

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME DE DETENÇÃO EM PEQUENAS  
BACIAS URBANAS: O CASO DO CÓRREGO WENZEL, RIO CLARO/SP

Jônatas Guerzoni Filho

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

JÔNATAS GUERZONI FILHO

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME DE  
DETENÇÃO EM PEQUENAS BACIAS URBANAS: O CASO  
DO CÓRREGO WENZEL, RIO CLARO/SP**

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Ambiental.*

Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)

2014

JÔNATAS GUERZONI FILHO

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME DE  
DETENÇÃO EM PEQUENAS BACIAS URBANAS: O CASO  
DO CÓRREGO WENZEL, RIO CLARO/SP**

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Ambiental.*

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi (orientador)

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Prof. Dr. André Luiz de Oliveira

Rio Claro, 30 de Junho de 2014.

628.092 Guerzoni Filho, Jônatas  
G935m Metodologia para determinação de volume de detenção  
em pequenas bacias urbanas: o caso do Córrego Wenzel, Rio  
Claro/SP / Jônatas Guerzoni Filho. - Rio Claro, 2014  
51 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -  
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas

Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

1. Engenharia ambiental. 2. Drenagem urbana. 3. Bacia de  
detenção. 4. Método racional. 5. Volume específico. 6. Bacia  
do Wenzel. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

Aos meus pais Jônatas e Márcia, meus irmãos  
Rafael e Sabrina e minha namorada Juliana.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e capacidade de raciocínio a mim proporcionados. Também a meu pai Jônatas e minha mãe Márcia por todo o carinho e esforços demonstrados para a minha formação acadêmica, de forma que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus irmãos Sabrina e Rafael e à minha namorada Juliana pelo apoio e motivação.

A todos os meus colegas de turma, e principalmente aos amigos que formei nessa caminhada: Erich, Daniel, Eder, André, Leila e Fernanda.

Ao meu orientador Rodrigo Moruzzi, pela paciência, conselhos e ajuda durante a elaboração desse trabalho.

## RESUMO

Com o processo acelerado de urbanização do Brasil a partir da década de 50, houve a ocupação desordenada dos espaços e consequente impermeabilização do solo. Diferentemente desse crescimento, a capacidade de suporte dos ambientes urbanos não evoluiu da mesma maneira, gerando impactos socioambientais negativos para a população. Dentre esses impactos, estão os problemas relacionados às enchentes.

Com o intuito de minimizar os efeitos negativos das precipitações extremas nas cidades, o poder público investe em medidas corretivas, como as técnicas compensatórias de drenagem urbana, que possuem como princípio básico a retenção e infiltração das águas pluviais, amortecendo o pico de vazão e o escoamento superficial. Um exemplo da aplicação dessas técnicas em áreas urbanas são as bacias de retenção.

O dimensionamento hidráulico dessas estruturas de drenagem depende de dados e fatores complexos, e para projetos envolvendo pequenas áreas em geral são utilizados métodos simplificados para a determinação do volume de armazenamento dos reservatórios (Tassi, 2005). Um desses métodos é apresentado neste estudo, o qual relaciona a variável do fator de impermeabilização do solo ao volume específico de armazenamento ( $m^3/ha$ ) através da aplicação em conjunto do modelo hidrológico do Método Racional com a equação de chuvas regional e a análise de ocupação do solo da bacia.

Dentro desse contexto, a bacia do Córrego Wenzel, a qual está localizada em meio à zona urbana do município de Rio Claro/SP, também apresenta os problemas supracitados em razão da ocupação antrópica em seu vale fluvial. Assim, através do método apresentado foi ajustada uma curva correlacionando a porcentagem da área impermeabilizada da bacia e o volume específico da bacia de retenção. Para a situação atual da Bacia do Wenzel, com 82% de área impermeável, e um tempo de retorno de 50 anos, o volume é de  $328,9 m^3/ha$ .

O método apresentou resultados compatíveis com outros estudos realizados na área, e a expressão obtida permite estimar o volume de armazenamento necessário para igualar os hidrogramas de pré e pós-ocupação. Apresenta-se como uma ferramenta útil na etapa de planejamento da obra, auxiliando na definição de áreas de interesse bem como na fiscalização de obras já realizadas.

**Palavras-chave:** Bacia de retenção; Método racional; Volume específico; Bacia do Wenzel.

## ABSTRACT

With the accelerated urbanization process of Brazil from the 50s, there was a disorderly occupation of spaces and consequent soil sealing. Unlike this growth, the support capacity of urban environments has not evolved in the same way, generating negative environmental impacts to the citizens. Among these impacts are the effects of flooding.

In order to minimize the negative effects of extreme precipitation over cities, the government invests in corrective measures, like compensatory techniques on urban drainage, which have as a basic principle the retention and infiltration of the rainfall, dampening the peak flow and runoff. An example of applying these techniques in urban areas are the detention basins, commonly called large pools.

The hydraulic design of these structures is dependent of complex data and variables, and projects involving small areas generally use simplified methods for defining the reservoirs volume of the storage (Tassi, 2005). One of these methods is presented in this study, which relates to the percentage of soil sealing to the specific storage volume ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) in combination by applying the hydrological model of the Rational Method and analyzing regional rainfall and soil occupation over the basin.

Within this context, the basin of the Wenzel stream, which is located amidst the urban area of Rio Claro/SP, also presents the problems related to human occupation in its valley. Thus, by the method presented has been adjusted a curve correlating the percentage of impermeable area and the specific volume of a detention basin. For the current situation of Wenzel Basin with 82% of impermeable area, and return period of 10 years, the specific volume is  $262.1 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

The presented method is consistent with the results of other studies in the area, and the expression obtained allows estimating the volume of storage required to match hydrograph pre and post-occupancy. It presents itself as a useful tool in the planning stage of the project, helping to define areas of interest as well as in the supervision of structures already made.

**Keywords:** Detention basin. Rational Method. Specific volume. Wenzel Basin.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Localização da Bacia do Wenzel. ....	6
Figura 3.2 - Divisão hidrológica do Estado de São Paulo. Em vermelho a localização da cidade de Rio Claro. ....	7
Figura 3.3 - Bacia do Rio Corumbataí. ....	8
Figura 3.4 - Localização da Bacia Sedimentar do Paraná. ....	10
Figura 3.5 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná (Schneider <i>et al</i> , 1974). ...	11
Figura 3.6 - Geologia regional do município de Rio Claro. ....	12
Figura 3.7 - Geologia da Bacia do Wenzel. ....	14
Figura 3.8 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Almeida, 1964). ....	16
Figura 4.1 - Pontos de inundação nos córregos Wenzel e Servidão. ....	20
Figura 5.1 - Modelo de hidrograma do Método Racional. ....	21
Figura 5.2 - Gráfico da diferença entre hidrogramas urbano e rural para a mesma bacia e o volume de retenção (área cinza). ....	22
Figura 6.1 – a) Distribuição dos dados de área impermeabilizada pela densidade populacional pré e pós-ajuste da Bacia do Wenzel; b) Detalhe da curva pós-ajuste. ....	31
Figura 6.2 - Setores censitários da Bacia do Wenzel. ....	32
Figura 6.3 - Interpretação do coeficiente de correlação (Shimakura, 2006). ....	33
Figura 6.4 - Uso e ocupação do solo na Bacia do Wenzel. ....	35
Figura 6.5 - Variação do Coeficiente de Escoamento Superficial em função da Porcentagem de Área impermeável. ....	37
Figura 6.6 - Mapa de declividades da Bacia do Wenzel. ....	38
Figura 6.7 - Gráfico da vazão específica de pré-desenvolvimento da Bacia do Wenzel pelo tempo de retorno. ....	41
Figura 6.8 - Gráfico do tempo de duração da chuva crítica pela área impermeabilizada. ....	44
Figura 6.9 - Volume específico pela área impermeabilizada para diversos tempos de retorno. ....	45

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 - Valores de C para superfícies em áreas urbanas, segundo Asce (1969). .....	24
Tabela 5.2 - Valores de C para ocupação em áreas urbanas, segundo Asce (1969).....	24
Tabela 5.3 - Valores de C' para o cálculo de C em áreas rurais, segundo Willians (1949).....	25
Tabela 6.1 - Análise dos setores censitários da Bacia do Wenzel.....	29
Tabela 6.2 - Classificação dos usos do solo com relação à permeabilidade do substrato. ....	34
Tabela 6.3 - Valores do coeficiente de escoamento superficial por usos do solo para a Bacia do Wenzel.....	36
Tabela 6.4 - Projeção para os valores do Coeficiente de Escoamento Superficial em função da Área Impermeabilizada da Bacia do Wenzel. ....	37
Tabela 6.5 - Memorial de cálculo da Declividade do Talvegue ( $S_R$ ).....	39
Tabela 6.6 - Cálculo da vazão específica de pré-desenvolvimento ( $q_{pré}$ ).....	41
Tabela 6.7 - Cálculo do Volume Específico ( $V_{esp}$ ) em função da área impermeabilizada e do tempo de retorno.....	43

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>5</b>
3.1. LOCALIZAÇÃO .....	5
3.2. HIDROGRAFIA .....	7
3.3. GEOLOGIA .....	9
3.3.1. Geologia regional .....	9
3.3.2. Geologia da Bacia do Wenzel .....	13
3.3.2.1. Formação Rio Claro .....	15
3.3.2.2. Formação Corumbataí .....	15
3.4. GEOMORFOLOGIA .....	16
3.5. HIDROGEOLOGIA .....	17
<b>4. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>18</b>
<b>5. MÉTODO .....</b>	<b>21</b>
5.1. VOLUME DE DETENÇÃO .....	22
5.1.1. Coeficiente de Escoamento Superficial (C) .....	23
5.1.2. Intensidade máxima de chuva ( $I_{máx}$ ) .....	26
5.1.3. Tempo de Concentração ( $t_c$ ) .....	27
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
6.1. RELAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO COM A DENSIDADE POPULACIONAL .....	29
6.2. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C) .....	33
6.3. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO ( $t_c$ ) .....	37
6.4. VOLUME DE DETENÇÃO ( $V_{det}$ ) .....	39
6.4.1. Método Racional .....	39
<b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>8. CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização da população brasileira ocorre desde a metade do século XX, época na qual cerca de 60% dos cidadãos vivia em áreas rurais. Desde então, o cenário inverteu-se, e dados demográficos recentes indicam que 84% de toda a população nacional residem em zonas urbanas (IBGE, 2010). Embora tal fato represente o desenvolvimento social e econômico da nação, segundo Menezes & Costa (2007) o crescimento urbano aconteceu de forma acelerada e desordenada, resultando em crises de caráter socioambiental, prejudicando a qualidade de vida da população. Pois, em todo o país, a ocupação urbana geralmente não obedece a nenhum tipo de planejamento, não é embasada por políticas públicas e não é acompanhada das obras estruturais necessárias. Esse déficit de investimentos e serviços é uma das principais causas dos problemas ambientais observados nesses espaços (Martins Júnior, 1996).

Diferentemente do crescimento urbano, a capacidade de suporte das cidades não apresentou tal evolução, de forma que os serviços e infraestrutura necessários à manutenção da qualidade de vida da população foram sobrecarregados, desencadeando impactos ambientais negativos.

No Estado de São Paulo e, mais especificamente na cidade de Rio Claro, esta realidade também é presente. De acordo com Zaine (2000), a população residente na cidade corresponde a 97% do total. Mesmo com o histórico de degradação ambiental no município decorrente da má ocupação, os bairros que fazem limite com a zona rural do município, os quais foram recentemente urbanizados, ainda são afetados por diversos problemas de caráter social, técnico e ambiental, consequentes da falta de planejamento na época de sua ocupação.

Dentre as fácies afetadas pela urbanização, está o sistema hidrológico, que compreende os fenômenos de precipitação, drenagem, escoamento, infiltração, absorção, transpiração e evaporação. A urbanização implica em aumento da área impermeabilizada, alterando os parâmetros de vazão e escoamento superficial, potencializando-os; e capacidade de infiltração, diminuindo-a.

Quando executada de forma desordenada, a ocupação urbana acarreta problemas hidrológicos de ordem socioambiental como enchentes, inundações e fortes enxurradas, causando prejuízo material e eventualmente mortes. Estima-se que o prejuízo econômico relacionado aos eventos de inundação e enchente no Brasil nos últimos dez anos foi de cinco

bilhões de reais, colocando o Brasil no 18º lugar no ranking de países que mais sofrem prejuízos econômicos pelas chuvas.

Nesse contexto, em que a ocupação não planejada promoveu a potencialização dos danos causados pelas enchentes, as autoridades competentes em união com o poder público começam a investir em medidas corretivas no intuito de minimizar os efeitos das precipitações extremas nas cidades, compreendendo ações sociais de apoio à população atingida e obras estruturais de engenharia para o combate às enchentes, chamadas técnicas compensatórias.

As técnicas compensatórias possuem como princípio básico a retenção e infiltração das águas pluviais, amortecendo o pico de vazão e o escoamento superficial de modo que haja uma diminuição na velocidade da água, e assim uma redução na probabilidade de inundações à jusante. Uma das técnicas de engenharia mais utilizadas nas cidades é o amortecimento da onda de cheia por meio de bacias de detenção, ou piscinões, sua denominação comum.

As bacias de detenção são estruturas de macrodrenagem, armazenando um determinado volume de água pluvial e aumentando o tempo decorrido até que se atinja a vazão máxima de chuvas. A determinação desse volume está relacionada ao risco admitido de enchentes, à fisiologia da bacia de drenagem e dos leitos dos cursos d'água, ao regime pluviométrico local e à taxa de impermeabilização da bacia de drenagem.

Embora as técnicas compensatórias se apresentem como boas alternativas na resolução do problema, a melhor maneira de evitar as inundações e suas consequências é através das da ação conjunta de investimentos em infraestrutura e um planejamento urbano e regulamentação do uso do solo, limitando a ocupação de áreas de várzea, no entorno de cursos d'água, e estabelecendo limites de impermeabilização nas estruturas urbanas. Segundo Batista (2005) *apud* Tamura (2012), é desejável que as estruturas de drenagem integrem o planejamento urbanístico, pois estas não se limitam apenas à prevenção e combate às enchentes, mas atuam também na esfera ambiental, no controle da poluição.

Mas, de acordo com Machado (2010), enquanto o planejamento da ocupação das áreas de um município não for obrigatório por lei, os interesses ambientais sempre estarão relacionados a práticas corretivas improvisadas e atitudes precipitadas dos administradores públicos, causando inclusive maiores prejuízos financeiros, com posteriores indenizações ou desapropriações. Legalmente, segundo a Constituição Federal de 1988 em seu artigo 182, § 1º, os municípios com mais de vinte mil habitantes devem possuir um Plano Diretor, no qual está implicitamente previsto o zoneamento ambiental, que tem como objetivo a determinação

da vocação ecológica das diferentes áreas e quais os seus possíveis usos e limitações, partindo como princípio para o planejamento de uma cidade.

Nesse sentido, além das medidas compensatórias necessárias para minimizar a problemática das enchentes nas cidades, faz-se necessário que o gerenciamento dos espaços urbanos passe a considerar os aspectos relacionados à macrodrenagem urbana, devendo os mesmos serem incorporados ao plano diretor municipal.

Para o município de Rio Claro/SP, Cunha, Moruzzi & Braga (2009) realizaram o diagnóstico de drenagem urbana, relacionando os impactos ambientais e as diretrizes utilizadas no Plano Diretor, fornecendo informações de grande importância para o planejamento urbano.

Dentro desse contexto, a bacia do Córrego Wenzel, a qual está localizada em meio à zona urbana do município, também apresenta os problemas supracitados em razão da ocupação em seu vale fluvial. O córrego sofre consequências da atividade antrópica, com depósitos de lixo e entulho em suas margens, assoreamento do leito, além da ocorrência de erosões lineares.

O dimensionamento hidráulico de bacias de retenção geralmente depende de muitos dados e fatores complexos, e não existe um único método para tal. Dessa maneira, quando o projeto envolve uma pequena área, são utilizados métodos simplificados para a determinação do volume de armazenamento dos reservatórios (Tassi, 2005).

Segundo Tucci *et al* (2002), o fator de impermeabilização de uma área pode ser relacionado à densidade populacional. Através da aplicação em conjunto de um modelo hidrológico com a equação de chuvas regional e a análise de ocupação do solo da bacia, é possível correlacionar a variável área impermeabilizada com o volume específico necessário para o dimensionamento de uma bacia de retenção que suporte o volume de água excedente na comparação das situações pré e pós-urbanização.

## **2. OBJETIVO**

A fim de padronizar, agilizar, e facilitar o trabalho de fiscalização, este trabalho visa apresentar uma alternativa no dimensionamento de bacias de detenção em pequenas bacias urbanas com ocupação já consolidada, provendo base técnica e teórica para a elaboração de políticas públicas de planejamento.

O método apresentado deve ser aplicado apenas para pequenas bacias de contribuição localizadas em área urbana, e seu limite de aplicação está relacionado ao método hidrológico utilizado. Como exemplo de aplicação do método, foi escolhida a Bacia do Córrego Wenzel, na área urbana do município de Rio Claro, no Estado de São Paulo.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Córrego Wenzel se situa na área urbana do município de Rio Claro, no interior do Estado de São Paulo. Ele recebeu este nome em razão de sua nascente estar localizada em bairro homônimo, o Jardim Wenzel.

Segundo o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 2007, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos hídricos do Estado de São Paulo, o Córrego Wenzel está classificado como Classe 4, podendo ser utilizado, segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para usos menos restritivos em relação à sua qualidade, como a navegação e harmonia paisagística.

Embora o Córrego Wenzel esteja associado a usos menos restritivos e possua um baixo padrão de qualidade de suas águas, ele possui influência na qualidade de vida dos habitantes de Rio Claro e região, pois recebe a contribuição das águas de chuva que precipitam sobre diversos bairros através das galerias pluviais, e deságua no Córrego da Servidão, que cruza grande parte da cidade de Rio Claro, sendo este último um dos afluentes do Rio Corumbataí, que possui grande importância para o município em razão de ser uma das fontes de água para abastecimento público.

Através do processo de urbanização da região, foram realizadas obras de drenagem ao longo do leito do córrego, com a canalização de um trecho de aproximadamente 750 metros, logo após sua nascente, na área da antiga Cerâmica Wenzel.

A bacia hidrográfica do Córrego Wenzel abrange uma área de 287,548 hectares, cobrindo em parte ou totalmente os bairros Jardim Wenzel, Parque Universitário, Vila Santa Cruz, Jardim São Paulo, Cidade Claret e Jardim Mirassol.

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO

A bacia do Wenzel localiza-se na porção central do município de Rio Claro, no Estado de São Paulo, o qual dista 173 km da capital paulista, tendo sua coordenada geográfica central aos 22°21' de latitude a sul da linha do Equador, e aos 47°39' de longitude a oeste do meridiano de *Greenwich* (Figura 3.1).

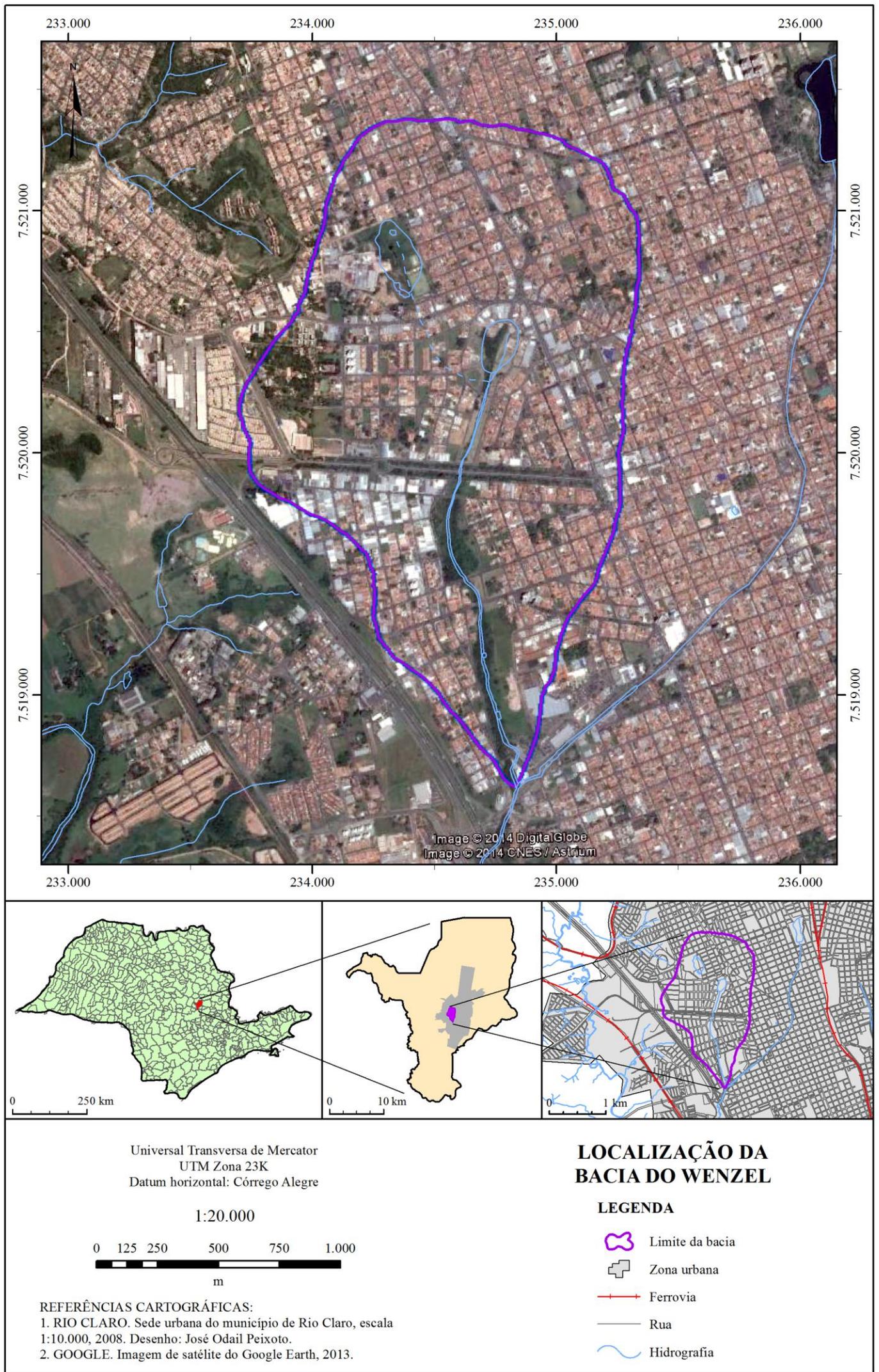
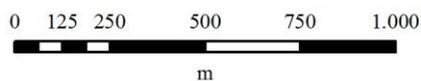


Figura 3.1 - Localização da Bacia do Wenzel.

Universal Transversa de Mercator  
 UTM Zona 23K  
 Datum horizontal: Córrego Alegre

1:20.000



### LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO WENZEL

#### LEGENDA

-  Limite da bacia
-  Zona urbana
-  Ferrovia
-  Rua
-  Hidrografia

#### REFERÊNCIAS CARTOGRÁFICAS:

1. RIO CLARO. Sede urbana do município de Rio Claro, escala 1:10.000, 2008. Desenho: José Odail Peixoto.
2. GOOGLE. Imagem de satélite do Google Earth, 2013.

### 3.2. HIDROGRAFIA

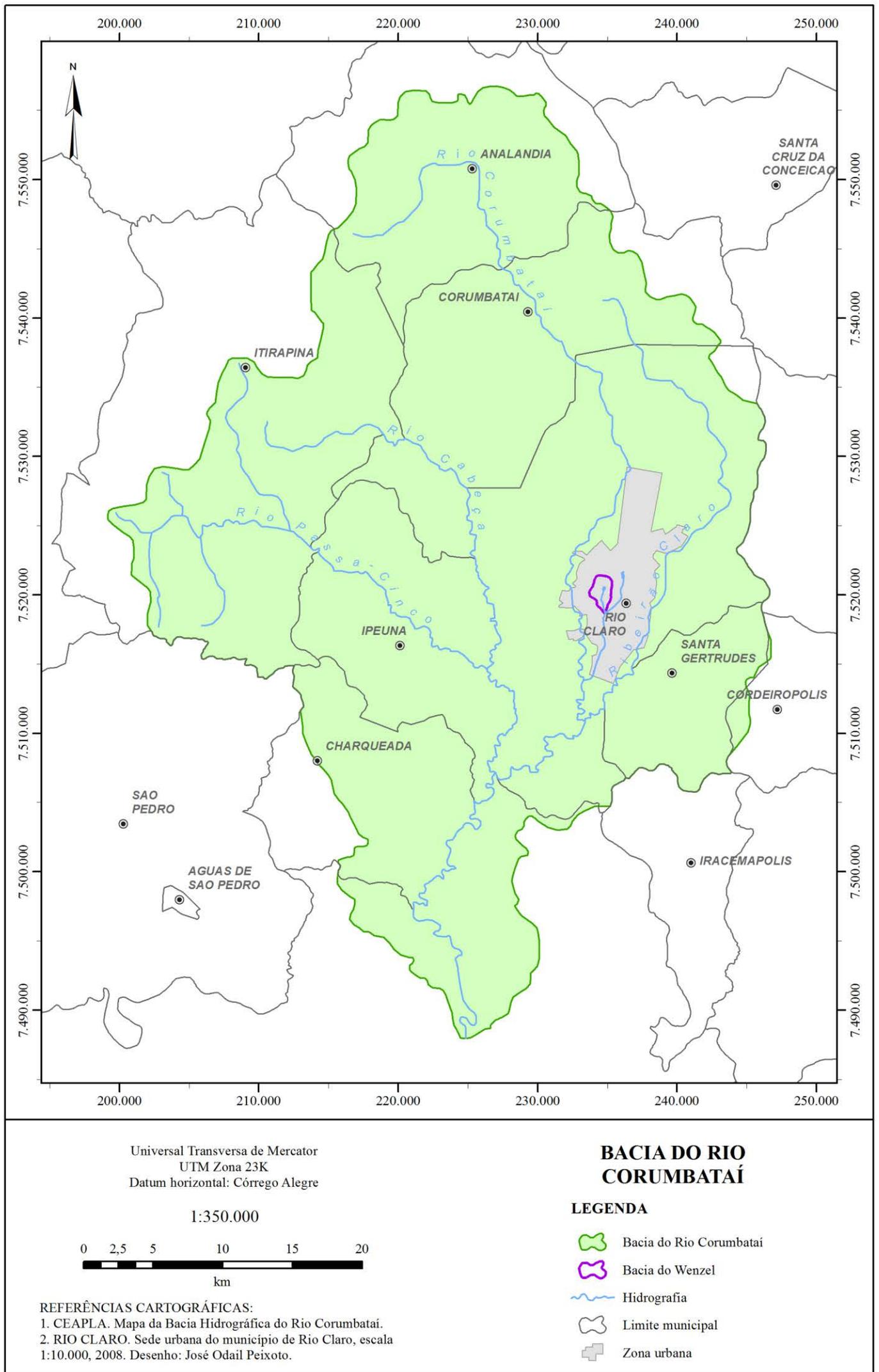
Na divisão do ponto de vista hidrológico, o município encontra-se quase totalmente inserido sobre a bacia do Rio Corumbataí, dentro da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI de número 5, que corresponde às bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), conforme pode ser observado na Figura 3.2, abaixo.



Figura 3.2 - Divisão hidrológica do Estado de São Paulo. Em vermelho a localização da cidade de Rio Claro.

A bacia hidrográfica do Rio Corumbataí (Figura 3.3) abrange uma área de aproximadamente 1.700 km<sup>2</sup>, na qual estão inseridos os municípios de Analândia, Corumbataí, Charqueada, Ipeúna, Itirapina, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes, sendo o Rio Corumbataí o principal manancial de água para abastecimento público das cidades de Rio Claro e Piracicaba.

Figura 3.3 - Bacia do Rio Corumbataí.



O município de Rio Claro é servido pelos rios Corumbataí, Cabeça e Passa-Cinco, além do Ribeirão Claro e córregos da Servidão e Wenzel. A bacia do Wenzel é caracterizada por uma topografia de colinas suaves, com pequeno desnível, em virtude de estar localizada sobre a região de interflúvio do Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro.

### 3.3. GEOLOGIA

#### 3.3.1. Geologia regional

A região do município de Rio Claro está localizada, sob o ponto de vista geológico, no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 3.4). Esse nome designa uma grande estrutura na forma de uma bacia, onde foram depositadas rochas sedimentares e vulcânicas (Zaine, 1994) das eras:

- Paleozoica: Grupo Itararé, formações Tatuí, Irati e Corumbataí;
- Mesozoica: formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral, e;
- Cenozoica: Formação Rio Claro e depósitos quaternários recentes.



Figura 3.4 - Localização da Bacia Sedimentar do Paraná.

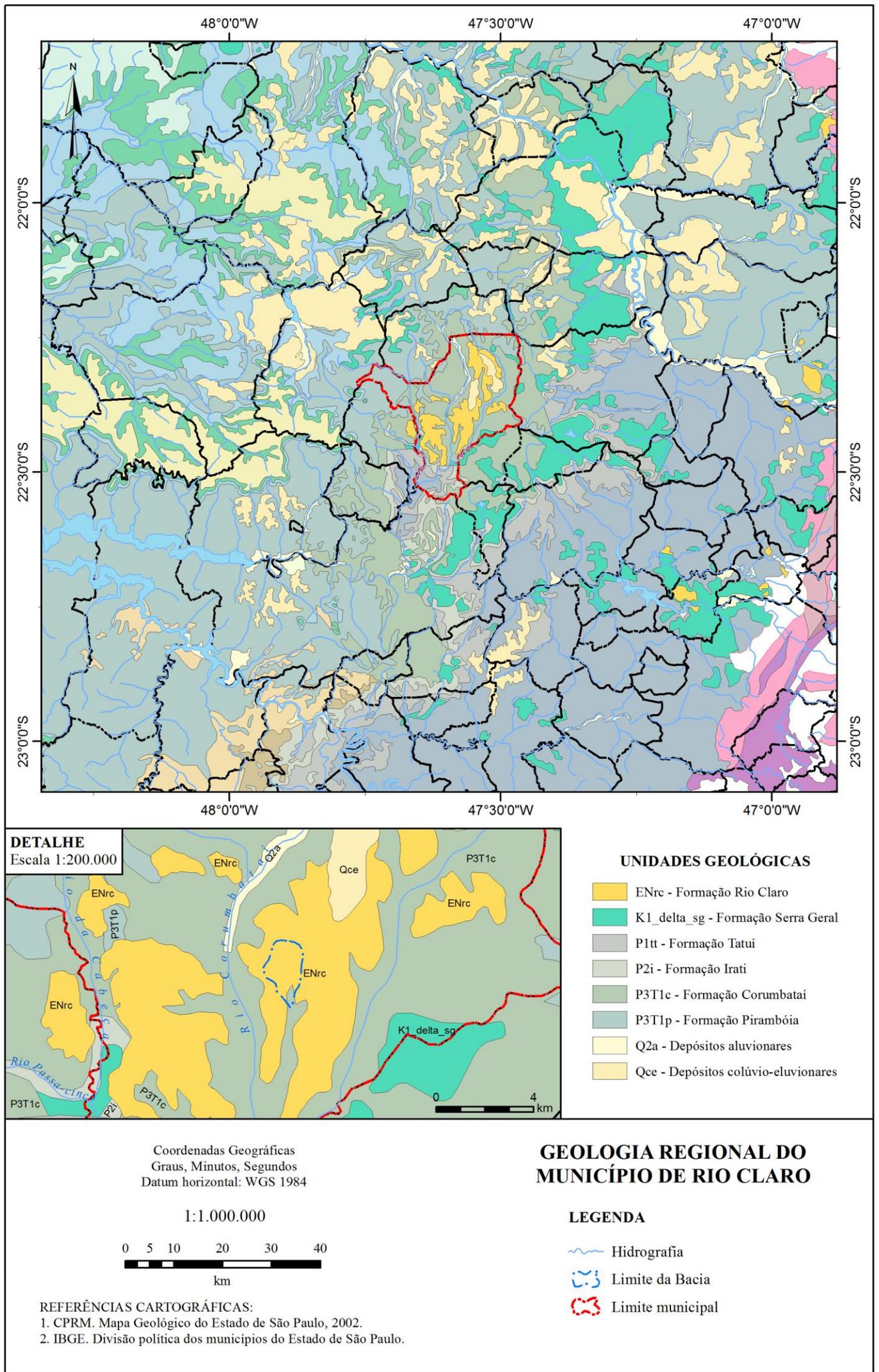
De maneira geral, na área do município há a ocorrência de rochas sedimentares da Formação Rio Claro, Formação Corumbataí e Quaternárias recentes. Elas são constituídas de materiais clásticos, genericamente denominados de argilitos, siltitos, arenitos, cascalhos, folhelhos e calcários. Secundariamente, ocorrem também rochas intrusivas (Formação Serra Geral) na forma de diques e *sills* de diabásios. A Figura 3.5, a seguir, apresenta a coluna estratigráfica da Bacia do Paraná, identificando as unidades geológicas agrupadas pelas eras e idade.

		<b>LITOESTRATIGRAFIA</b>				
Cronoes.		Rio Grande do Sul	Santa Catarina	Paraná	São Paulo	
Quat.		Barreiras, Terraços Aluviões	Barreiras, Terraços Aluviões	<i>Qha</i>	<i>Qha</i>	
Terc.		Associação litológica primária	Associação litológica primária	<i>TQi</i>	<i>TQi</i>   Fm. Rio Claro	
Cret.	Gr. Bauru				Fm. Marília	
Juro-Cretáceo	Gr. São Bento	Fm. Serra Geral	Fm. Serra Geral	Fm. Serra Geral	Fm. Serra Geral	
		Fm. Botucatu	Fm. Botucatu	Fm. Botucatu	Fm. Botucatu	
Trias	Gr. São Bento	Mb. Sta. Maria Fm. Rosário do Sul			Fm. Pirambóia	
		Fm. Rio do Rasto	Fm. Rio do Rasto	Fm. Rio do Rasto	Mb. Morro Pelado Mb. Serrinha Fm. Corumbatal	
Permiano	Gr. Passa Dois	Mb. Morro Pelado Mb. Serrinha	Mb. Morro Pelado Mb. Serrinha	Mb. Morro Pelado Mb. Serrinha	Fm. Teresina	
		Fm. Teresina	Fm. Teresina	Fm. Teresina	Fm. Teresina	
		Fm. Serra Alta	Fm. Serra Alta	Fm. Serra Alta	Fm. Serra Alta	
		Fm. Irati	Mb. Assistência Mb. Taquaral			
Permiano	Gr. Guatá	Fm. Palermo	Fm. Palermo	Fm. Palermo		
		Fm. Rio Bonito	Mb. Siderópolis Mb. Paraguaçu Mb. Triunfo	Fm. Rio Bonito	Mb. Paraguaçu Mb. Triunfo	Fm. Tatui Fm. Tietê
		Fm. Rio do Sul	Fm. Rio do Sul	Fm. Rio do Sul	Fm. Aquidauana	
Carb. Sup.	Gr. Itararé		Fm. Mafra	Fm. Mafra	Gr. Itararé	
			Fm. Campo do Tenente	Fm. Campo do Tenente		
Devoniano	Gr. Paraná		Fm. Ponta Grossa	Fm. Ponta Grossa		
			Fm. Furnas	Fm. Furnas	Fm. Furnas	
Embasamento pré-Gondwânico						

Figura 3.5 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná (Schneider *et al*, 1974).

Na Figura 3.6 é apresentado o mapa da geologia regional do município de Rio Claro, de acordo com o Mapa Geológico do Estado de São Paulo elaborado pelo CPRM – Serviço Geológico do Brasil no ano de 2002.

Figura 3.6 - Geologia regional do município de Rio Claro.



Do ponto de vista estratigráfico, as camadas superiores são formadas por arenitos, de idade geológica recente (terciária) e são denominadas de Formação Rio Claro, sendo constituídas predominantemente por areias com alto teor de sílica, muito utilizadas na indústria de construção civil.

Logo abaixo das areias da Formação Rio Claro ocorrem rochas argilosas e siltosas da Formação Corumbataí, que são muito utilizadas pela indústria cerâmica. As alterações dessas rochas formam sedimentos argilosos com características variáveis, com caráter refratário ou fundente, dependendo das condições geoquímicas de alteração.

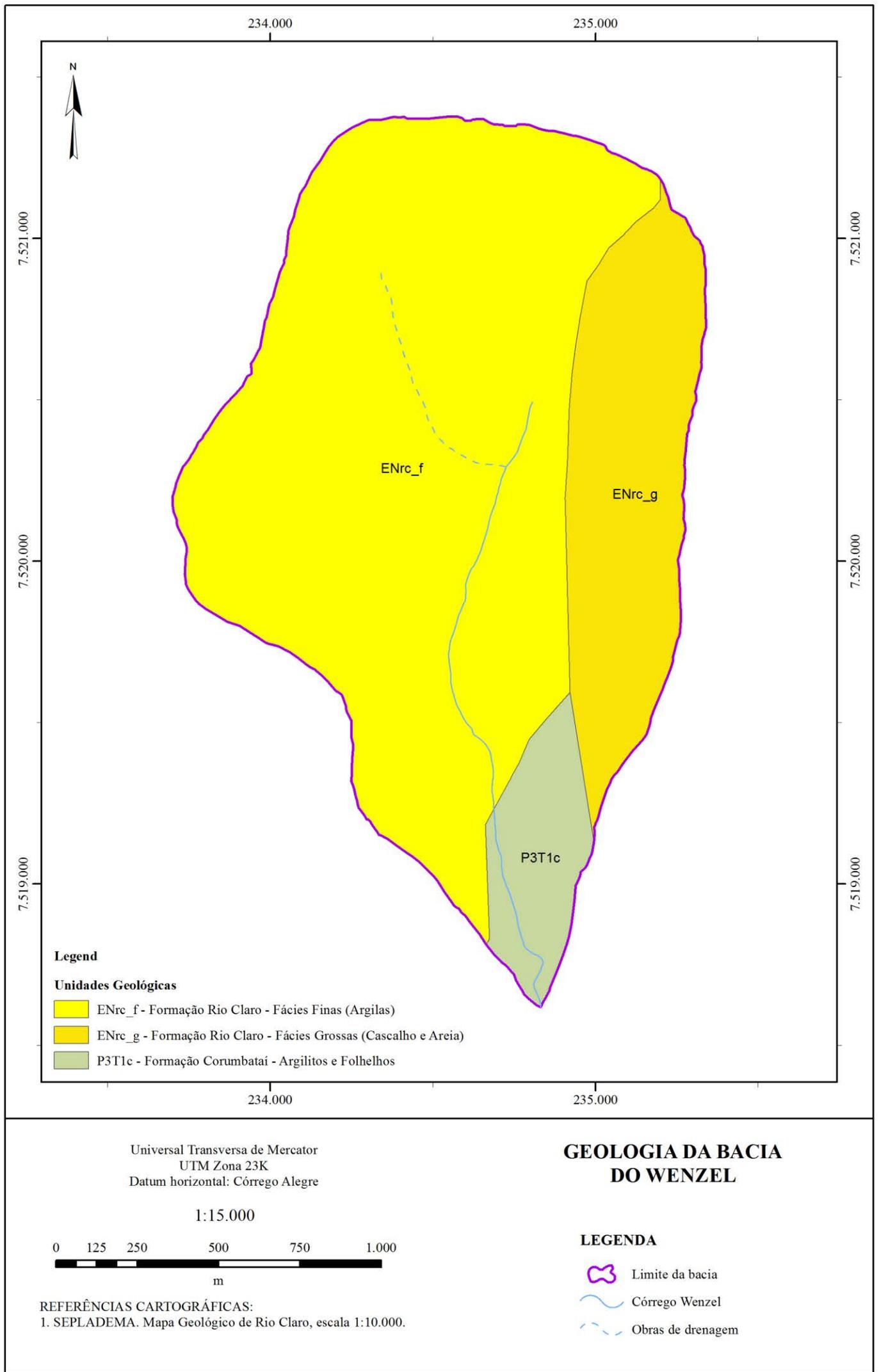
Outro fenômeno é a ocorrência de *sills*, diques e soleiras de diabásio da Formação Serra Geral, cuja alteração por intemperismo físico, químico e biológico forma solos argilosos cuja textura, cor, espessura e mineralogia variam dependendo da topografia local e dos fenômenos de alteração. Esses solos são popularmente conhecidos como as “terras-roxas”.

### **3.3.2. Geologia da Bacia do Wenzel**

Localmente, a bacia do córrego Wenzel encontra-se inserida sobre a região de transição entre as Formações Rio Claro e Corumbataí, sendo a primeira localizada nas porções mais elevadas (montante) da bacia, enquanto a segunda predomina na região do exutório da bacia (jusante). A geologia da Bacia do Wenzel pode ser observada na Figura 3.7.

Essa distribuição espacial pode ser explicada pela idade deposicional de cada formação, pois a Formação Corumbataí pertence à era Paleozoica, com idades entre 250 e 300 milhões de anos, enquanto a Formação Rio Claro pertence à era Cenozoica, com idade entre 2 e 50 milhões de anos.

Figura 3.7 - Geologia da Bacia do Wenzel.



### 3.3.2.1. Formação Rio Claro

A Formação Rio Claro é uma unidade sedimentar-estratigráfica, essencialmente composta de arenitos mal selecionados friáveis e inconsolidados, de coloração amarelo-avermelhada, e com granulometria variando de fina a média. Devido à sua composição, a formação possui alta permeabilidade, e sua espessura varia predominantemente entre 25 e 30 metros.

A unidade repousa sobre diferentes unidades estratigráficas em sua extensão. Na área urbana de Rio Claro forma extensos chapadões sobre a Formação Corumbataí e, regionalmente, ocorre sobre as formações Corumbataí, Irati e Tatuí.

A idade da Formação Rio Claro não é bem definida, mas a maioria dos pesquisadores a classificam na era Cenozoica, entre os períodos do Mioceno e o Pleistoceno conforme Zaine (1994).

### 3.3.2.2. Formação Corumbataí

No município de Rio Claro, a Formação Corumbataí ocorre sotoposta à Formação Rio Claro e apresenta-se como uma associação de siltitos e argilitos roxos, verdes, castanhos e chocolates com intercalações de arenitos finos. Aparecem verdadeiros ritmitos dados pela alternância das lâminas de siltitos e argilitos (Masson, 1998). São depósitos de origem marinha, siltitos e arenitos muito finos.

A formação ocorre na porção compreendida entre a média e baixa vertentes dos vales do Ribeirão Claro e do Rio Corumbataí, com grande expressão em área. Devido à sua litologia de baixa permeabilidade, apresenta alta densidade de drenagem, com a formação de feições características, como os anfiteatros de nascentes.

### 3.4. GEOMORFOLOGIA

A microbacia do Wenzel encontra-se inserida na Unidade Geomorfológica da Depressão Periférica paulista, na Zona do Médio Tietê, conforme pode ser observado na Figura 3.8. Quase toda a sua extensão ocorre no Estado de São Paulo, compreendendo uma extensa faixa rebaixada que se estende entre as *Cuestas* basálticas e os relevos dobrados dos Planaltos Cristalinos (Almeida, 1964).

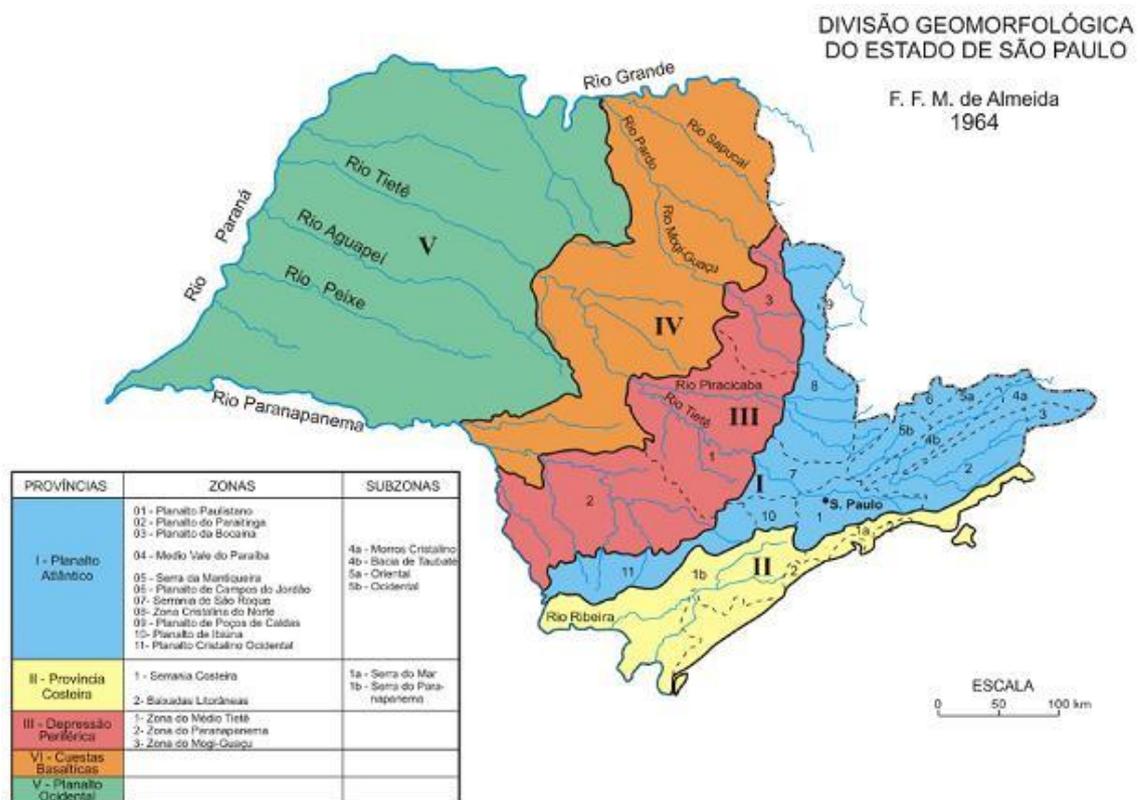


Figura 3.8 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Almeida, 1964).

Em termos de características gerais de relevo, a Depressão Periférica é recoberta por uma densa rede de drenagem, com tendência para a direção noroeste em direção ao eixo da bacia do Rio Paraná.

Entre as formas de relevo identificadas para a Zona do Médio Tietê, estão as colinas amplas, morrotes alongados e espigões. As colinas amplas possuem predominantemente interflúvios com área superior a quatro quilômetros quadrados, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexos. Caracterizam-se por uma drenagem de baixa

densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes e intermitentes. Os morrotes alongados e espigões possuem interflúvios sem orientação preferencial, topos achatados a angulosos, vertentes ravinadas e drenagem com padrão dendrítico (Zaine, 1996).

### 3.5. HIDROGEOLOGIA

Oliva & Chang (2007) determinaram o nível do lençol freático na região do Aquífero Rio Claro, através da realização de sondagens geofísicas, métodos indiretos de investigação da subsuperfície. Foi utilizada a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), segundo o arranjo Schlumberger em 139 ensaios.

Na região, a superfície do lençol freático encontra-se entre as cotas 566 e 669 metros em relação ao nível do mar, com fluxo da água subterrânea acompanhado, de maneira geral, a topografia local. A Formação Rio Claro constitui um aquífero livre, com profundidades de nível d'água variando entre 2 e 25 metros, prevalecendo níveis inferiores a 18 metros.

#### 4. PROBLEMÁTICA

A bacia do Córrego Wenzel, conforme explicado anteriormente, foi ocupada de maneira desordenada devido ao mau planejamento urbano, gerando impactos socioambientais negativos, sendo o principal deles o desconforto e os danos materiais gerados em virtudes das enchentes ao longo dos cursos d'água urbanizados. A Figura 4.1 apresenta os pontos de inundação no Córrego Wenzel e no Córrego da Servidão, dentro da zona urbana de Rio Claro.

Nesse sentido, o poder público procura implementar medidas de controle para solucionar os problemas relacionados às enchentes em áreas urbanas, minimizando seus impactos à população. Canholi (2005) define que essas medidas podem ser divididas em duas classes:

- Medidas estruturais: obras de engenharia executadas para remediar e/ou prevenir os problemas causados pelas enchentes. Resposta imediata.
- Medidas não estruturais: aplicação de normas, leis e regulamentos para disciplinar e controlar o uso da terra, além de conscientizar a população a respeito das estruturas de drenagem. Resposta de médio e longo prazos.

A melhor aplicação dessas medidas é em conjunto, visando a correção do problema atual bem como a prevenção de eventuais danos futuros.

Pela dificuldade de implementação de medidas estruturais em zonas urbanas já consolidadas, aliada ao avanço tecnológico e à necessidade de novas formas de gestão das águas pluviais, durante a década de 70 surgiram as chamadas técnicas compensatórias. Elas têm como objetivo específico minimizar os efeitos negativos da urbanização sobre os processos hidrológicos, atuando tanto na esfera social quanto ambiental (Baptista *et al*, 2011).

De forma geral, as técnicas compensatórias aplicadas na drenagem urbana visam a retenção e infiltração das águas pluviais, de forma a diminuir o volume de escoamento e a vazão de pico, e dessa maneira atenuando os efeitos da urbanização no sistema hidrológico (p. 1). Para Baptista *et al* (2011), as estruturas compensatórias são adaptáveis, podendo ser incorporadas ao meio ambiente e às áreas urbanas, e podem ser classificadas em:

- Técnicas para controle na fonte: inseridas em pontos específicos, com pequena superfície de infiltração, como poços, valas e valetas de infiltração, telhados verdes, etc.
- Técnicas lineares: executadas ao longo de sistemas viários, pátios, estacionamentos, com grande superfície de drenagem.

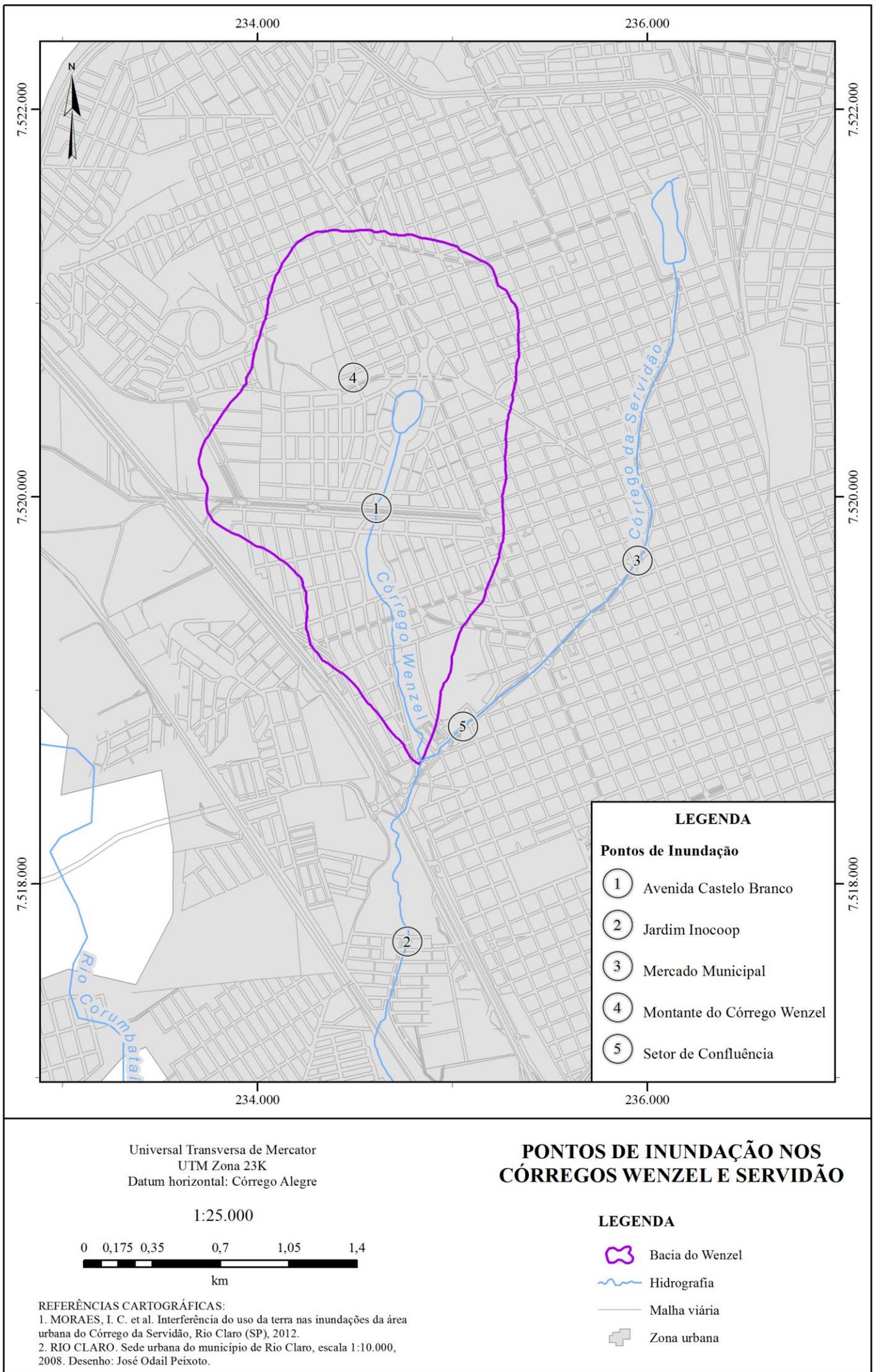
- Técnicas para controle centralizado: bacias de detenção e retenção, atuando sobre a macrodrenagem.

As bacias de detenção são estruturas utilizadas no controle de enchentes há milhares de anos, com relatos de sua utilização desde a antiga Babilônia, até as bacias de detenção modernas, no Rio Roanne, na França em 1711 (Frendrich, 2002 *apud* Franco, 2004). No Brasil, os primeiros reservatórios de retenção foram implantados em Belo Horizonte, em 1953. Atualmente, seu uso tem obtido destaque na cidade de São Paulo através dos piscinões.

A bacia de detenção exerce a função de armazenamento e amortecimento de onda de cheia, prolongando o tempo e diminuindo a vazão de pico. Além disso, pode ser utilizada no controle da poluição, lazer, ou habitat para a fauna e flora.

A sua distribuição espacial, em áreas urbanas, geralmente ocorre de duas formas: pequenas bacias espalhadas em diversos pontos, ou grandes reservatórios localizados à jusante da área. Segundo Tamura (2012), a localização dessas estruturas é definida conforme a necessidade de eficiência do amortecimento de ondas de cheia, as características urbanas e a disponibilidade de locais adequados para sua implantação.

Figura 4.1 - Pontos de inundação nos córregos Wenzel e Servidão.



## 5. MÉTODO

A vazão excedente é proveniente de apenas uma fonte: as águas pluviais. Portanto, para o cálculo do volume de água a ser detido, é necessária a utilização de um modelo hidrológico de chuvas, que leva em consideração a intensidade da chuva, o escoamento superficial e a área de contribuição.

Existem diversos modelos hidrológicos de chuva, e entre os métodos indiretos mais utilizados estão o Método Racional, o Método do Hidrograma Unitário e o do *Soil Conservation Service* (SCS).

Nesse caso, foi utilizado o Método Racional, um método simples e eficaz que é comumente utilizado no Brasil para pequenas bacias hidrográficas, e possui como premissa a distribuição uniforme das chuvas por toda a área de contribuição. Para tanto, o método limita-se a bacias hidrográficas de até 3,0 km<sup>2</sup> de extensão (Porto, 1993) e tempo de concentração inferior a uma hora.

Nesse método, o tempo de duração da chuva que atinja o pico de vazão é chamado de tempo de concentração, forma um hidrograma triangular, conforme pode ser observado na Figura 5.1.

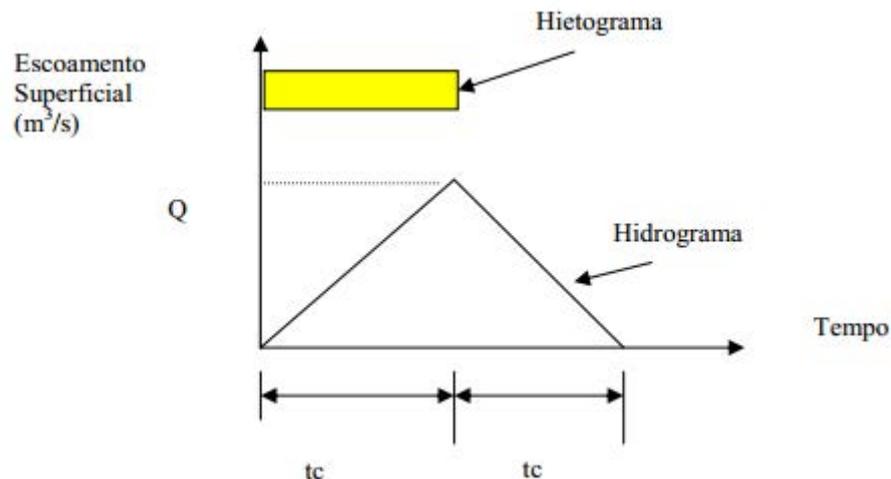


Figura 5.1 - Modelo de hidrograma do Método Racional.

A equação do Método Racional relaciona os parâmetros de uso e ocupação do solo, histórico de chuvas da região e a dimensão da bacia de contribuição, e estão relacionados segundo a seguinte fórmula:

$$Q = C \times I \times A \quad (5.1)$$

Em que:

- $Q$  = Vazão, em  $[L^3].[T^{-1}]$ ;
- $C$  = Coeficiente de escoamento superficial;
- $I$  = Intensidade de chuva, em  $[L].[T^{-1}]$ ;
- $A$  = Área de contribuição, em  $[L^2]$ .

### 5.1. VOLUME DE DETENÇÃO

O volume necessário de detenção para assegurar as condições hidrológicas naturais da região é calculado a partir da diferença de escoamento superficial em duas situações: a bacia em sua área, topografia e ocupação original, ou seja, pré-urbanizada, e a bacia em sua condição atual, ou pós-urbanizada, com as alterações antrópicas do terreno e cobertura do solo, conforme demonstrado na Figura 5.2.

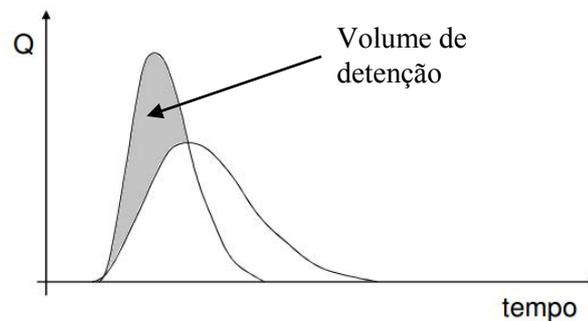


Figura 5.2 - Gráfico da diferença entre hidrogramas urbano e rural para a mesma bacia e o volume de detenção (área cinza).

A área representada pela diferença gráfica entre os picos dos hidrogramas de bacia urbano e rural equivale nominalmente ao volume de detenção, ou seja, pelo excedente de chuva da situação urbana até o tempo de intersecção das curvas, e, segundo Tucci (2000), pode ser descrita segundo a Equação (5.2), abaixo.

$$V_{\text{det}} = (Q(t)_{\text{pós}} - Q(t)_{\text{pré}}) \times t_d \quad (5.2)$$

Em que:

- $V_{det}$  = volume de detenção, em  $m^3$ ;
- $Q(t)_{pós}$  = hidrograma de pós-urbanização, em  $m^3/s$ ;
- $Q(t)_{pré}$  = hidrograma de pré-urbanização, em  $m^3/s$ ;
- $t_d$  = tempo de duração da chuva crítica, em segundos.

Através do modelo hidrológico do Método Racional, pode-se adaptar a Equação (5.2) para:

$$V_{det} = [(C_{pós} \times I_{pós} \times A_{pós}) - (C_{pré} \times I_{pré} \times A_{pré})] \times t_d \quad (5.3)$$

Em que:

- $C_{pós}$  = Coeficiente de escoamento superficial de pós-urbanização;
- $I_{pós}$  = Intensidade de chuva de pós-urbanização;
- $A_{pós}$  = Área da bacia de contribuição de pós-urbanização;
- $C_{pré}$  = Coeficiente de escoamento superficial de pré-urbanização;
- $I_{pré}$  = Intensidade de chuva de pré-urbanização;
- $A_{pré}$  = Área da bacia de contribuição de pré-urbanização;
- $t_d$  = tempo de duração da chuva crítica.

### 5.1.1. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O Coeficiente de Escoamento Superficial, ou *runoff* ( $C$ ) está diretamente relacionado ao uso do solo, e, conseqüentemente, à área impermeabilizada. Ele representa a parcela da precipitação total que é convertida em escoamento superficial, através de uma constante adimensional de valor entre zero e 1,0 em que, em um ambiente ideal totalmente permeável o valor se aproxima de zero, enquanto em uma área totalmente impermeável  $C$  fica próximo de 1,0.

Quando o coeficiente de escoamento superficial não considera os efeitos de amortecimento na bacia, como é o caso do modelo hidrológico do Método Racional, ele também é chamado de Coeficiente de Deflúvio (Franco, 2004).

O coeficiente de escoamento superficial idealmente deve ser determinado através do estudo empírico de uma série de fatores, dentre eles a ocupação do substrato, o tipo de solo, a ocupação da bacia, a umidade antecedente, a intensidade da chuva. Apesar disso, devido ao grande volume de estudos realizados na área, é prática comum a escolha de um coeficiente constante, através de valores tabelados, classificados principalmente em função da ocupação, do substrato, do tipo do solo e da declividade.

Em áreas urbanas, ele é geralmente determinado em função das várias superfícies ali encontradas. Asce (1969) *apud* Franco (2004) apresenta os seguintes valores para os coeficientes de escoamento superficial em áreas urbanas, relacionando-os ao material do substrato e ao tipo de ocupação do terreno.

Tabela 5.1 - Valores de C para superfícies em áreas urbanas, segundo Asce (1969).

Superfície	Coeficiente de Escoamento Superficial	
	Limites	Normal
<i>Pavimento</i>		
Asfalto	0,70 a 0,95	0,83
Concreto	0,80 a 0,95	0,88
Calçadas	0,70 a 0,85	0,80
Telhado	0,75 a 0,95	0,85
<i>Grama em solo arenoso, com declividade:</i>		
Baixa ( $S < 2\%$ )	0,05 a 0,1	0,08
Média ( $2\% < S < 7\%$ )	0,10 a 0,15	0,13
Alta ( $S > 7\%$ )	0,15 a 0,20	0,18
<i>Grama em solo argiloso, com declividade:</i>		
Baixa ( $S < 2\%$ )	0,13 a 0,17	0,15
Média ( $2\% < S < 7\%$ )	0,18 a 0,22	0,20
Alta ( $S > 7\%$ )	0,25 a 0,35	0,30

Tabela 5.2 - Valores de C para ocupação em áreas urbanas, segundo Asce (1969).

Ocupação	C
<i>Área Comercial</i>	
Central	0,70 a 0,90
Bairros	0,50 a 0,70
<i>Área Residencial</i>	

Ocupação	C
Residências isoladas	0,35 a 0,50
Unidades múltiplas, separadas	0,40 a 0,60
Unidades múltiplas, conjugadas	0,60 a 0,75
Lotes com área maior que 2.000 m <sup>2</sup>	0,30 a 0,45
Áreas com apartamentos	0,50 a 0,70
<i>Área Industrial</i>	
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Parques e cemitérios	0,10 a 0,25
Praças	0,20 a 0,35
Pátios ferroviários	0,20 a 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 a 0,30

Para áreas rurais, o coeficiente de escoamento superficial deve ser determinado através das características naturais do terreno, como declividade, tipo de solo e cobertura vegetal. Willians (1949) *apud* Tucci *et al* (1995) propôs os seguintes valores para o coeficiente:

Tabela 5.3 - Valores de C' para o cálculo de C em áreas rurais, segundo Willians (1949).

Tipo de Área	C'
<i>Topografia</i>	
Terreno plano, declividade de 0,2 a 0,6 m/km	0,30
Terreno, declividade de 3,0 a 4,0 m/km	0,20
Morros, declividade de 30 a 50 m/km	0,10
<i>Tipo de solo</i>	
Argila (impermeável)	0,10
Permeabilidade média	0,20
Arenoso	0,40
<i>Cobertura vegetal</i>	
Áreas cultivadas	0,10
Árvores	0,20

Nesse caso, C deve ser calculado em função de C', através da equação:

$$C = 1 - (C'1 + C'2 + C'3) \quad (5.4)$$

Desta forma, é possível calcular o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de deflúvio, para a Bacia do Córrego Wenzel nas situações de pré e pós-urbanização, e, através da comparação dos resultados, a determinação do volume de retenção.

### 5.1.2. Intensidade máxima de chuva ( $I_{máx}$ )

A intensidade de precipitação é calculada segundo uma equação de modelo de chuvas, que relaciona o tempo de duração da chuva ( $d$ ) e o tempo de retorno da mesma ( $T_R$ ).

Para o município de Rio Claro, Moruzzi & Oliveira (2009) propuseram, segundo dados empíricos e estudos de regressão matemática a seguinte equação relacionando a intensidade, duração e frequência das chuvas (IDF):

$$I = \frac{560,9 \times T^{0,141}}{(7,4 + d)^{0,65}} \quad (5.5)$$

Em que:

- $I$  = Intensidade da chuva, em mm/h;
- $T$  = Tempo de retorno, em anos;
- $d$  = Duração da chuva, em minutos.

Para o cálculo da intensidade máxima de chuva ( $I_{máx}$ ), deve-se considerar um tempo de precipitação em que toda a bacia de drenagem passe a contribuir através do escoamento superficial com a vazão de saída da bacia, ou seja, o tempo máximo em que uma gota de chuva precipitada no ponto mais distante da área de contribuição transpasse seu exutório. Esse intervalo de tempo é chamado de Tempo de Concentração ( $t_c$ ).

### 5.1.3. Tempo de Concentração ( $t_c$ )

Segundo Pinto *et al* (1975) *apud* Franco (2004) o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o tempo necessário para que, mantida uma precipitação constante e uniforme, toda a área da bacia passe a contribuir para a seção de controle.

Segundo Tucci (2002), o tempo de concentração pode ser medido observando-se o intervalo entre o fim da precipitação e o ponto do hidrograma na seção de controle correspondente ao fim do escoamento superficial.

Considerando que, para pequenas bacias hidrográficas, na maioria dos casos não se dispõe de dados pluviométricos que permitam a determinação experimental do tempo de concentração, será utilizado um método cálculo para estimar o tempo de concentração da microbacia a partir de suas características fisiográficas.

Para a obtenção desse tempo de maneira teórica (não empírica), existem diversas formulações elaboradas por estudiosos através de dados de campo. A mais comumente utilizada para macrodrenagem em áreas rurais é a fórmula de Kirpich (5.6), que relaciona o comprimento do talvegue e sua declividade média. Foi desenvolvida em 1940, com dados de sete pequenas bacias rurais do Estado Norte-Americano do *Tennessee*, com declividades de 3% a 10% e áreas de no máximo 0,50 km<sup>2</sup>.

$$t_c = 57 \times L^{0,77} \times S_R^{-0,385} \quad (5.6)$$

Em que:

- $t_c$  = Tempo de concentração, em minutos;
- $L$  = Comprimento do talvegue, em quilômetros;
- $S_R$  = Declividade do talvegue, em m/km.

A declividade média ( $S_R$ ), por sua vez, é estimada através da equação:

$$S_R = \left( \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^{0,5}}} \right)^2 \quad (5.7)$$

Em que:

- $L_i$  = Comprimento do trecho, em quilômetros;
- $S_i$  = Declividade do trecho, em m/km;
- $n$  = Número de trechos.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. RELAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO COM A DENSIDADE POPULACIONAL

A partir dos dados estatísticos do município de Rio Claro (SP) referentes ao Censo Populacional realizado no ano de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em um trabalho geoestatístico conjunto com a informação do uso e ocupação do solo do município do mesmo ano, elaborada por Marquezini (2011), foram analisadas as informações de área impermeabilizada e densidade populacional da Bacia do Wenzel, conforme pode ser observado na Figura 6.2.

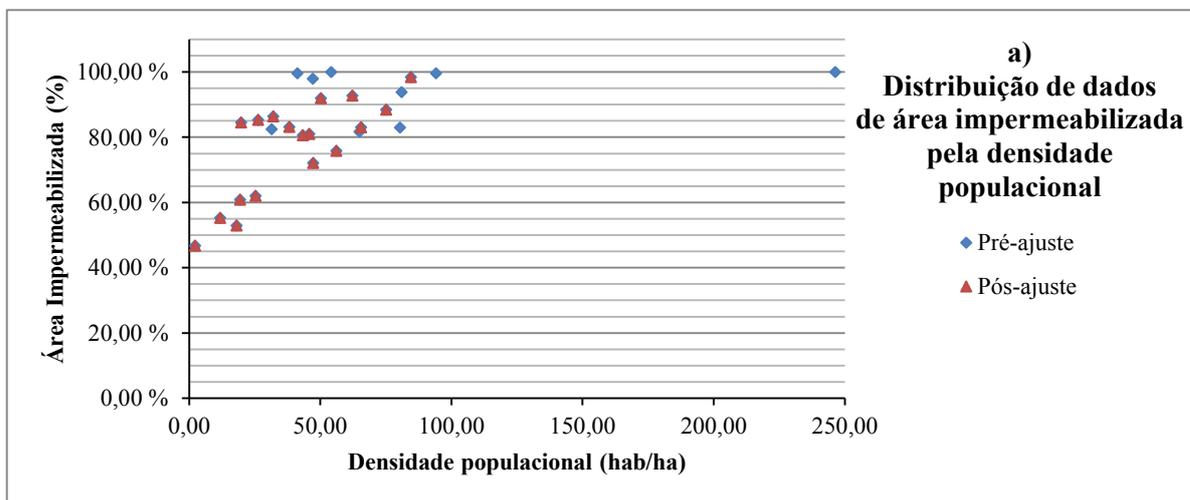
Os resultados são demonstrados na Tabela 6.1, abaixo.

Tabela 6.1 - Análise dos setores censitários da Bacia do Wenzel.

Setor Censitário do IBGE	Número de habitantes (hab)	Área do Setor (ha)		Densidade populacional (hab/ha)	Permeabilidade (ha)		Porcentagem de Impermeabilização (%)
		Total	Dentro da Bacia		Área Impermeável	Área Permeável	
235	217	4,005	0,179	54,19	0,179	0,000	100,00 %
45	65	0,264	0,264	246,35	0,264	0,000	100,00 %
104	956	11,884	0,308	80,45	0,256	0,052	83,02 %
19	517	12,540	1,052	41,23	1,048	0,004	99,64 %
43	600	9,246	1,837	64,89	1,501	0,336	81,69 %
246	199	2,115	2,114	94,10	2,105	0,009	99,59 %
42	553	11,738	2,132	47,11	2,089	0,043	98,00 %
110	518	16,488	2,237	31,42	1,846	0,391	82,51 %
108	774	9,553	2,460	81,02	2,308	0,151	93,84 %
106	668	8,891	5,842	75,13	5,169	0,673	88,48 %
46	728	15,395	5,875	47,29	4,239	1,636	72,15 %
105	728	11,116	7,206	65,49	5,986	1,220	83,07 %
66	675	7,981	7,981	84,57	7,856	0,125	98,43 %
67	565	9,086	9,086	62,18	8,426	0,660	92,73 %
17	548	11,973	9,398	45,77	7,614	1,784	81,02 %
107	567	11,297	9,733	50,19	8,951	0,782	91,97 %
207	644	11,468	9,997	56,16	7,583	2,414	75,85 %

Setor Censitário do IBGE	Número de habitantes (hab)	Área do Setor (ha)		Densidade populacional (hab/ha)	Permeabilidade (ha)		Porcentagem de Impermeabilização (%)
		Total	Dentro da Bacia		Área Impermeável	Área Permeável	
44	528	16,456	11,586	32,09	10,015	1,571	86,44 %
68	648	14,961	11,952	43,31	9,633	2,319	80,60 %
38	904	23,693	13,168	38,15	10,948	2,220	83,14 %
228	679	34,345	17,170	19,77	14,513	2,657	84,53 %
41	498	18,930	18,930	26,31	16,162	2,768	85,38 %
65	400	22,123	20,613	18,08	10,921	9,693	52,98 %
236	118	52,219	21,061	2,26	9,849	11,212	46,76 %
16	610	51,830	23,254	11,77	12,867	10,387	55,33 %
39	693	27,428	27,425	25,27	17,006	10,419	62,01 %
40	866	44,687	44,687	19,38	27,213	17,474	60,90 %
<b>Total</b>	<b>15.466</b>	<b>471,713</b>	<b>287,548</b>	<b>54,22</b>	<b>206,549</b>	<b>80,999</b>	<b>82,22 %</b>

A partir dos resultados geoestatísticos, realizou-se a análise gráfica, na qual os dados foram projetados em sistema cartesiano e plotados em gráfico, relacionando a densidade populacional com a área impermeabilizada, conforme pode ser visualizado na Figura 6.1.



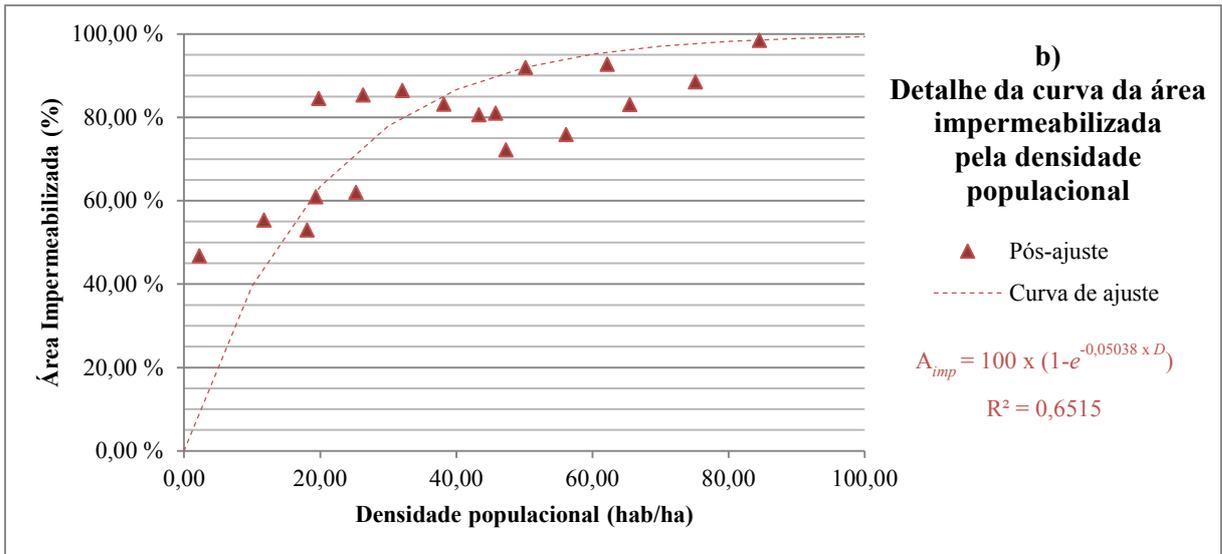
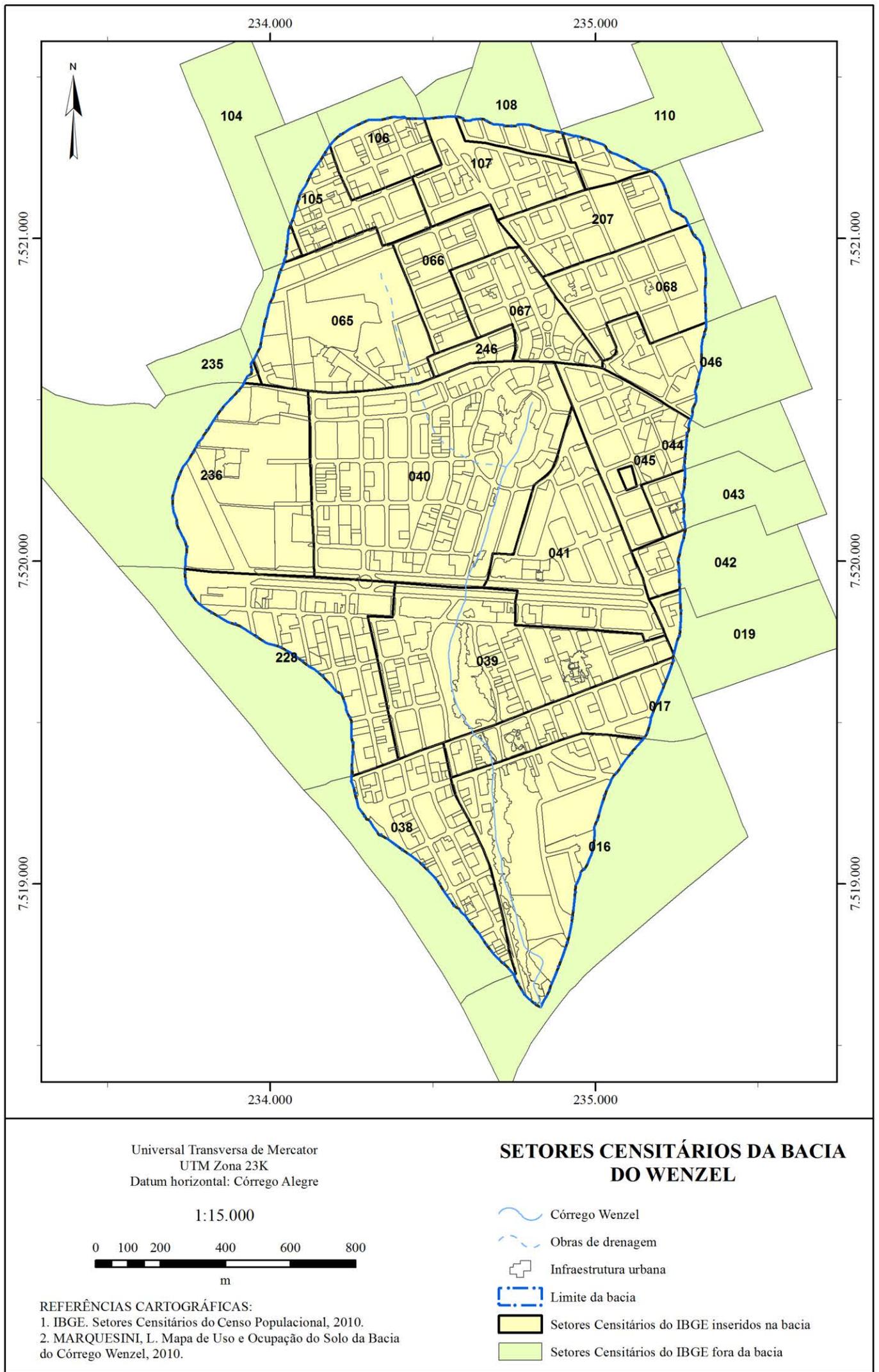


Figura 6.1 – a) Distribuição dos dados de área impermeabilizada pela densidade populacional pré e pós-ajuste da Bacia do Wenzel; b) Detalhe da curva pós-ajuste.

Figura 6.2 - Setores censitários da Bacia do Wenzel.



De início, utilizou-se o conjunto completo de valores referentes às características dos setores censitários, sem considerar a representatividade dos dados em relação ao todo, e essa situação foi denominada pré-ajuste. Sobre o conjunto de dados foi ajustada uma curva que apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,5984, ou um coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,773, considerado por Shimakura (2006) como forte correlação de dados (Figura 6.3).

Em seguida, foi utilizado um fator manual de ajuste, ao considerar apenas os setores censitários que representavam uma porcentagem igual ou superior a 2,00% da área da bacia, denominada situação pós-ajuste. Com o auxílio do *software* Lab Fit, foi ajustada uma curva através de regressão exponencial, e então houve um aumento da correlação entre as variáveis, e seu coeficiente apresentou valor de  $r = 0,8071$ , enquanto o coeficiente de determinação aumentou para  $R^2 = 0,6515$ .

Valor de $\rho$ (+ ou -)	Interpretação
0.00 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

Figura 6.3 - Interpretação do coeficiente de correlação (Shimakura, 2006).

Por meio do ajuste dos dados de entrada, obteve-se a seguinte curva:

$$A_{imp} = 100 \times (1 - e^{-0,05038 \cdot D}) \quad (6.1)$$

Em que:

- $A_{imp}$  = Porcentagem de área impermeabilizada da bacia (%);
- $D$  = Densidade populacional (hab/ha).

## 6.2. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C)

A definição das áreas permeáveis e impermeáveis da bacia foi realizada a partir de visitas em campo, de imagens orbitais e do mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia

elaborado por Marquezini (2011), o qual pode ser observado na Figura 6.4. Para a interpretação dos resultados, os diversos usos do solo encontrados na bacia foram classificados em áreas permeáveis e impermeáveis, conforme apresentado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Classificação dos usos do solo com relação à permeabilidade do substrato.

Área	Usos do solo
Permeáveis	Arborizado
	Campo sujo
	Deposição de resíduos
	Gramínea
	Mata
	Solo exposto
	Urbano – Lazer
Impermeáveis	Central elétrica
	Em construção
	Pavimento
	Reservatório
	Urbano – Industrial
	Urbano - Residencial

Figura 6.4 - Uso e ocupação do solo na Bacia do Wenzel.

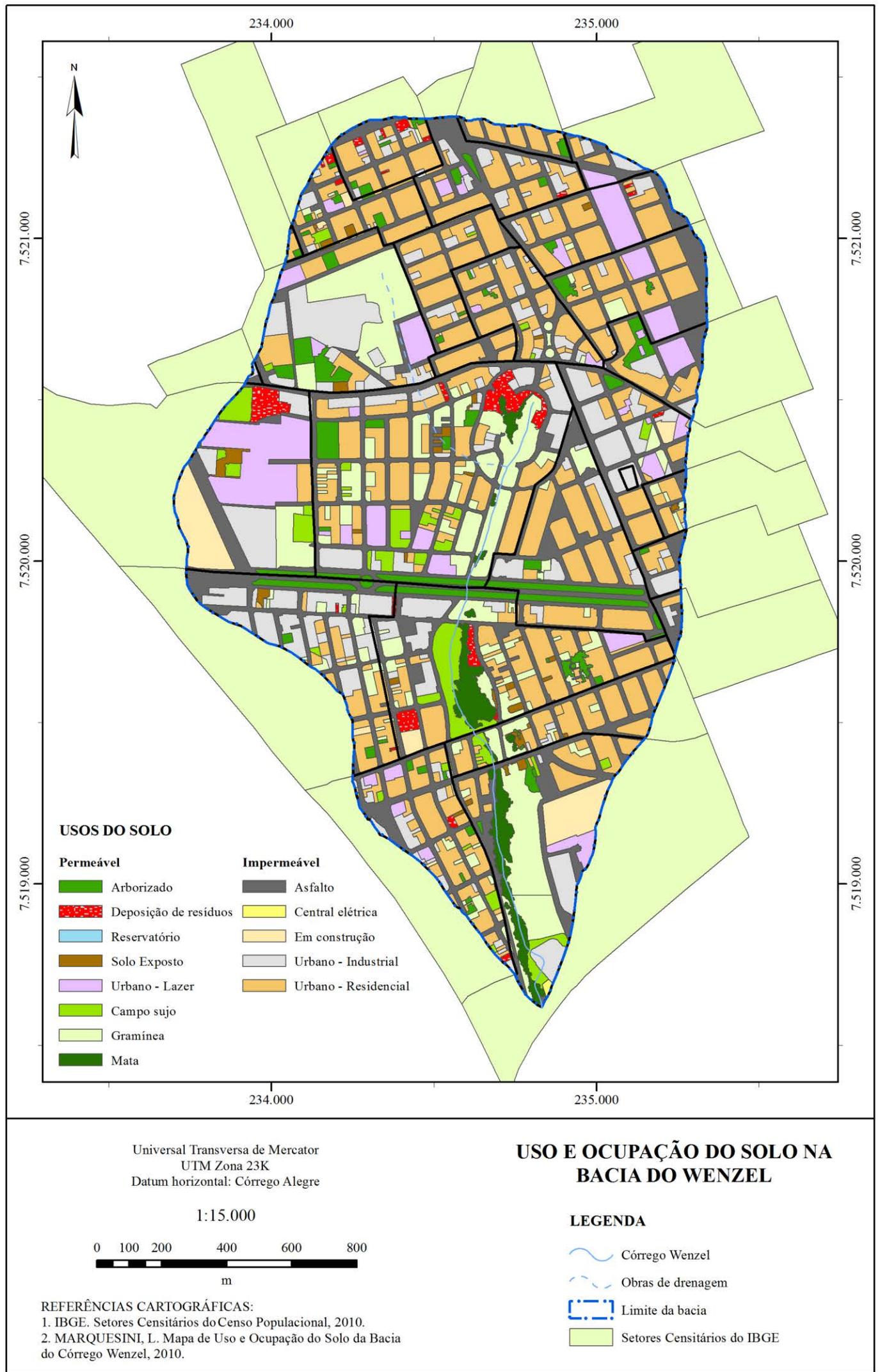


Tabela 6.3 - Valores do coeficiente de escoamento superficial por usos do solo para a Bacia do Wenzel.

Usos do Solo		Área (ha)	Porcentagem em relação ao subtotal	Porcentagem em relação ao total	Coeficiente de runoff (C)
Permeável	Arborizado	11,84	14,62 %	4,12 %	0,25
	Campo sujo	7,92	9,78 %	2,75 %	0,15
	Gramínea	31,53	38,92 %	10,96 %	0,15
	Mata	5,07	6,26 %	1,76 %	0,10
	Solo exposto	2,16	2,67 %	0,75 %	0,40
	Urbano – Lazer	18,59	22,96 %	6,47 %	0,20
	Deposição de resíduos	3,88	4,79 %	1,35 %	0,40
	<b>Subtotal</b>	<b>81,00</b>	<b>100,00 %</b>	<b>28,17 %</b>	<b>0,19</b>
Impermeável	Central Elétrica	0,10	0,05 %	0,04 %	0,50
	Em construção	6,74	3,26 %	2,34 %	0,88
	Asfalto	77,03	37,30 %	26,79 %	0,83
	Reservatório	0,01	0,02 %	0,00 %	1,00
	Urbano – Industrial	38,14	18,47 %	13,26 %	0,88
	Urbano – Residencial	84,53	40,92 %	29,40 %	0,85
	<b>Subtotal</b>	<b>206,55</b>	<b>100,00 %</b>	<b>71,83 %</b>	<b>0,85</b>

Partindo do princípio de que a configuração da ocupação da Bacia do Wenzel sempre seguiu e seguirá o mesmo padrão atual, pode-se projetar o Coeficiente de Escoamento Superficial para as diferentes situações da bacia, desde a pré-urbanizada, ou seja, 0% de áreas consideradas impermeáveis, até a totalmente urbanizada com a totalidade da área enquadrada nas áreas permeáveis, conforme a Tabela 6.3.

O resultado é apresentado na Tabela 6.4, abaixo, e pode ser visualizado na Figura 6.5. Tal princípio pode ser considerado válido levando em consideração os valores para o coeficiente para áreas rurais, ou seja, nas mesmas condições da situação de pré-ocupação, encontrados na Tabela 5.3. Para essa situação, levando-se em conta: o tipo de solo como arenoso proveniente da decomposição das rochas sedimentares presentes na Formação Rio Claro; declividade média, de 2,0 a 12,0%; e as condições de cobertura vegetal não antropizadas, é admitido um valor de  $C$  entre 0,20 e 0,25.

Tabela 6.4 - Projeção para os valores do Coeficiente de Escoamento Superficial em função da Área Impermeabilizada da Bacia do Wenzel.

Variável	Projeções										
$A_{imp}$ (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$C$	0,19	0,26	0,32	0,39	0,45	0,52	0,59	0,65	0,72	0,78	0,85

Conforme é possível observar, há uma correlação linear entre as variáveis, com coeficientes de correlação ( $r$ ) e representação ( $R^2$ ) igual a 1,0, e é representada pela equação:

$$C = 0,0066 \times A_{imp} + 0,1917 \quad (6.2)$$

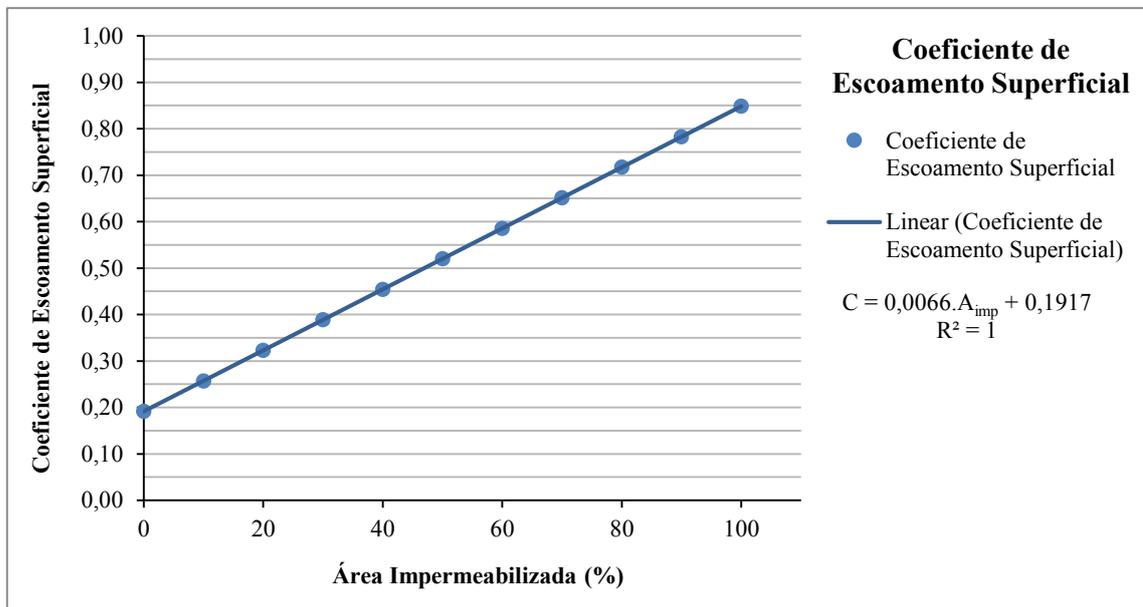


Figura 6.5 - Variação do Coeficiente de Escoamento Superficial em função da Porcentagem de Área impermeável.

### 6.3. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO ( $t_c$ )

O tempo de concentração foi calculado por meio da equação de Kirpich (5.6), através da determinação de trechos homogêneos, relacionando as variáveis declividade e comprimento do talvegue. Foram utilizadas como base cartográfica as folhas Rio Claro I (SF-23-Y-A-I-4-SE-A) e Rio Claro III (SF-23-Y-A-I-4-SE-C), do mapeamento oficial do Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC, datadas de 1979.

Figura 6.6 - Mapa de declividades da Bacia do Wenzel.

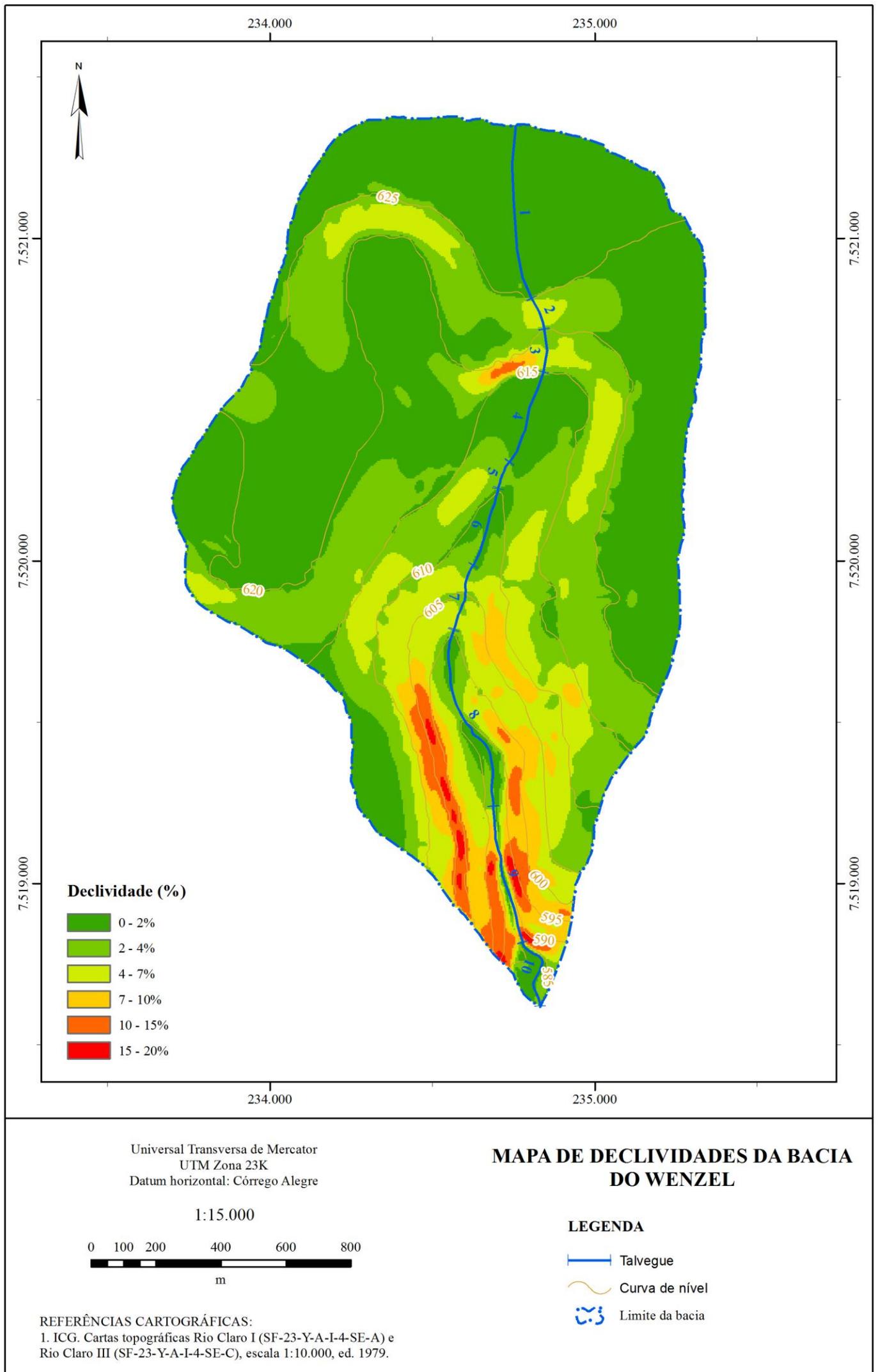


Tabela 6.5 - Memorial de cálculo da Declividade do Talvegue ( $S_R$ ).

Trecho	$L_i$ (km)	$S_i$ (m/km)	$L_i/S_i^{0,5}$
1	0,543	15	0,140
2	0,105	50	0,015
3	0,134	40	0,021
4	0,302	10	0,096
5	0,089	30	0,016
6	0,251	15	0,065
7	0,210	45	0,031
8	0,591	15	0,152
9	0,434	20	0,097
10	0,239	15	0,062
<b>Soma</b>	<b>2,898</b>	-	<b>0,695</b>

Através da Equação (5.6) o tempo de concentração foi calculado em 43,095 minutos.

#### 6.4. VOLUME DE DETENÇÃO ( $V_{det}$ )

##### 6.4.1. Método Racional

O cálculo do volume de detenção foi realizado com base nos valores do tempo de concentração ( $t_c$ ), tempo de recorrência ( $T_R$ ) e coeficiente de escoamento superficial ( $C$ ), relacionando-os com os valores de porcentagem de impermeabilização da área.

A determinação do volume é feita a partir da diferença entre a vazão superficial da água nas situações de pré e pós-desenvolvimento multiplicada pelo tempo de duração da chuva. Através da aplicação do modelo hidrológico do Método Racional para o cálculo das vazões, obtém-se a formulação apresentada na Equação (5.2).

Ao considerarmos que: a) As áreas de contribuição da Bacia do Wenzel de pré e pós-ocupação se equivalem; b) A chuva é distribuída uniformemente em toda a área de contribuição e acontece em intensidade constante, e; c) o tempo de duração da chuva é maior

ou igual ao tempo de concentração; podemos desenvolver a equação, dividindo-a pela área de contribuição.

Dessa forma, obtém-se volume e vazão específicos, em valores por unidade de área, conforme a análise dimensional  $[L^3].[L^2]^{-1}$  e  $[L^3].[T]^{-1}.[L^2]^{-1}$ , respectivamente. O resultado é apresentado na Equação (6.3), abaixo.

$$V_{esp} = (q_{pós} - q_{pré}) \times k_2 t_d \quad (6.3)$$

Em que:

- $V_{esp}$  = Volume específico, em  $[L]^3.[L]^{-2}$ ;
- $q_{pós}$  = Vazão específica de pós-desenvolvimento, em  $[L]^3.[T]^{-1}.[L]^{-2}$ ;
- $q_{pré}$  = Vazão específica de pré-desenvolvimento, em  $[L]^3.[T]^{-1}.[L]^{-2}$ ;
- $t_d$  = Tempo de duração da chuva crítica, em [T];
- $k_2$  = Coeficiente de ajuste de unidades.

Pelo mesmo princípio, a vazão específica, de acordo com o Método Racional, pode ser escrita como:

$$q = k_1 (C \times I) \quad (6.4)$$

Sendo:

- $q$  = Vazão específica, em  $[L]^3.[T]^{-1}.[L]^{-2}$ ;
- $C$  = Coeficiente de escoamento superficial;
- $I$  = Intensidade da chuva, em  $[L].[T]^{-1}$ ;
- $k_1$  = Coeficiente de ajuste de unidades.

Como se pretende analisar os dados em função da área impermeabilizada para diferentes valores de Tempo de Recorrência, foi realizada uma análise estatística dos valores de  $q_{pré}$ , de forma que fosse possível seu cálculo a partir do Tempo de Recorrência da chuva. Essa análise é válida pois o coeficiente de escoamento superficial para a situação de pré-desenvolvimento é constante, ou seja, independe da porcentagem da área impermeabilizada.

Foram utilizados valores de Tempo de Retorno de 2, 5, 10, 25 e 50 anos, o tempo de duração da chuva crítica foi fixado como o tempo de concentração de 43,095 minutos, e para

a obtenção da vazão específica em L/s.ha foi utilizado um fator de ajuste de  $k_I=10/3,6$ . Os resultados são apresentados na Tabela 6.6, abaixo.

Tabela 6.6 - Cálculo da vazão específica de pré-desenvolvimento ( $q_{pré}$ ).

Tempo de Retorno (anos)	Tempo de concentração (min)	Intensidade máxima de chuva (mm/h)	Coefficiente de Escoamento Superficial pré-desenvolvimento ( $C_{pré}$ )	Vazão específica de pré-desenvolvimento ( $q_{pré}$ ) (L/s.ha)
2	43,1	48,330	0,19	25,507
5		54,995		29,025
10		60,642		32,005
25		69,005		36,419
50		76,090		40,158

Plotando os valores, é obtido o gráfico de relação entre a vazão específica e o tempo de recorrência da chuva na Bacia do Wenzel, o qual pode ser observado na Figura 6.7, abaixo.

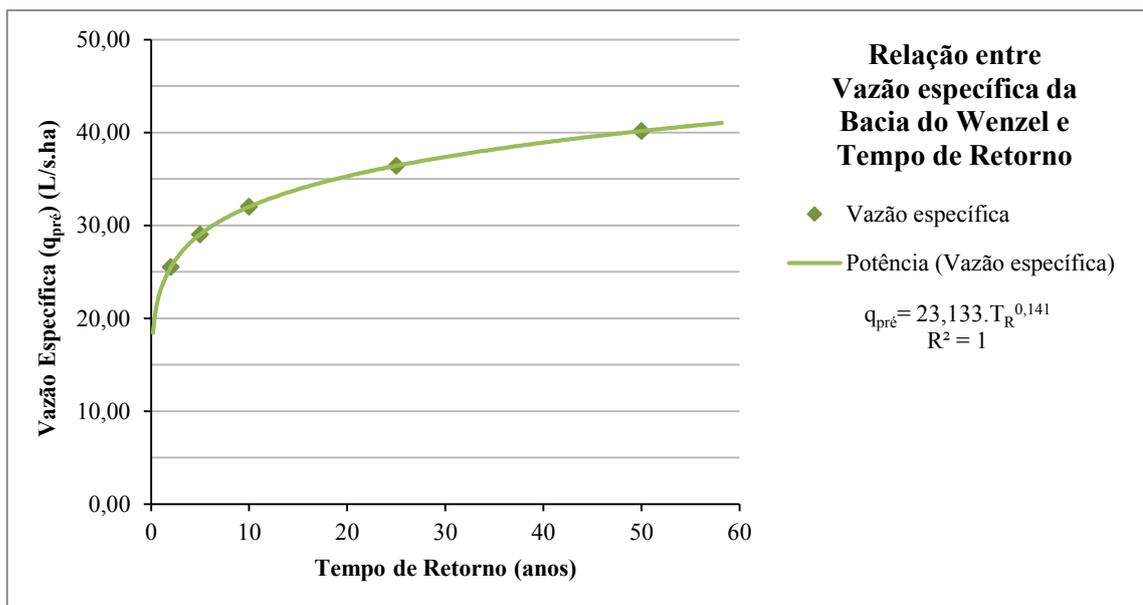


Figura 6.7 - Gráfico da vazão específica de pré-desenvolvimento da Bacia do Wenzel pelo tempo de retorno.

Realizando-se a regressão dos dados de maneira não linear, através de uma função potencial, é gerada uma equação da vazão específica de pré-desenvolvimento em função do tempo de retorno, a qual é apresentada abaixo.

$$q_{pré} = 23,133 \times T_R^{0,141} \quad (6.5)$$

Em que:

- $q_{pré}$  = Vazão específica de pré-desenvolvimento, em L/s.ha;
- $T_R$  = Tempo de retorno, em anos.

Substituindo-se então a Equação (6.5) na Equação (6.3), e introduzindo a relação do Método Racional apresentada na Equação (6.4), resulta-se em:

$$V_{esp} = [k_1(C_{pós} \times I) - q_{pré}] \times k_2 t_d \quad (6.6)$$

Em que:

- $V_{esp}$  = Volume específico, em m<sup>3</sup>/ha;
- $C_{pós}$  = Porcentagem de área impermeabilizada, em %;
- $I$  = Intensidade de chuva, em mm/h;
- $q_{pré}$  = Vazão específica de pré-desenvolvimento, em m<sup>3</sup>/s.ha;
- $t_d$  = Tempo de duração da chuva crítica, em minutos;
- $k_1$  e  $k_2$  = Coeficiente de ajuste de unidades.

Aplicando os valores já conhecidos do Coeficiente de Escoamento Superficial de pós-urbanização da Equação (6.2); a equação de chuvas proposta por Moruzzi & Oliveira (2009) descrita na Equação (5.5); e o tempo de concentração da Bacia do Wenzel; na Equação (6.6), obtém-se:

$$V_{esp} = \left[ \frac{10}{3,6} \left( (0,0066 \times A_{imp} + 0,1917) \times \frac{560,9 \times T_R^{0,141}}{(7,4 + t_d)^{0,65}} \right) - 23,133 \times T_R^{0,141} \right] \times k_2 t_d \quad (6.7)$$

Em que:

- $V_{esp}$  = Volume específico, em [L<sup>3</sup>].[L<sup>-2</sup>];
- $A_{imp}$  = Porcentagem de área impermeabilizada, em %;
- $t_d$  = Tempo de duração da chuva crítica, em minutos;
- $k_2$  = Coeficiente de ajuste de unidades.

Para a determinação do maior valor de volume de detenção, a Equação (6.7) deve ser resolvida por método iterativo. Dessa forma, utilizou-se o suplemento Solver do *software* Microsoft Excel para o cálculo do maior valor possível de volume específico, variando-se o tempo de duração da chuva para cada intervalo de área impermeabilizada.

Os resultados são apresentados a seguir, na Tabela 6.7. Para a obtenção do Volume Específico em m<sup>3</sup>/ha, deve-se utilizar  $k_2=60/1000$ .

Tabela 6.7 - Cálculo do Volume Específico ( $V_{esp}$ ) em função da área impermeabilizada e do tempo de retorno.

Área impermeabilizada (%)	Volume específico (m <sup>3</sup> /ha)					Tempo de duração da chuva crítica (min)
	Tempo de Retorno (anos)					
	2	5	10	25	50	
0	16,347	18,602	20,511	23,340	25,737	14,27
5	23,374	26,598	29,329	33,374	36,800	17,92
10	31,239	35,547	39,196	44,602	49,181	21,70
15	39,857	45,353	50,010	56,907	62,749	25,60
20	49,165	55,946	61,690	70,198	77,405	29,64
25	59,115	67,267	74,174	84,403	93,069	33,81
30	69,664	79,272	87,411	99,466	109,678	38,11
35	80,781	91,921	101,359	115,338	127,179	42,54
40	92,435	105,184	115,983	131,978	145,528	47,11
45	104,604	119,031	131,252	149,353	164,687	51,82
50	117,266	133,439	147,139	167,432	184,622	56,65
55	130,403	148,388	163,623	186,188	205,304	61,62
60	143,998	163,858	180,681	205,599	226,708	66,72
65	158,037	179,833	198,296	225,644	248,810	71,94
70	172,506	196,297	216,451	246,303	271,590	77,29
75	187,394	213,238	235,131	267,559	295,029	82,77
80	202,689	230,643	254,322	289,397	319,109	88,37
85	218,381	248,499	274,013	311,803	343,815	94,10
90	234,462	266,798	294,190	334,763	369,133	99,94
95	250,923	285,528	314,843	358,265	395,047	105,91
100	267,755	304,682	335,963	382,297	421,547	111,99

Através da análise dos dados, é possível estabelecer uma relação entre os parâmetros de porcentagem de área impermeabilizada e o tempo de duração da chuva crítica. Os dados estão plotados na Figura 6.8.

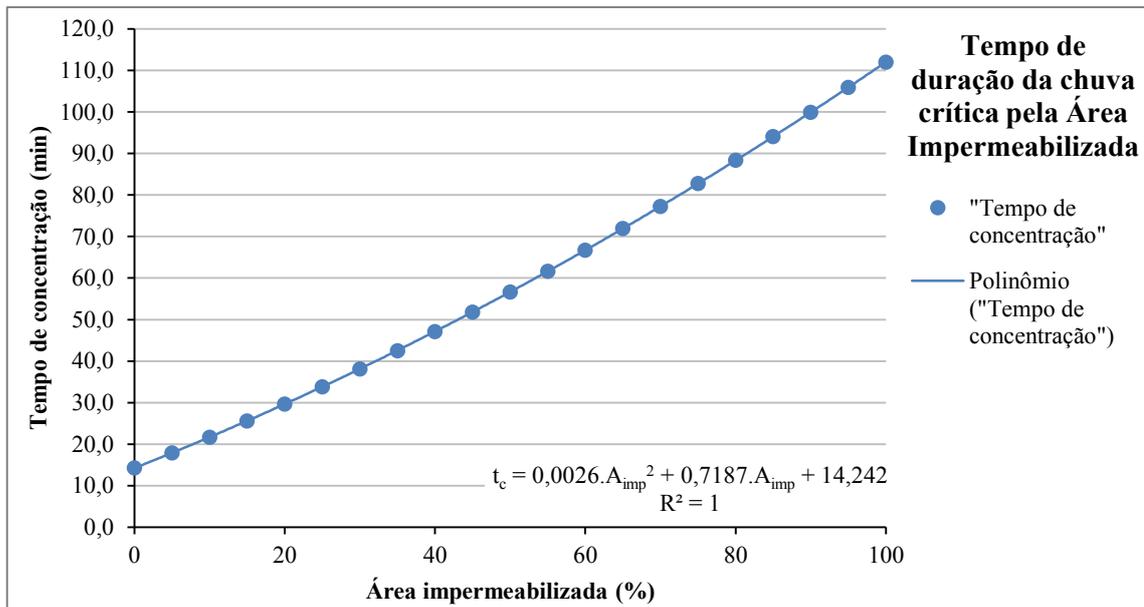


Figura 6.8 - Gráfico do tempo de duração da chuva crítica pela área impermeabilizada.

Dessa maneira, foi ajustada uma curva polinomial para o conjunto de dados, resultando na seguinte expressão:

$$t_c = 0,0026 \times A_{imp}^2 + 0,7187 \times A_{imp} + 14,242 \quad (6.8)$$

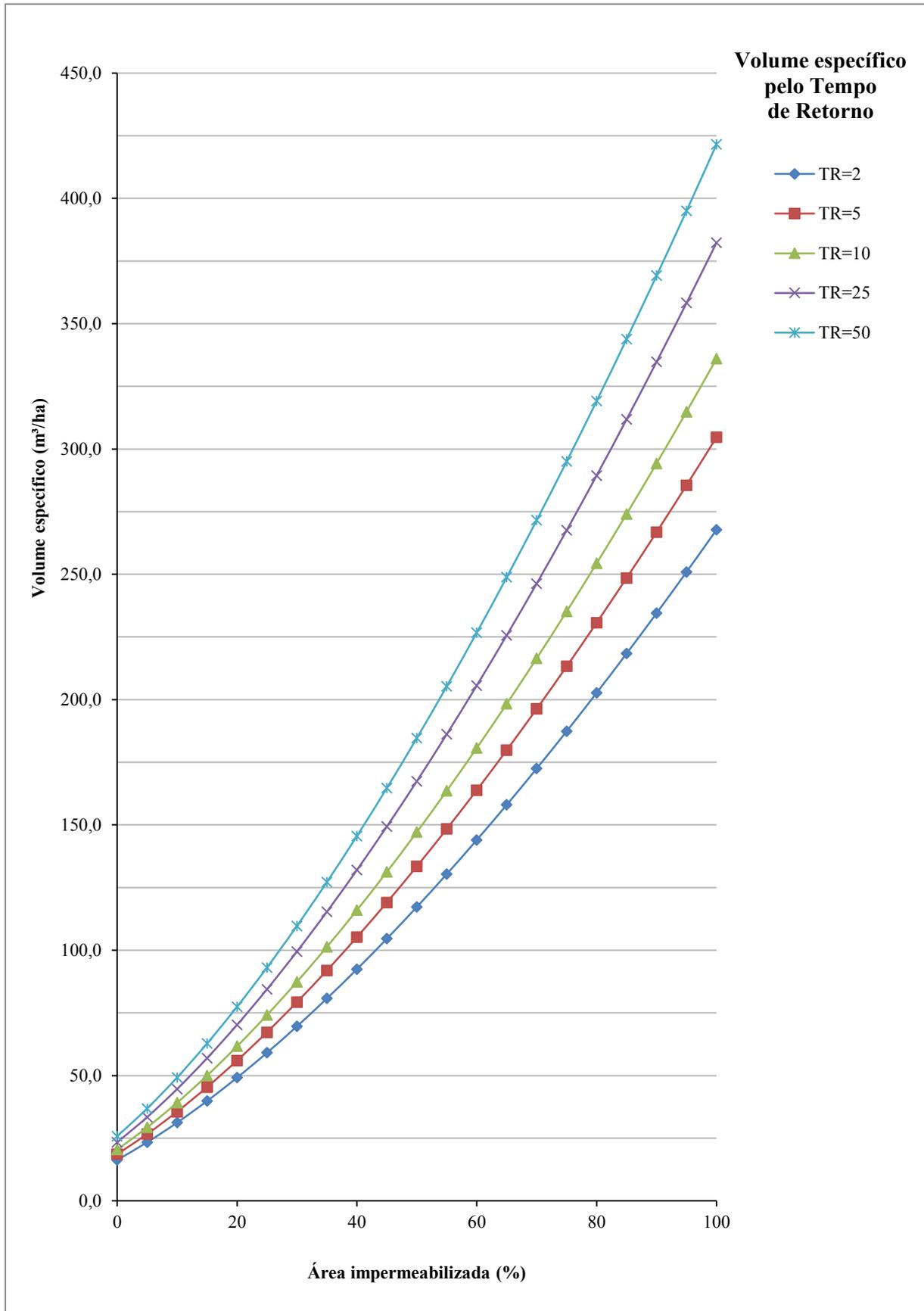


Figura 6.9 - Volume específico pela área impermeabilizada para diversos tempos de retorno.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos para o volume específico de retenção ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) na Bacia do Wenzel indicam que, para um tempo de retorno fixo, quanto maior a porcentagem de área impermeabilizada na bacia de contribuição, maior será o volume de retenção. Para a situação atual da Bacia do Wenzel, com 82% de área impermeável, e considerando um tempo de retorno de 50 anos, amplamente utilizado para projetos de macrodrenagem, o volume específico é de  $328,9 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

Dessa maneira, considerando a área da Bacia do Wenzel, de 287,5 hectares, o volume de armazenamento necessário para a bacia de retenção será de aproximadamente  $94.560 \text{ m}^3$ , e para uma bacia de retenção com profundidade de 2,5 metros, a área necessária para sua implantação será de  $37.825 \text{ m}^2$ , ou 3,78 hectares.

Através da análise multicritério realizada por Tamura (2012) na Bacia do Wenzel, foi possível estabelecer áreas potenciais para a instalação de bacias de retenção. Uma das alternativas representa uma área de 7,15 hectares próxima ao exutório da bacia, nas proximidades do leito do córrego. Dessa forma, recomenda-se um estudo detalhado das características fisiológicas dessa área para avaliar a real possibilidade da instalação de uma bacia de retenção no local.

Aliado a isso, recomenda-se a execução de obras corretivas no bueiro de passagem do Córrego Wenzel localizado abaixo da Avenida Castelo Branco, onde há o estrangulamento do leito do curso d'água. Assim, seriam resolvidos ou atenuados os efeitos adversos das chuvas intensas nos pontos de inundação números 5 e 1, observados na Figura 4.1.

## 8. CONCLUSÃO

Através da aplicação do Método Racional em conjunto com as características fisiográficas e demográficas da parcela da área urbana na qual está inserida a Bacia do Córrego Wenzel no município de Rio Claro, foi possível ajustar uma curva relacionando a porcentagem da área impermeabilizada da área de contribuição e o volume específico de uma bacia de detenção.

Atualmente, segundo o levantamento do uso e ocupação do solo na Bacia do Wenzel, a porcentagem de impermeabilização da área é de aproximadamente 82%. A curva da área impermeabilizada pela densidade populacional apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,65 após o ajuste dos dados, valor esse considerado satisfatório. A curva demonstra que valores bem próximos de 100% para a porcentagem da área impermeabilizada podem ser encontrados em regiões com densidades populacionais entre 80 (oitenta) e 100 (cem) habitantes por hectare.

O coeficiente de escoamento superficial determinado para a área apresentou valores compatíveis com outros estudos realizados na Bacia do Wenzel, variando entre 0,19 para a situação de pré-urbanização, ou seja, área impermeabilizada igual a 0%, e 0,85 para 100% da área impermeabilizada.

O volume específico de detenção ( $m^3/ha$ ) pode ser determinado através da variável área impermeabilizada. A equação obtida indica que, para um tempo de retorno fixo, quanto maior a porcentagem de área impermeabilizada na bacia de contribuição, maior será o volume de detenção. Para a situação atual da Bacia do Wenzel, com 82% de área impermeável, e um tempo de retorno de 50 anos, o volume específico é de 328,9  $m^3/ha$ .

Dessa forma, a expressão obtida através do método empregado permite estimar o volume de armazenamento necessário para igualar os hidrogramas das situações de pré e pós-urbanização, e assim mitigar os impactos socioambientais negativos relacionados a enchentes. Ela é uma ferramenta muito útil nas etapas de planejamento da obra, auxiliando na definição de áreas de interesse bem como na fiscalização de obras já realizadas. Cabe ressaltar que para o dimensionamento exato de uma bacia de detenção são necessários estudos mais detalhados das características da bacia hidrográfica.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M de. *Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista*. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1964. 99p.
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2ª edição, 2011, 318 p.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª edição, 2005, 304 p.
- CUNHA, C. M., MORUZZI, R. B., BRAGA, R. *Diagnóstico dos elementos de drenagem urbana de Rio Claro-SP: subsídios para o plano diretor*. REA – Revista de Estudos Ambientais online, v. 11, n. 02, p. 88-100, jul./dez. 2009. Disponível em: <<http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/viewFile/1551/1201>>, Acesso: 20 abr. 2014.
- FRANCO, E. J. *Dimensionamento de Bacias de Detenção das águas pluviais com base no Método Racional*. Dissertação. Curitiba: UFPR, dez. 2004. Disponível em: <[http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/085-Edu\\_Jose\\_Franco.pdf](http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/085-Edu_Jose_Franco.pdf)>. Acesso em 15 mai. 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados da sinopse por setor censitário*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 37 p. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores>>. Acesso em: 20 abr. 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 270 p. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd\\_2010\\_caracteristicas\\_populacao\\_domicilios.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2014.

- MACHADO, P. A. L. *Direito Ambiental Brasileiro*. 18<sup>a</sup> ed. São Paulo: Malheiros Editores, 2010. 1177 p.
- MARQUEZINI, L. C. *Geotecnologias para a análise da bacia hidrográfica do Córrego Wenzel – Rio Claro/SP: Proposta de gestão de recursos hídricos*. 2011. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.
- MARTINS JUNIOR, O. P. *Uma Cidade Ecologicamente Correta*. Goiânia: AB Editora, 1996. 224 p.
- MASSON, M. R. *Rochas da Formação Corumbataí como matéria-prima para indústria cerâmica de revestimentos: sua influência na qualidade dos produtos*. 1998. 143 p. Dissertação (Mestrado em geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.
- MENEZES, M. E. N. S. & COSTA, J. A. V. *Urbanização do setor sudoeste de Boa Vista-RR e implicações ambientais na microbacia Igarapé Grande-Paca*. Acta Geográfica, Boa Vista, ano I, v. I, p. 67-81. 2007.
- MORAES, I. C. *et al. Interferência do uso da terra nas inundações da área urbana do Córrego da Servidão, Rio Claro (SP)*. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 13, n. 2, (Abr-Jun), p. 187-200, 2012. Disponível em: <[http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/interferencia\\_uso\\_terra.pdf](http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/interferencia_uso_terra.pdf)>. Acesso em: 13 mai. 2014.
- MORUZZI R. B., OLIVEIRA, S. C. *Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação*. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 13, p. 59-68, Mai. 2009. Disponível em: <[http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/relacao\\_entre\\_intensidade.pdf](http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/relacao_entre_intensidade.pdf)>. Acesso em 20 abr. 2014.

- OLIVA, A., CHANG, H. K. *Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica vertical*. Revista Unesp, São Paulo, v. 26, n.1 p. 27- 34, 2007.
- PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*. São Carlos: EESC/USP, 2003, 519p.
- SCHNEIDER, R. L. *et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre: SBG, 1974. v. 1, p. 41-65.
- SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo. *Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo. Website*. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>>. Acesso em 28 jan. 2013.
- TAMURA, L. M. *Análise multicritério para a determinação de áreas de bacia de detenção no Córrego Wenzel – Rio Claro/SP*. 2012. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.
- TASSI, R. *Comparação de duas metodologias para determinação do volume de detenção em pequenas bacias urbanas: o caso de Porto Alegre/RS Brasil*. In: CONGRESSO NACIONAL DEL AGUA E III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONO SUR, 2005. 8p.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH*, Porto Alegre, Vol. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar., 2000.
- TUCCI, C. E. M., BARROS, M. T., PORTO, R. L. (org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Ed., Universidade/UFRGS, 1995, 414p.
- TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Ed. Universidade - UFRGS-ABRH, 2002, 939 p.

ZAINE, J. E. *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. 2000. 149 p. Tese (Doutorado em geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

ZAINE, J. E. *Geologia da formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)*. 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado em geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

ZAINE, M. F. & PERINOTTO, J. A. J. *Patrimônios Naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP*. Rio Claro: Câmara Municipal de Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 1996. 91p. Edição histórica dos 150 anos da Câmara Municipal de Rio Claro.