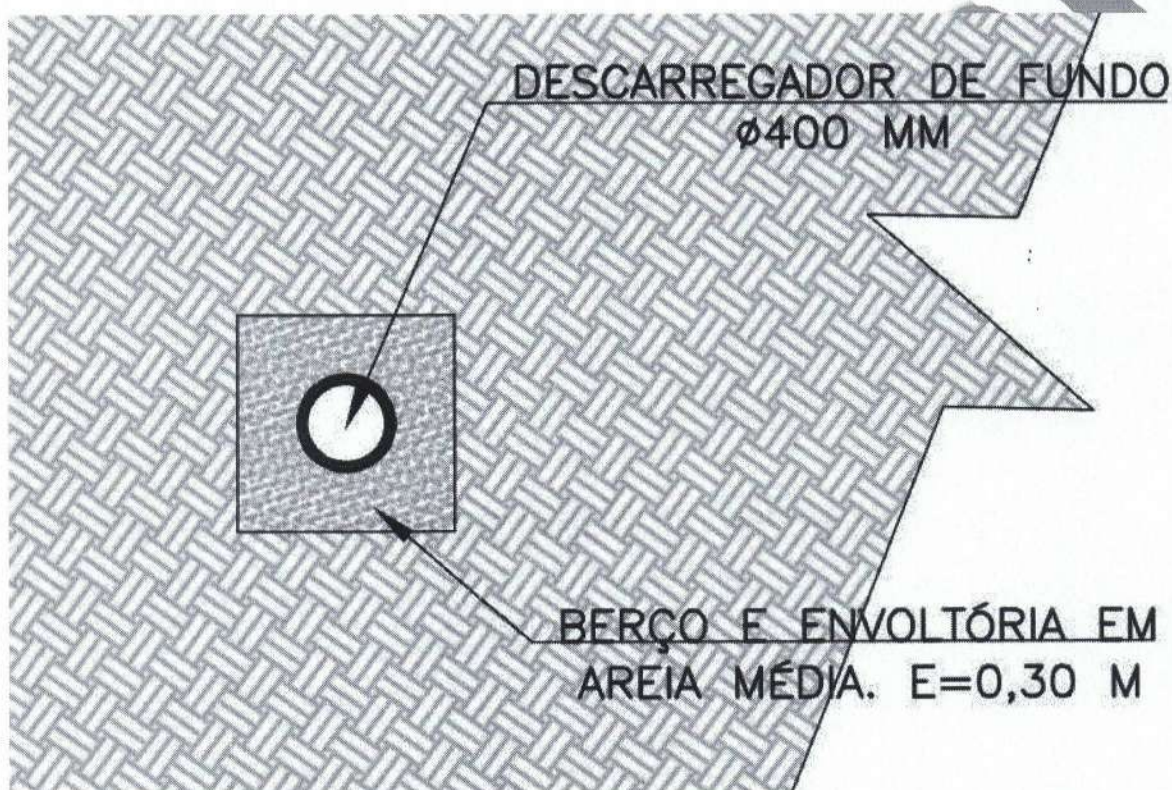


Figura 7. Seção típica da tubulação de descarga de fundo

Por facilidade construtiva, este tubo deverá ser executado em PEAD e dotado de dispositivo tipo monge à montante e de válvula de controle à jusante, para maior controle na operação das vazões de descarga, permitindo manter a perenidade do curso d'água à jusante.

Dimensionamento do vertedor extravasor

Dada a ordem de grandeza da bacia hidrográfica ($86,5 \text{ km}^2$), as vazões afluentes ao reservatório foi realizado um estudo integrado das sub-bacias de contribuição na área de influência direta do barramento por meio de métodos de routing, onde são determinados os hidrogramas de escoamento para as sub-bacias de interesse, bem como os tempos de propagação das ondas de cheias, por meio do modelamento topológico da rede de drenagem e utilização de modelo chuva – vazão do SCS (Soil Conservation Service) que é recomendado por traduzir, de uma maneira adequada, o funcionamento de uma bacia, por calcular o tempo de concentração pelo processo cinemático para os canais existentes. Isso permite ainda que, após a elaboração do projeto hidráulico seja reavaliada a vazão de projeto com o tempo de concentração estabelecido para a velocidade de escoamento calculada para a obra do barramento.

Assim, as vazões afluentes foram obtidas pelo método da onda cinemática ao ponto de exutório, com o uso do software ABC-6, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Informação (LABSID) do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da USP.

Neste método, a bacia hidrográfica é subdividida em bacias menores, de forma a permitir a correta avaliação dos tempos de trânsito das ondas de cheia ao longo do curso d'água. Para fins da bacia ora em estudo, foram considerados os principais afluentes e formadores do Ribeirão Boa Vista, conforme apresentado na figura a seguir:

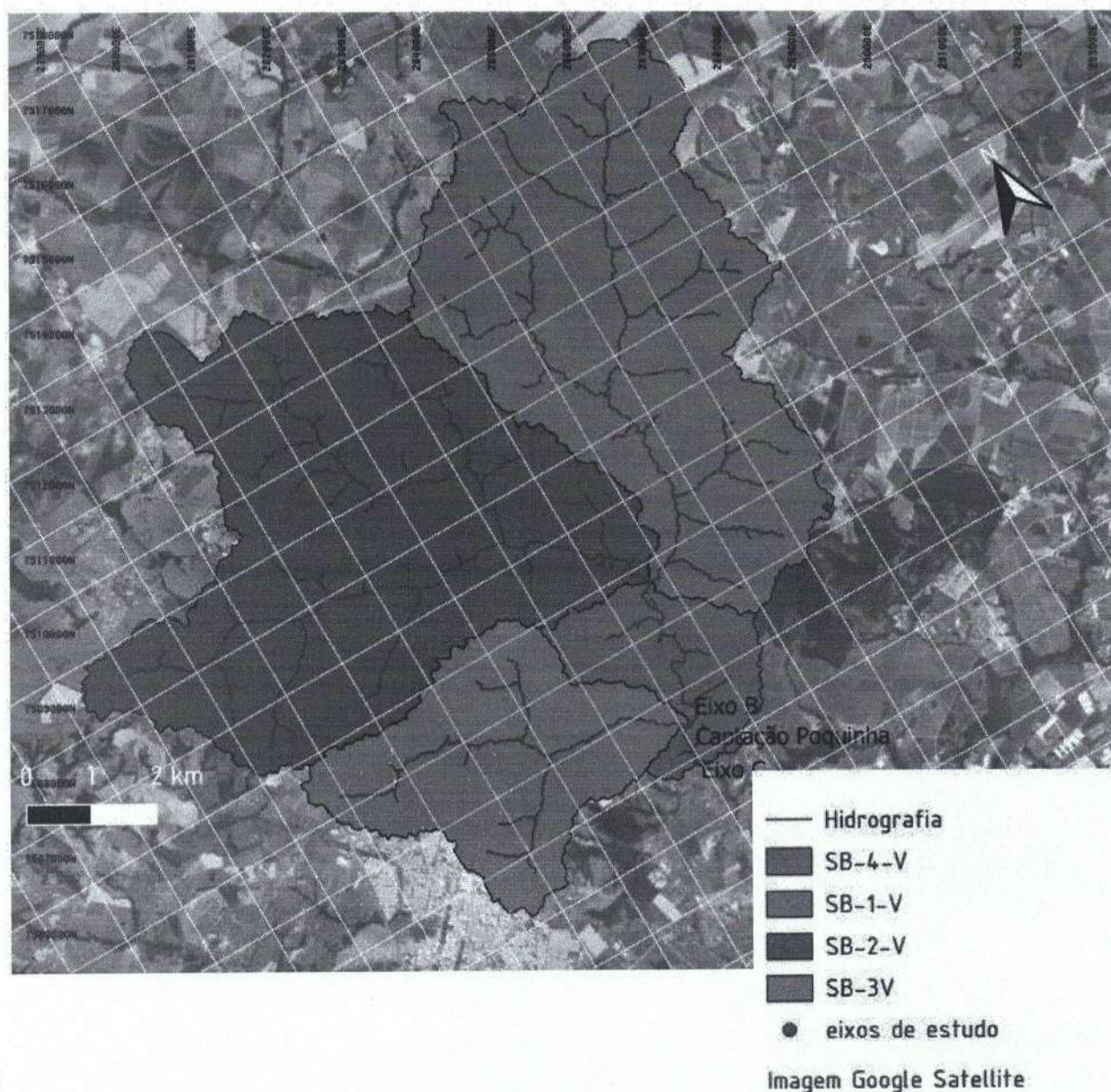


Figura 8.

Sub-bacias de contribuição no Ribeirão Boa Vista até o ponto de implantação do barramento (eixo C)

As características fisiográficas das sub-bacias consideradas no estudo, são indicadas na tabela a seguir:

Tabela 4. Características fisiográficas das sub-bacias do Ribeirão Boa Vista até o eixo de implantação do barramento

Bacia	Área (m ²)	Comprimento do talvegue (m)	cota nascente (m)	cota foz (m)	Desnível (m)	Declividade (m/km)	tempo de concentração (h)
SB-1V	31.389.609,00	9136	677	566	111	12,14974	2
SB-2V	36.302.928,00	9956	636	566	70	7,030936	2,63
SB-3V	13.150.363,00	5909	656	562	94	15,90794	3,5
SB-4V	5.609.903,00	3798	566	559	7	1,843075	1,33

O tempo de concentração das bacias hidrográficas de contribuição foi estimado, para cálculo das chuvas de projeto, com base na expressão do "Califórnia Culverts Practice", dada por:

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

Onde:

t_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue do curso d'água, em km;

Δh = desnível do talvegue entre a seção de interesse e o ponto mais distante da bacia, em metros.

O desnível do talvegue foi extraído a partir das cotas de fundo dos pontos de interesse, obtidos do levantamento topográfico fornecido.

A rede topológica modelada para a bacia é apresentada na figura a seguir:

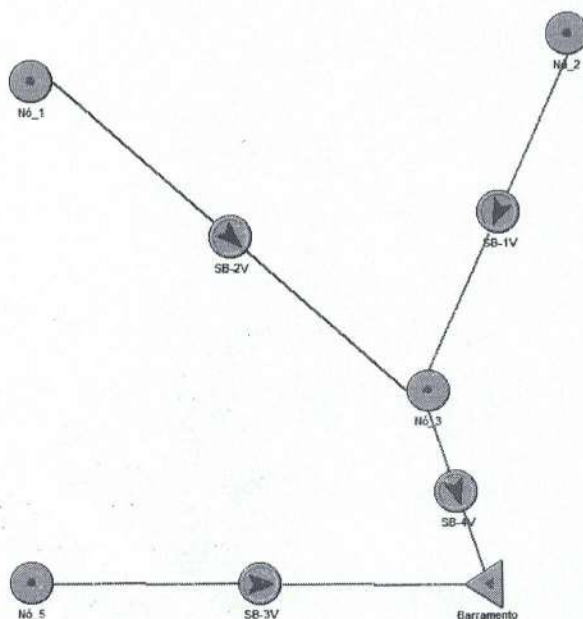


Figura 9. Rede topológica modelada para a bacia do Ribeirão Boa Vista, até o ponto do barramento.

As hipóteses básicas do hidrograma unitário são as seguintes:

- A intensidade da chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o hidrograma unitário;
- A chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia;
- O tempo base ou tempo de duração do hidrograma do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante, e;
- Os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, detenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal, etc. são refletidos na forma do hidrograma unitário da bacia.

Assim, a altura da lâmina d'água relacionada à vazão de escoamento superficial direto é dada por:

$$h_{exc} = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S}, \text{ com } P > 0,2S$$

Onde:

- h_{exc} = altura da lâmina d'água excedente no escoamento superficial direto (em mm);
- P = altura de precipitação (mm);
- S = retenção potencial do solo (mm)

O valor de S é dependente do tipo de solo e de sua ocupação, e é determinado por tabelas apropriadas;

A quantidade de $0,2S$ é uma estimativa de perdas iniciais devidas à interceptação e retenção em depressões, por esta razão há a imposição de que $P > 0,2S$

Definições do CN - Curve Number

No método SCS, o número CN, conhecido como *Curve Number* define as condições antecedentes do solo. O método considera a importância da condição antecedente do solo, pois este poderá estar em condições normais ou muito seco ou muito úmido. O quadro a seguir apresenta as condições do solo para definição do CN, em função de sua umidade ou estado

O parâmetro CN é basicamente dependente dos seguintes fatores:

- Tipo de solo;
- Condições de uso e ocupação do solo, e;
- Umidade antecedente do solo.

Em termos de tipos de solos, o método do SCS distingue quatro grupos de solo com comportamentos hidrológicos distintos, como segue:

- **Grupo A** – Solos Arenosos com baixo teor de argila total inferior a 8%. Não há rocha nem camadas argilosas, nem mesmo adensadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é inferior a 1%.
- **Grupo B** – Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A, com presença de argilas em proporção inferior a 15%. Nas chamadas “terras roxas” o teor de argila pode subir a

20% graças à sua porosidade. Não há presença de pedras e camadas argilosas até 1,5 m, mas há a presença de camada de maior densidade que a camada superficial. Os teores de húmus podem alcançar 1,5% do total.

- **Grupo C** – Solos com teores de argila entre 20 a 30%, ainda sem a presença de camadas argilosas impermeáveis ou com pedras até profundidades de 1,2 m. No caso das terras roxas, os limites de argilas podem alcançar 40%. Há presença de camada de maior densidade a cerca de 0,60 m de profundidade, mas ainda longe de condições de impermeabilidade.
- **Grupo D** – Solos predominantemente argilosos (30 a 40% do total) e com presença de camada adensada a cerca de 0,50 m de profundidade. Podem ainda apresentar horizontes de argila quase impermeável ou de seixos rolados.

Sartori (2004) em consideração à pedologia dos solos de caráter tropical, propôs um agrupamento diferenciado para os solos presentes no Estado de São Paulo, conforme apresentado na tabela 5:

Tabela 5. Enquadramento das atuais classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo (SARTORI, 2004)

Grupo Hidrológico do Solo	Classes gerais de solo
A	• LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; • LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso;
B	• LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; • LATOSSOLO BRUNO; • NITOSSOLO VERMELHO; • NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; • ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
C	• ARGISSOLOS pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; • CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou ÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); • ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; • NEOSSOLO FLÚVICO.
D	• NEOSSOLO LITÓLICO; • ORGANOSSOLO; • GLEISSOLO; • CHERNOSSOLO; • PLANOSSOLO; • VERTISSOLO; • ALISSOLO; • LUVISSOLO; • PLINTOSSOLO; • SOLOS DE MANGUE;

Grupo Hidrológico do Solo	Classes gerais de solo
	• AFLORAMENTOS DE ROCHA; • Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; • ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

O método, para as definições do CN (*curve number*), também considera uso e ocupação, evidenciando os efeitos da urbanização sobre o sistema de drenagem, de acordo com o exposto na tabela a seguir:

Tabela 6. Definição do parâmetro CN em função do uso e ocupação do solo

Tipo de uso do solo / tratamento / condições hidrológicas		Grupo hidrológico			
		A	B	C	D
Uso residencial					
Tamanho médio do lote					
	até 500 m ²	65	77	85	90
	1000 m ²	38	61	75	83
	1500 m ²	30	57	72	81
Estacionamentos Pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e Estradas					
	pavimentadas com guias e drenagem	98	98	98	98
	com cascalho	76	85	89	91
	de terra	72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins					
	boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
	condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Terreno preparado para plantio					
	Plantio em linha reta	77	86	91	94
Cultura em fileira					
linha reta	condições ruins	72	81	88	91
	condições boas	67	78	85	89
curva de nível	condições ruins	70	79	84	88
	condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
linha reta	condições ruins	65	76	84	88
	condições boas	63	75	83	87
curva de nível	condições ruins	63	74	82	85
	condições boas	61	73	81	84
Pasto					
	condições ruins	68	79	86	89
	condições médias	49	69	79	84
	condições boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	condições médias	25	59	75	83
	condições boas	6	35	70	79
Campos					
	condições boas	30	58	71	78
Florestas					
	condições ruins	45	66	77	83
	condições boas	36	60	73	79
	condições médias	25	55	70	77

Note-se que as definições da tabela anterior estão relacionadas à condição II de umidade do solo, que é definida pela tabela 7, apresentando as condições de umidade antecedente do solo:

Tabela 7. Condições do solo em função de sua umidade para definição do CN

Condição do solo	Situação do solo
I	Solo seco. As chuvas dos últimos dias não ultrapassam 1 mm
II	Solo úmido. Condições médias do solo. As chuvas nos últimos dias variam entre 1 e 40 mm É a condição normal das tabelas do número CN.
III	Solo saturado Ocorreram precipitações superiores a 40 mm nos últimos cinco dias

Para conversão dos parâmetros CN com condição de umidade do solo tipo II constantes da Tabela 1 para outras condições de umidade do solo é utilizada a tabela 8:

Tabela 8. Conversão de CN para diferentes condições de umidade do solo

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Uso e ocupação do solo na bacia

Por se tratar de área rural, com uso e ocupação predominante de pastos e campos, seria possível a adoção de um CN igual a 35. Porém, será adotado neste estudo um número de curva CN igual a 50, em favor da segurança, em função do vasto horizonte temporal associado ao projeto e à possibilidade de urbanização na bacia.

Intensidade e distribuição temporal da precipitação - chuva de projeto

A Chuva de Projeto consiste num evento crítico de precipitação, construído de maneira artificial, com base nas características estatísticas das chuvas, bem como em relação aos parâmetros de resposta da bacia hidrográfica.

Nesse sentido, para definição da chuva de projeto foi utilizada a equação de chuva para o município de Artur Nogueira, obtida por meio do software Pluvio 2.1 – Equações de Chuvas Intensas para o Brasil, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH/UFV):

$$i \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = \frac{1999,996 * (T_R)^{0,139}}{(t_c + 17,162)^{0,882}}$$

onde:

- i = intensidade de chuva em mm/ min;
- t = duração da chuva em minutos;
- T = período de retorno em anos.

Tabela 9. Intensidades de precipitação em função dos períodos de retorno obtidas para as sub-bacias do estudo

TR	Intensidade de precipitação (mm/h)			
	SB-1	SB-2	SB-3	SB-4
50	254,73	319,42	329,63	331,07
100	280,49	323,73	330,24	331,16
500	350,81	333,95	331,67	331,36
1000	386,29	338,45	332,29	331,44

Para fins de distribuição temporal da precipitação optou-se pelo emprego do Método dos Blocos Alternados, que é um dos mais usados. Tucci, (2002), usou este método no Plano Diretor de Drenagem de Porto Alegre.

O Método dos Blocos Alternados é uma técnica hidrológica utilizada para definir a distribuição temporal de uma chuva de projeto. Em vez de considerar que a chuva cai com a mesma intensidade do início ao fim, esse método organiza a precipitação em blocos de tempo para criar um hietograma (gráfico de precipitação x tempo) mais realista para o dimensionamento de obras hidráulicas.

Enquanto o Método Racional se utiliza de um hietograma completamente adiantado (chuva total), o método dos blocos alternados reordena o hietograma, de forma a posicionar o pico de precipitação de forma centralizada no intervalo de tempo considerado para a tormenta de projeto.

Por esse procedimento, após a definição da duração total da chuva a ser obtida e de seu tempo de retorno definido de acordo com intervalos de tempo de múltiplos comuns, são calculadas com base nas relações IDF as intensidades médias para a diversas durações até a duração total. Essas intensidades são, então, transformadas em alturas de chuva e representam os valores acumulados até o último intervalo. Os incrementos entre um valor acumulado e outro são calculados e rearranjados, de forma que o maior valor se localize no centro da duração total da chuva, e os demais sejam dispostos em ordem decrescente, sempre um à direita e outro à esquerda do bloco central, alternadamente.

Cada bloco de chuva do hietograma adiantado é sucessivamente colocado no entorno do bloco de pico, alternando entre posições à esquerda e à direita do centro da tormenta, de onde vêm sua denominação.

Mc

Este arranjo é considerado "conservador" (mais seguro), pois gera um pico de vazão elevado no meio da tormenta, o que é crítico para o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana e controle de inundações.

O intervalo de discretização dos dados adotado para o presente estudo foi de 10 minutos, sendo o hietograma de projeto para a precipitações associadas aos diferentes períodos de retorno para cálculo das vazões nas sub-bacias de contribuição é apresentado a seguir:

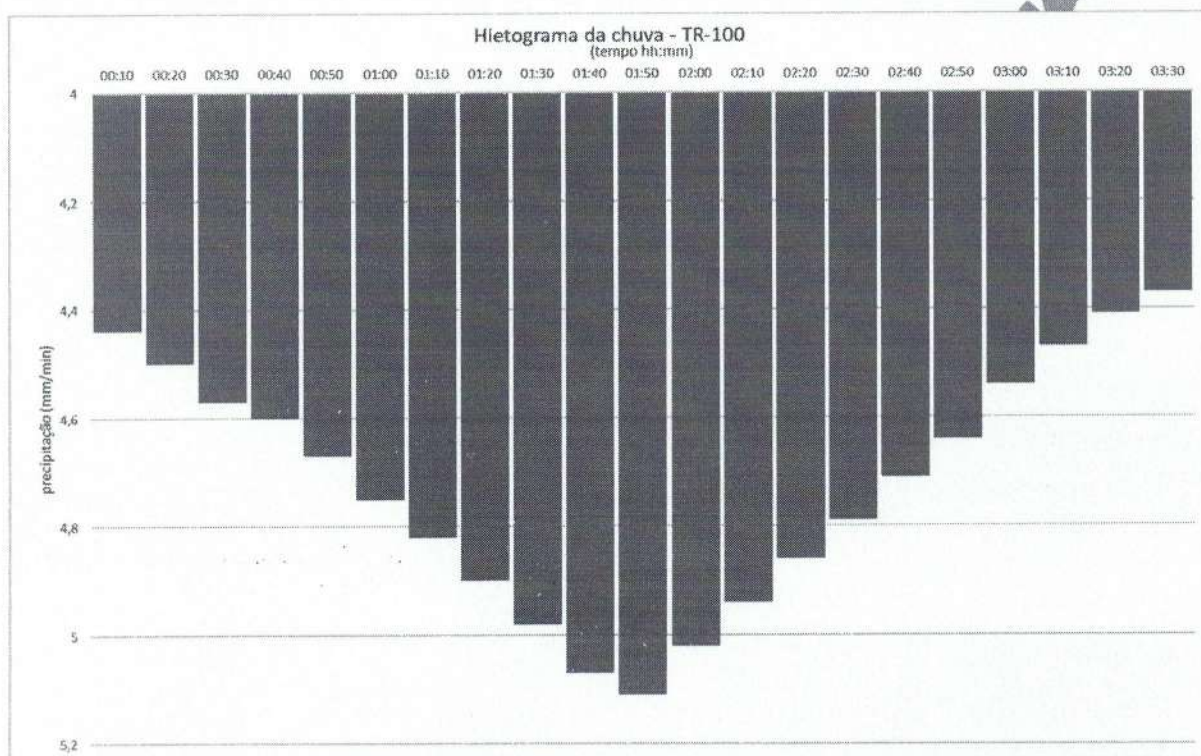


Figura 10. Precipitação da chuva de projeto para TR-100

Com base nos dados fisiográficos da bacia já calculados anteriormente e inseridos no modelo topológico da rede de macrodrenagem no *software* ABC-6, obteve-se os hidrogramas de escoamento para as bacias de contribuição e para os pontos de exutório da rede topológica, definido como o ponto de implantação do barramento, conforme apresentado pelo gráfico a seguir:

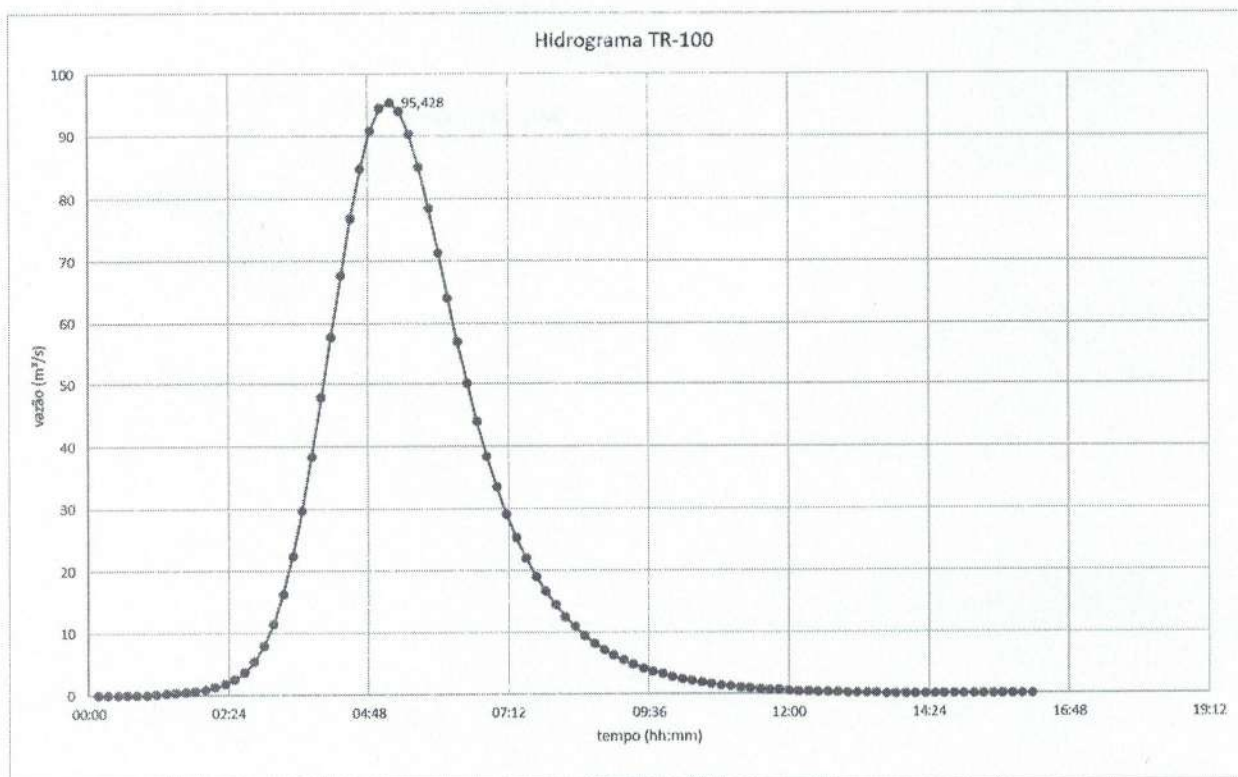


Figura 11. Hidrograma de escoamento na Bacia para Tempo de Retorno de 100 anos, no ponto de implantação do Barramento.

Assim, o vertedouro extravasor deverá comportar uma vazão de pico em chuvas excepcionais da ordem de $96 \text{ m}^3/\text{s}$.

Embora o barramento possua altura inferior a 10 m, considerou-se oportuna a verificação da suficiência do dispositivo vertedor para um evento chuvoso de 500 anos, que possui o seguinte hietograma:

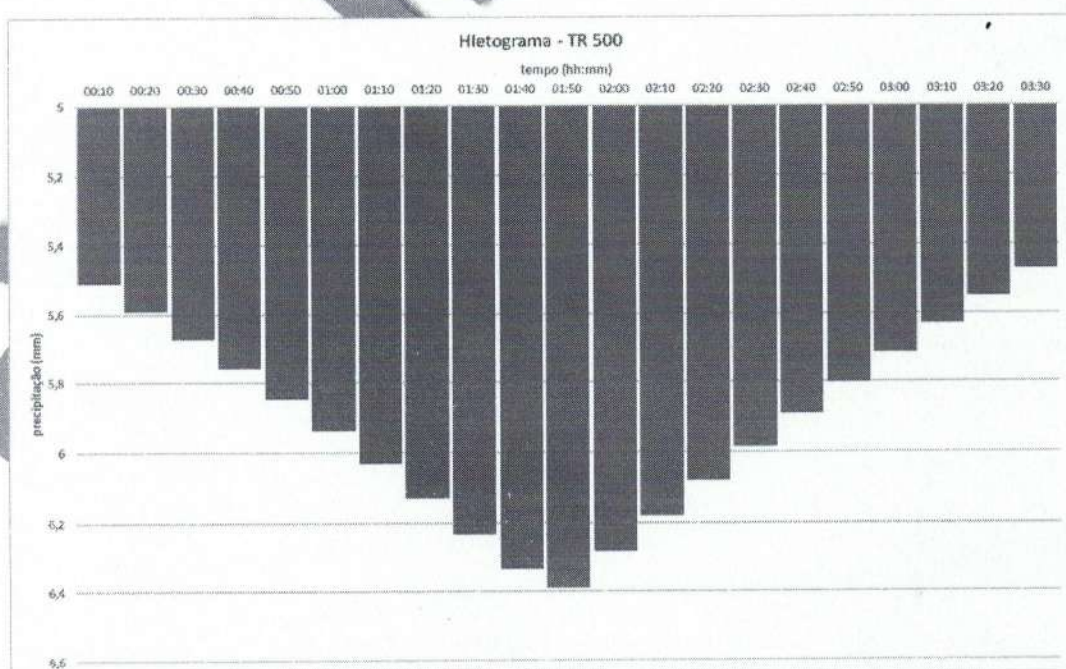


Figura 12. Precipitação da chuva de projeto para TR-500

O hidrograma afluente para esta precipitação é apresentado a seguir:

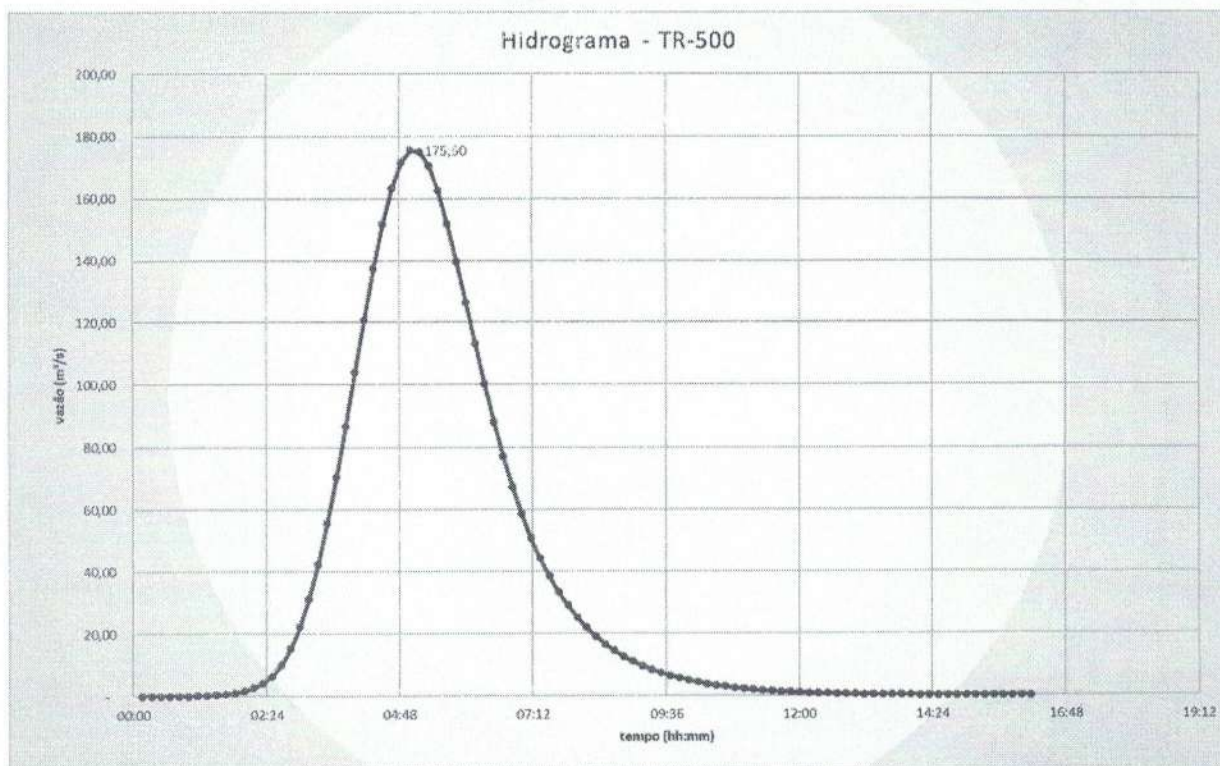


Figura 13. Hidrograma de escoamento na Bacia para Tempo de Retorno de 100 anos, no ponto de implantação do Barramento

Assim, o vertedor deverá ter sua dimensão horizontal (L) determinada para a veiculação da uma vazão de pico de TR-100 anos, com altura das laterais do canal suficiente para veicular uma vazão de TR-500 anos. Para a determinação do comprimento L do vertedor foi utilizada a equação do Vertedor de soleira espessa:

$$Q = 1,7 * L * h^{3/2}$$

Onde:

- Q = vazão de escoamento em m³/s;
- h = altura da lâmina d'água em m.
- L = largura do vertedor.

Da aplicação das vazões apresentadas, determinou-se um comprimento econômico do vertedor equivalente à 38 m de extensão, para uma lâmina d'água de 1,3 m para o período de retorno de TR-100 anos e uma lâmina d'água de 1,95 m para período de retorno de 500 anos, que é considerado o nível máximo *maximorum* para o reservatório, situando a crista na cota 552,99, sendo estabelecida a cota construtiva de 553,00 M.

Marlon Capello
Assessor Técnico