



## Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba

---

RELATÓRIO FINAL – VOLUME 3  
CAPACIDADE DO SISTEMA ATUAL E MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS

TOMO 3.2  
ESTUDOS HIDROLÓGICOS – METODOLOGIA E HIDROGRAMAS CALCULADOS

---

DEZEMBRO 2 002

**GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ**

**SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**SUDERHSA** Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**PROGRAMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

**PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA A BACIA DO RIO IGUAÇU  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

RELATÓRIO FINAL - VOLUME 3

**CAPACIDADE DO SISTEMA ATUAL E MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS**

TOMO 3.2

**ESTUDOS HIDROLÓGICOS – METODOLOGIA**

## RELAÇÃO DE VOLUMES

---

- Volume 1 SISTEMA INSTITUCIONAL  
Propõe um sistema institucional para a concretização e gestão do Plano Diretor de Drenagem.
- Volume 2 POLÍTICAS E AÇÕES NÃO-ESTRUTURAIS  
Apresenta a um elenco de políticas e ações para o controle do uso do solo urbano com o objetivo de promover a redução das vazões de águas pluviais e dos impactos das cheias.
- Volume 3 CAPACIDADE DO SISTEMA ATUAL E MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS - RELATÓRIO GERAL (4 tomos)  
Apresenta as questões relacionadas às linhas de inundação, capacidade do sistema de macrodrenagem e medidas estruturais de controle de cheias comuns a toda área de projeto. Abrange os seguintes assuntos: metodologia, critérios e parâmetros de modelagem; caracterização do sistema; pesquisa sobre inundações; estudo da evolução da mancha urbana; programas de melhorias; análise geral de impactos ambientais e medidas mitigadoras; integração com o Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu.
- Volume 4 CAPACIDADE DO SISTEMA ATUAL E MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS - MODELAGEM DAS LINHAS DE INUNDAÇÃO (30 tomos)  
Apresenta, para cada bacia de afluente do rio Iguaçu, as linhas de inundação para diversos cenários e períodos de retorno, um diagnóstico das inundações, as medidas estruturais de controle propostas, o anteprojeto dessas medidas, orçamentos estimativos e programas específicos. Apresenta também um estudo sobre os impactos das medidas de controle propostas para os afluentes, nas cheias do rio Iguaçu.
- Volume 5 PLANO DE AÇÃO PARA SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA (2 tomos)  
Identifica as áreas críticas sob risco de inundação; analisa os planos de ações emergenciais existentes; propõe uma logística operacional baseada no Sistema de Monitoramento e Alerta de Cheias e no Sistema Metropolitano de Defesa Civil identificando os estados de alerta e as ações de emergência com os respectivos responsáveis.
- Volume 6 MANUAL DE DRENAGEM URBANA  
Apresenta critérios para elaboração de projetos, com sua fundamentação teórica, dentro dos princípios do Plano Diretor de Drenagem. Apresenta também a regulamentação por distrito de drenagem das ações a serem implementadas.
- Volume 7 SUBSÍDIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS (2 tomos)  
Avalia os benefícios das intervenções propostas para a redução das enchentes em uma bacia piloto através da metodologia da disposição a pagar, a partir da valoração dos imóveis beneficiados.
- Volume 8 CAPACITAÇÃO TÉCNICA  
Apresenta o roteiro e a análise dos resultados do curso de capacitação ministrado para técnicos da SUDERHSA, das prefeituras e das entidades responsáveis pela implantação do Plano Diretor de Drenagem.
- Volume 9 SISTEMA DE DIVULGAÇÃO E INTERAÇÃO COM OS USUÁRIOS  
Desenvolve o projeto de quatro folderes, de um cartaz e de um sítio na internet para a divulgação do Plano Diretor de Drenagem e abertura de canais de comunicação com a população.
- Volume 10 SÍNTESE  
Apresenta o resumo do Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Alto Iguaçu com a síntese dos trabalhos elaborados e das ações propostas.

## **TOMOS DO VOLUME 3**

---

Tomo 3.1	PROGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE MEDIDAS ESTRUTURAIS DE CONTROLE
Tomo 3.2	ESTUDOS HIDROLÓGICOS – METODOLOGIA
Tomo 3.3	SIMULAÇÕES HIDRODINÂMICAS – METODOLOGIA
Tomo 3.4	ESTUDOS E PROJETOS EXISTENTES

# ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
<b>2</b>	<b>CENÁRIOS ESTUDADOS</b>	<b>02</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PARA O ESTUDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO</b>	<b>03</b>
3.1	CHUVA DE PROJETO	04
3.2	MODELO DE TRANSFORMAÇÃO CHUVA - VAZÃO	15
3.3	SEGMENTAÇÃO DAS BACIAS E SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS	20
3.4	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	21
3.5	PERÍODO DE RETORNO	23
<b>4</b>	<b>DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS DOS SOLOS</b>	<b>24</b>
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	25
4.2	BASE DE DADOS UTILIZADA	26
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS – BACIA DO ALTO IGUAÇU	28
4.4	DEFINIÇÃO DAS UNIDADES HOMOGÊNEAS QUANTO À COMPOSIÇÃO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS – UNIDADE GEOAMBIENTAIS	39
4.5	DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS	40
<b>5</b>	<b>MODELO NUMÉRICO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CN</b>	<b>52</b>
5.1	ESTIMATIVA DE CN USANDO SIG E CLASSIFICADOR RELATIVO	52
5.2	EXEMPLO DE CÁLCULO DE CN EM UM PIXEL	55
<b>6</b>	<b>EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA</b>	<b>56</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	56
6.2	ESTUDOS DESENVOLVIDOS	57
6.3	RESULTADOS OBTIDOS	60
<b>7</b>	<b>ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS DIGITAL</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>69</b>
	ANEXO 1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	ANEXO 2 – FLUXOGRAMAS METODOLÓGICOS	74
	ANEXO 3 – ATIVIDADES PARA MODELAGEM HIDRODINÂMICA	77
	ANEXO 4 – DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM DA BACIA DO ALTO IGUAÇU - DESENHO IL02 -	81

# 1 INTRODUÇÃO

---

Este documento apresenta a metodologia, os critérios e os parâmetros utilizados nos Volumes 03 e 04 – Capacidade do Sistema Atual e Medidas de Controle de Cheias – Relatório Geral e Modelagem das Linhas de Inundação, parte integrante do Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, conforme previsto no item 3.3 do Termo de Referência do Contrato no 04/99, firmado entre a CH2M HILL e a SUDERHSA.

O Volume 03 tem por objetivo apresentar as questões relacionadas às linhas de inundação, capacidade do sistema de macrodrenagem e medidas estruturais de controle de cheias comuns a toda área de projeto.

O Volume 04 apresenta, para cada bacia de afluente do rio Iguaçu, um diagnóstico das inundações para diversos cenários e períodos de retorno, de forma a nortear as atividades futuras do plano, principalmente quanto à proposição de medidas para a mitigação das inundações, que devem ser compatibilizadas com o contexto de desenvolvimento global da RMC – Região Metropolitana de Curitiba.

Para a determinação das vazões de cheias foram utilizados métodos hidráulicos ou hidrológicos. Os métodos hidráulicos baseiam-se nas equações do escoamento não permanente (conservação de massa e quantidade de movimento), enquanto os chamados métodos hidrológicos baseiam-se nos conceitos de translação e armazenamento. Para tanto, foi necessário discretizar as diversas bacias dos rios que compõem a área de abrangência do plano e, para cada área discretizada, levantar os parâmetros necessários para a realização das simulações.

Dessa forma, o presente relatório vem consolidar a metodologia, os critérios utilizados para cálculo dos parâmetros dos modelos e os demais elementos de interesse. Os resultados da aplicação da metodologia aqui descrita encontram-se no Volume 4 e em mídia eletrônica conforme apresentado no item 7 deste relatório.

## 2 CENÁRIOS ESTUDADOS

---

O Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba tem por objetivo solucionar os problemas da comunidade através de considerações ordenadas, que envolve desde a concepção inicial até um programa de obras, considerando um determinado espaço e fixando um determinado período para o seu desenvolvimento completo.

Dentro deste contexto, o estudo do sistema de macrodrenagem das bacias hidrográficas constituintes do Plano Diretor se desenvolve considerando três cenários distintos:

- **Cenário Atual**, retratando tanto as condições atuais de impermeabilização como do sistema de macrodrenagem das bacias hidrográficas contribuintes;
- **Cenário Tendencial**, em que são consideradas tanto as condições futuras de impermeabilização como do sistema de macrodrenagem das bacias, em decorrência do processo de urbanização previsto para o ano 2.020; e
- **Cenário Dirigido**, representando a mesma mancha urbana projetada para o ano de 2.020 e a situação futura do sistema de macrodrenagem com as medidas de controle. Portanto, são justamente as medidas de controle propostas no Plano Diretor que transformam o cenário tendencial em dirigido.

Portanto, nos cenários atual e tendencial são consideradas as condições atuais da rede de macrodrenagem, não sendo contemplada a implantação de qualquer medida de controle (MC) visando à contenção e o controle de cheias.

Cabe salientar que na formulação do plano considerou-se como pressupostos básicos que as barragens previstas no Plano Diretor de Abastecimento de Água serão implantadas.

Nas bacias hidrográficas constituintes do Plano Diretor as condições de impermeabilização foram obtidas através de caracterização geológica dos solos e estudos demográficos e de ocupação urbana que levaram em conta a população atual e sua distribuição espacial, bem como a projeção e distribuição da população ao longo do período de planejamento, a partir da tendência de crescimento e das leis de zoneamento e uso do solo. Nos capítulos seguintes será apresentada a metodologia adotada.

### 3 METODOLOGIA PARA O ESTUDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO

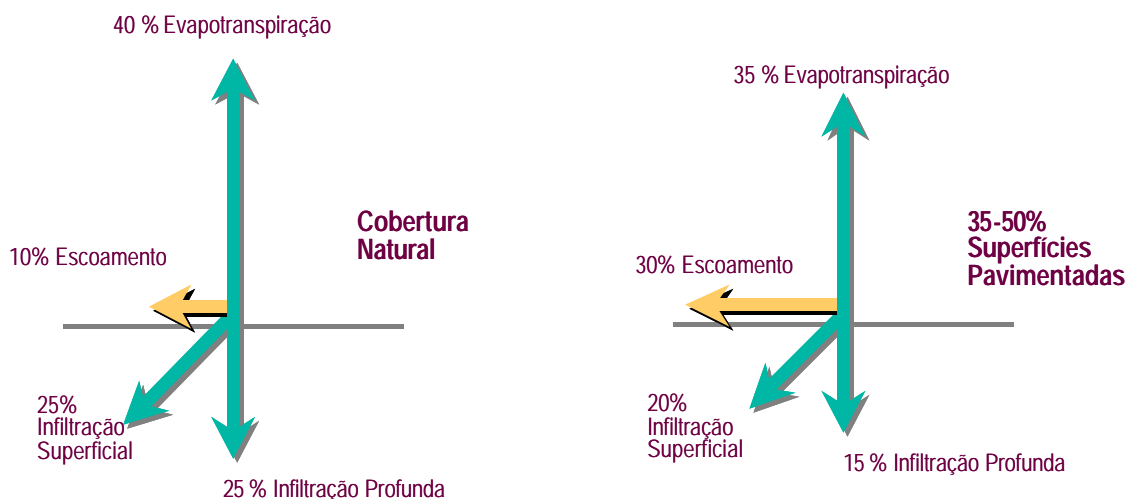
Os fatores hidrológicos diretamente afetados pela urbanização são os parâmetros de tempo do escoamento superficial direto, o volume do escoamento superficial direto e a vazão de pico das cheias. Esses efeitos são conseqüências, principalmente, das alterações da cobertura do solo e das modificações hidrodinâmicas nos canais de drenagem.

As alterações na cobertura do solo caracterizam-se pela sua substituição por outro tipo de cobertura substancialmente diferente da original, seja por áreas construídas, seja por áreas pavimentadas. Estas áreas aumentam gradativamente a impermeabilização da bacia hidrográfica, reduzindo a sua capacidade natural de absorver as águas das chuvas, conforme pode ser observado na Figura 3.1.

**Figura 3.1**

Efeito do desenvolvimento urbano sobre o escoamento superficial

*A impermeabilização do solo, que normalmente acompanha o processo de urbanização, altera dramaticamente a parcela de chuva que esco superficialmente.*



Fonte: *Water Resources Protection Technology*, 1981, Tourbier and Westmacott, ULI; and *Lakes and Ponds*, 1992, Tourbier and Westmacott, ULI.

As principais modificações das características hidráulicas das calhas decorrem das obras de canalização. Estas envolvem, principalmente, ampliações de seções e revestimentos de leito, vindo a apresentar menor resistência ao escoamento e, conseqüentemente, maiores velocidades, resultando em uma redução no tempo de concentração da bacia.

Do exposto anteriormente, pode-se verificar que a urbanização de uma bacia altera a sua resposta à ocorrência de chuvas. Os principais efeitos são as reduções da infiltração e o tempo de trânsito das águas, gerando maiores picos de vazão em relação às condições anteriores à citada urbanização.



Cabe então salientar que o volume do escoamento superficial direto é determinado pela quantidade de água precipitada, características de infiltração do solo, chuva antecedente, tipo de cobertura vegetal e retenção superficial. Já o tempo de trânsito das águas é função da declividade, rugosidade superficial do leito, comprimento do percurso e profundidade da lâmina d'água do canal.

Portanto, para a avaliação da capacidade do sistema de drenagem atual da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, os efeitos da urbanização na resposta hidrológica das bacias de drenagem devem ser analisados sob a ótica tanto do volume do escoamento superficial direto, quanto do tempo de trânsito das águas.

Desta forma, o método do “número de curva” – CN desenvolvido pelo US Soil Conservation Service – USCS para a determinação do escoamento superficial direto foi utilizado para a análise das alterações do volume do escoamento superficial direto causadas pela urbanização da bacia do Alto Iguaçu. A definição dos valores de CN está associada à constituição geológica da área da bacia e ao tipo de cobertura e/ou uso do solo.

O objetivo do presente capítulo é de apresentar a metodologia, parâmetros e critérios adotados para a avaliação da capacidade do sistema de drenagem atual.

## 3.1 CHUVA DE PROJETO

### 3.1.1 Conceitos

Os estudos de drenagem urbana envolvem, geralmente, cursos d'água de pequeno ou médio porte, desprovidos de registros fluviométricos, nos quais a estimativa das vazões de projeto é realizada com base nos dados das precipitações (chuvas intensas) que ocorrem nas respectivas bacias.

A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície. A determinação da intensidade da precipitação é, portanto, importante para a estimativa das vazões de projeto das obras de drenagem e o controle de inundação.

A ocorrência da precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com antecedência. O tratamento dos dados de precipitação para a grande maioria dos problemas hidrológicos é estatístico.

As principais características da precipitação são o seu total, duração e distribuições espacial e temporal. O total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração.

A expressão *chuva de projeto* identifica a precipitação que é definida com o objetivo de gerar um *hidrograma ou vazão de projeto* para uma determinada bacia hidrográfica. Os primeiros fundamentos referem-se aos conceitos de precipitação natural e precipitação de projeto. A precipitação natural é uma seqüência cronológica de eventos de chuva que podem ser caracterizados, um a um, pelas seguintes variáveis (unidades usuais entre parêntesis):

- Lâmina precipitada P (mm);
- Duração D (min);

- Intensidade média precipitada  $i_{méd} = P/D$  (mm/h);
- Lâmina máxima  $P_{máx}$  (mm) da seqüência de intervalos de tempo  $\Delta t$  que discretizam  $D$ ;
- Intensidade máxima  $i_{máx} = P_{máx} / \Delta t$  (mm/h); e
- Posição de  $P_{máx}$  ou  $i_{máx}$  dentro da duração  $D$  (entre 0 e 1, do início ao fim de  $D$ ).

A precipitação de projeto é, por sua vez, um evento crítico de chuva construído artificialmente com base em características estatísticas da chuva natural e com base em parâmetros de resposta da bacia hidrográfica. Estas características estatísticas e parâmetros são levados em conta com a definição de dois elementos básicos (unidades usuais entre parêntesis):

- Período de retorno  $TR$  da precipitação de projeto (anos); e
- Duração crítica  $D_{crítica}$  do evento (min).

O aposto *de projeto* significa que está associado à precipitação um período de retorno que foi pré-estabelecido conforme a importância da obra. Por convenção, atribui-se à vazão de projeto ou ao hidrograma de projeto calculado com base nesta precipitação, o período de retorno desta.

A duração crítica é outro elemento indispensável à definição das precipitações de projeto, pois ela deve ser longa o suficiente para que toda a área de drenagem, a montante do local em estudo, contribua no escoamento superficial, o que equivale a dizer que a precipitação efetiva (parcela da precipitação total que gera escoamento superficial) deve ter duração pelo menos igual ao tempo de concentração da bacia contribuinte.

As precipitações de projeto podem ser constantes ou variadas ao longo de sua duração. A precipitação de projeto constante é normalmente definida para aplicação do Método Racional enquanto que a precipitação de projeto variada no tempo (hietograma de projeto, onde as lâminas de precipitação variam de  $\Delta t$  para  $\Delta t$  ao longo da duração  $D$ ) é adequada para aplicação de um Hidrograma Unitário.

Em termos práticos, para uma precipitação de projeto constante considera-se a duração igual ao tempo de concentração da bacia. Para um hietograma de projeto, a duração deve ser maior que o tempo de concentração, pois este deveria ser o tempo de duração apenas de sua parcela efetiva.

As precipitações de projeto consideradas acima são normalmente determinadas a partir de relações intensidade-duração-freqüência (curvas IDF) das precipitações sobre a bacia contribuinte. Expressas sob forma de tabelas ou equações, as curvas IDF fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno. Pode-se obter uma lâmina ou altura de precipitação, multiplicando-se a intensidade dada pela IDF pela sua correspondente duração.

Os tipos de precipitação de projeto sugeridos neste estudo são aplicáveis em casos comuns de projeto. Em casos especiais, pode ser necessária a aplicação de outros tipos de precipitação de projeto, como seqüências cronológicas históricas ou sintéticas de chuva ou mesmo tormentas de projeto obtidas com técnicas consagradas do método da precipitação máxima provável (PMP).

As precipitações de projeto têm uma dimensão pontual que é aplicada ao centro geométrico da bacia. Em outras palavras, a precipitação máxima pontual correspondente à bacia estudada deve

ser aplicada no seu centro geométrico e uma técnica de espacialização deve ser aplicada para obtenção da precipitação média em toda a bacia.

### 3.1.2 Precipitação Máxima Pontual

A precipitação é medida de forma pontual pois as áreas de captação dos pluviógrafos e pluviômetros são reduzidas (são usuais 200 e 400 cm<sup>2</sup>) em relação às áreas abrangidas por este fenômeno meteorológico. Mesmo com informações de radares meteorológicos, a única fonte de dados quantitativos de precipitação, são as informações pontuais dos pluviômetros e pluviógrafos. Os dados pluviométricos e pluviográficos constituem, portanto, a fonte indispensável de informação para qualquer chuva de projeto.

Toda definição de uma chuva de projeto começa pelo estudo da chuva pontual e para este ser realizado são necessários registros pluviográficos (dados de chuva com intervalos menores que 1 hora). Em regiões com apenas dados pluviométricos diários é preciso transferir parâmetros pluviográficos (geralmente coeficientes de desagregação da precipitação diária) dos pluviógrafos mais próximos.

Em locais com informações pluviográficas, os dados devem ser sintetizados na forma de relações de intensidade-duração-freqüência, comumente chamadas de curvas IDF.

A curva IDF de determinado local fornece a intensidade da chuva (mm/h, por exemplo) para uma dada duração e período de retorno. A maioria dos métodos que estabelecem chuvas de projeto em todo o mundo baseiam-se na curva IDF. Atualmente, a maioria das curvas IDF desenvolvidas apresenta o seguinte formato:

$$i_{\text{máx}} = \frac{aT^b}{(t + c)^d} \quad (3.1)$$

onde  $i_{\text{máx}}$  é a intensidade máxima da precipitação em mm/h;  $T$  é o tempo de retorno em anos;  $t$  é a duração da precipitação em minutos;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros ajustados para o conjunto de dados de cada posto pluviométrico.

Há dados pluviográficos em vários pontos da Região Metropolitana de Curitiba e algumas equações curvas IDF pontuais foram estabelecidas. Elas são apresentadas, avaliadas e comparadas a seguir, com vistas a estabelecer seus limites de aplicação, suas vantagens e limitações.

Existem cinco equações IDF disponíveis para a Região Metropolitana de Curitiba, a saber:

#### *CURVA IDF DE PARIGOT DE SOUZA*

Parigot de Souza (1959) utilizou dados de chuva da estação pluviográfica de Curitiba (Código DNAEE 02549006; Lat. 25° 26'S; Long. 49° 16'W; altitude: 929 m) com durações de 5 min a 2 horas, no período de 1921 a 1951, obtendo a relação:

$$i_{\text{máx}} = \frac{5950,00 T^{0,217}}{(t + 26)^{1,15}} \quad (3.2)$$

onde  $i_{\text{máx}}$  é a intensidade máxima da precipitação em mm/h; T é o tempo de retorno em anos; e t é a duração da precipitação em minutos.

Esta foi uma das primeiras curvas IDF desenvolvidas no Brasil com o formato apresentado na equação 3.1 e é válida para o intervalo de duração com que foi especificada, não devendo, portanto ser aplicada para determinação de chuvas de projeto com mais de duas horas de duração. Ela apresenta, ainda, o inconveniente de não utilizar dados atualizados de chuva, não contemplando possíveis efeitos de urbanização dos últimos 50 anos.

### CURVA IDF DE PFAFSTETTER

Pfaster (1959) obteve a relação de intensidade duração e frequência para o posto de Curitiba (Lat. 25° 25'S; Long. 49° 17'W) com base em série de cerca de 34 anos de pluviógrafo, utilizando chuvas com durações de 5 min a 6 dias. A equação obtida é a seguinte:

$$P = R[0,2t + 25\log(1 + 20t)] \quad (3.3)$$

$$R = T^{a+b/T^{0,25}}$$

onde R é a precipitação máxima em mm, t é a duração em horas; T o tempo de retorno em anos e; a e b são coeficientes estimados de acordo com a duração da precipitação, sendo b=0,15 para durações de 5 a 30 min e b = 0,08 para durações de 1h a 6 dias. Os valores de a são apresentados na tabela abaixo.

**Tabela 3.1 Coeficientes a da Curva IDF de Pfaster**

Duração	a
5 min	0,108
15 min	0,122
30min	0,138
1h	0,156
2h	0,166
4h	0,174
8h	0,176
14h	0,174
24h	0,170
48h	0,166
3d	0,160
4d	0,156
6d	0,152

Fonte : CH2M HILL

Esta curva apresenta a vantagem de ter sido desenvolvida para um amplo espectro de durações de chuva. Porém, assim como a equação 3.2, não utiliza dados atualizados de chuva. Além disto, o formato utilizado não é de tão fácil aplicação quanto o da equação 3.2, por apresentar coeficientes que variam com a duração da chuva.

### CURVA IDF DE MELLO

Mello (1973) apresentou os estudos de chuvas intensas do Brasil e utilizou a seguinte expressão:

$$H(T, t) = \text{Hot}(\ln T)N \quad (3.4)$$

onde  $H(T, t)$  é a precipitação máxima com duração  $t$  e tempo de retorno  $T$  (anos) e  $\text{Hot}$  e  $N$  são coeficientes estabelecidos para cada posto. Na tabela a seguir são apresentados esses valores para Curitiba.

**Quadro 3.2 Valores dos coeficientes Hot e N para Curitiba  
IDF de Mello (1973)**

Duração (t)	Hot	N
15 min	22,63	0,41
1 hora	34,59	0,51
1 dia	77,53	0,52
2 dias	77,53	0,52
6 dias	121,25	0,48

Fonte : CH2M HILL

Esta curva tem o inconveniente de não poder ser facilmente interpolada para valores de duração intermediários aos apresentados na tabela anterior.

### CURVA IDF DE HOLTZ

Holtz (1966) atualizou a equação 3.2 utilizando uma série mais longa e obteve a seguinte expressão:

$$H = 70,6T^{0,162}t^{0,33} \quad (3.5)$$

onde  $H$  é a precipitação em mm;  $T$  é o tempo de retorno em anos e;  $t$  a duração da chuva em dias.

### CURVA IDF DE PRADO VELHO

Frendrich e Freitas (1989) confirmaram a equação anteriormente obtida por Parigot de Souza (equação 3.2) e obtiveram uma expressão para os dados disponíveis (1981 a 1988) do Posto do Prado Velho (Código DNAEE 02549075; Lat. 25° 27'S; Long. 49° 15'W; altitude: 884m). A expressão é a seguinte

$$i_{\text{máx}} = \frac{3221,07 T^{0,258}}{(t+26)^{1,01}} \quad (3.6)$$

onde  $i_{\text{máx}}$  é a intensidade máxima em mm/h;  $t$  é a duração da chuva em minutos e  $T$  é o período de retorno em anos.

Esta expressão apresenta a vantagem de utilizar dados mais atuais, mas tem o inconveniente de ter sido desenvolvida com uma série muito curta de dados (apenas 8 anos).

### *COMPARAÇÃO DAS CURVAS IDF DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA*

Com base nas curvas IDF relacionadas anteriormente, foram estabelecidas as relações entre chuvas de diferentes durações. A tabela 3.3 e as figuras 3.1 e 3.2, a seguir, apresentam os resultados das cinco equações. As principais observações e recomendações obtidas a partir da comparação entre elas são:

- Pode-se observar que a curva de Mello apresenta valores bastante distintos das demais, sendo, por este motivo, recomendado que ela não seja utilizada sem verificação cuidadosa dos motivos para as diferenças observadas;
- A curva de Parigot apresenta resultados semelhantes aos das curvas de Pfafstetter e do Prado Velho, para as durações menores ou iguais a 2 horas (faixa de validade da curva de Parigot). Porém, para durações maiores há subestimativa das máximas intensidades, quando comparadas com os resultados das demais curvas. Estes resultados confirmam a recomendação anterior de evitar seu uso para durações superiores a 2 horas;
- A curva de Holtz apresenta valores semelhantes às de Pfafstetter e do Prado Velho para durações de 12 horas ou mais, subestimando as intensidades para durações inferiores; e
- A curva de Prado Velho, apesar de ter sido obtida com uma série de apenas 8 anos, apresenta valores bastante próximos aos obtidos pelas curvas de Pfafstetter e Holtz, em praticamente todas as combinações analisadas. Sendo esta curva a mais atual, tendo sido desenvolvida para um posto próximo ao de Curitiba e com altitude levemente inferior (884m e 929m), sugere-se seu uso generalizado para condições de projeto.

Do exposto anteriormente pode-se concluir que as equações de Parigot, Pfafstetter e do Prado Velho apresentam resultados semelhantes para durações de até 2 horas, podendo estas serem utilizadas quase indistintamente. Porém, para durações maiores, a equação de Parigot deve ser evitada. Optou-se, dessa forma, pela adoção da equação de chuvas intensas da estação do Prado Velho, levando-se em consideração a maior atualidade dos dados utilizados para o seu ajuste como a sua facilidade de uso.

Quadro 3.3 Comparação das curvas IDF da Região Metropolitana de Curitiba

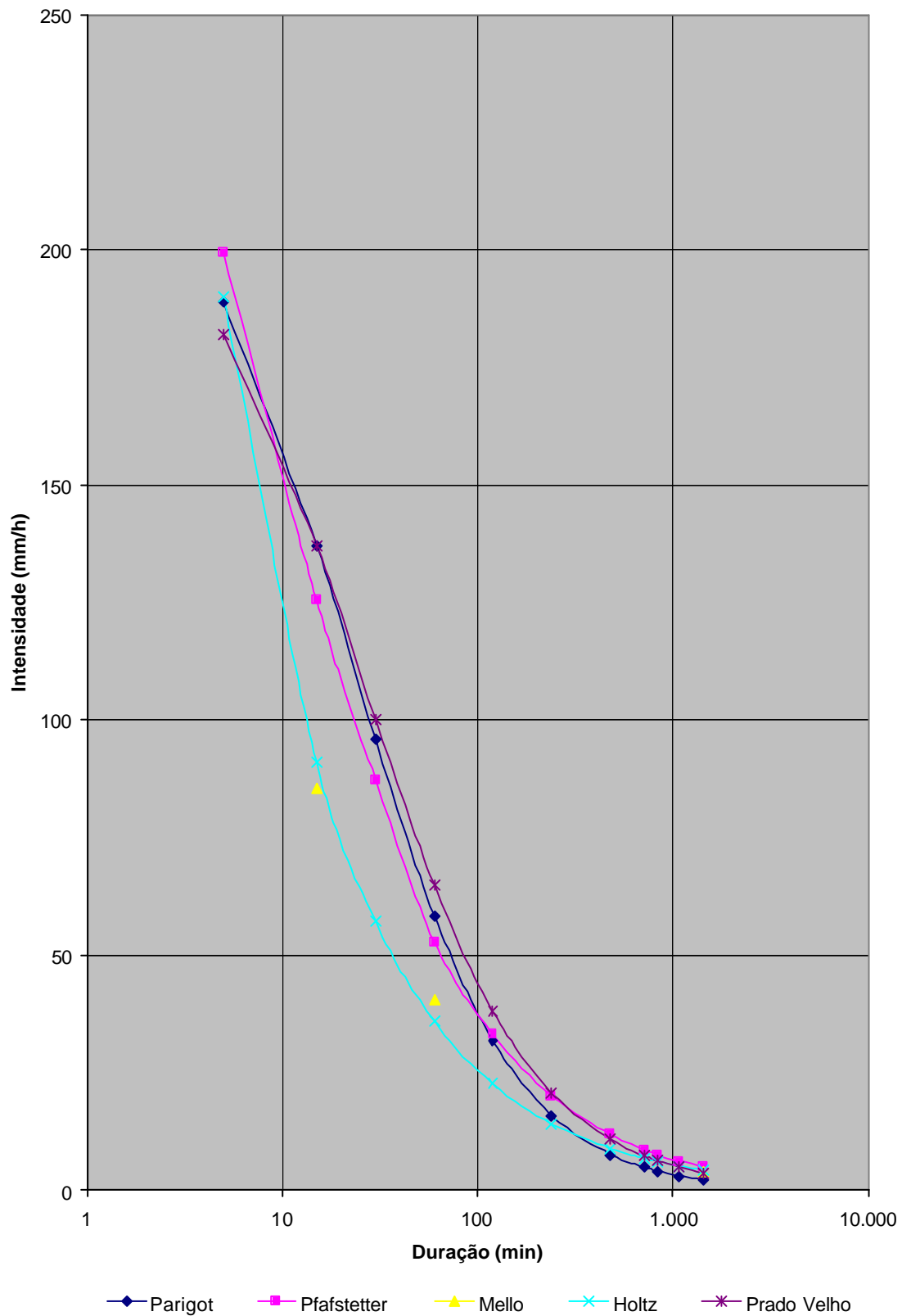
T (anos)	t (min)	Parigot	Pfafsteter			Mello			Holtz	Prado Velho
		i (mm/h)	A	b	i (mm/h)	Hot	N	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
10	5	189,00	0,108	0,15	199,31				189,84	181,85
	15	137,03	0,122	0,15	125,47	22,63	0,41	85,46	90,93	137,12
	30	95,74	0,138	0,15	87,22				57,15	100,08
	60	58,46	0,156	0,08	52,83	34,59	0,51	40,62	35,92	64,89
	120	31,81	0,166	0,08	33,09				22,58	38,02
	240	15,96	0,174	0,08	20,08				14,19	20,74
	480	7,62	0,176	0,08	11,80				8,92	10,83
	720	4,87	0,175	0,08	8,57				6,80	7,32
	840	4,11	0,174	0,08	7,57				6,13	6,30
	1080	3,10	0,172	0,08	6,18				5,18	4,92
	1440	2,24	0,170	0,08	4,91	77,53	0,52	3,87	4,27	3,70
25	5	230,57	0,108	0,15	224,87				220,22	230,35
	15	167,17	0,122	0,15	143,39	22,63	0,41	119,46	105,48	173,68
	30	116,80	0,138	0,15	101,14				66,30	126,76
	60	71,32	0,156	0,08	61,65	34,59	0,51	56,78	41,67	82,19
	120	38,80	0,166	0,08	38,98				26,19	48,16
	240	19,47	0,174	0,08	23,83				16,46	26,27
	480	9,29	0,176	0,08	14,03				10,35	13,72
	720	5,95	0,175	0,08	10,17				7,88	9,27
	840	5,01	0,174	0,08	8,98				7,11	7,98
	1080	3,78	0,172	0,08	7,32				6,01	6,23
	1440	2,73	0,170	0,08	5,81	77,53	0,52	5,41	4,96	4,69

Fonte : CH2M HILL

**Figura 3.1**

Curvas IDF - TR 10 anos

O gráfico ilustra o comportamento das diversas curvas IDF estabelecidas para a Região Metropolitana de Curitiba, mostrando que não há diferenças significativas entre elas.

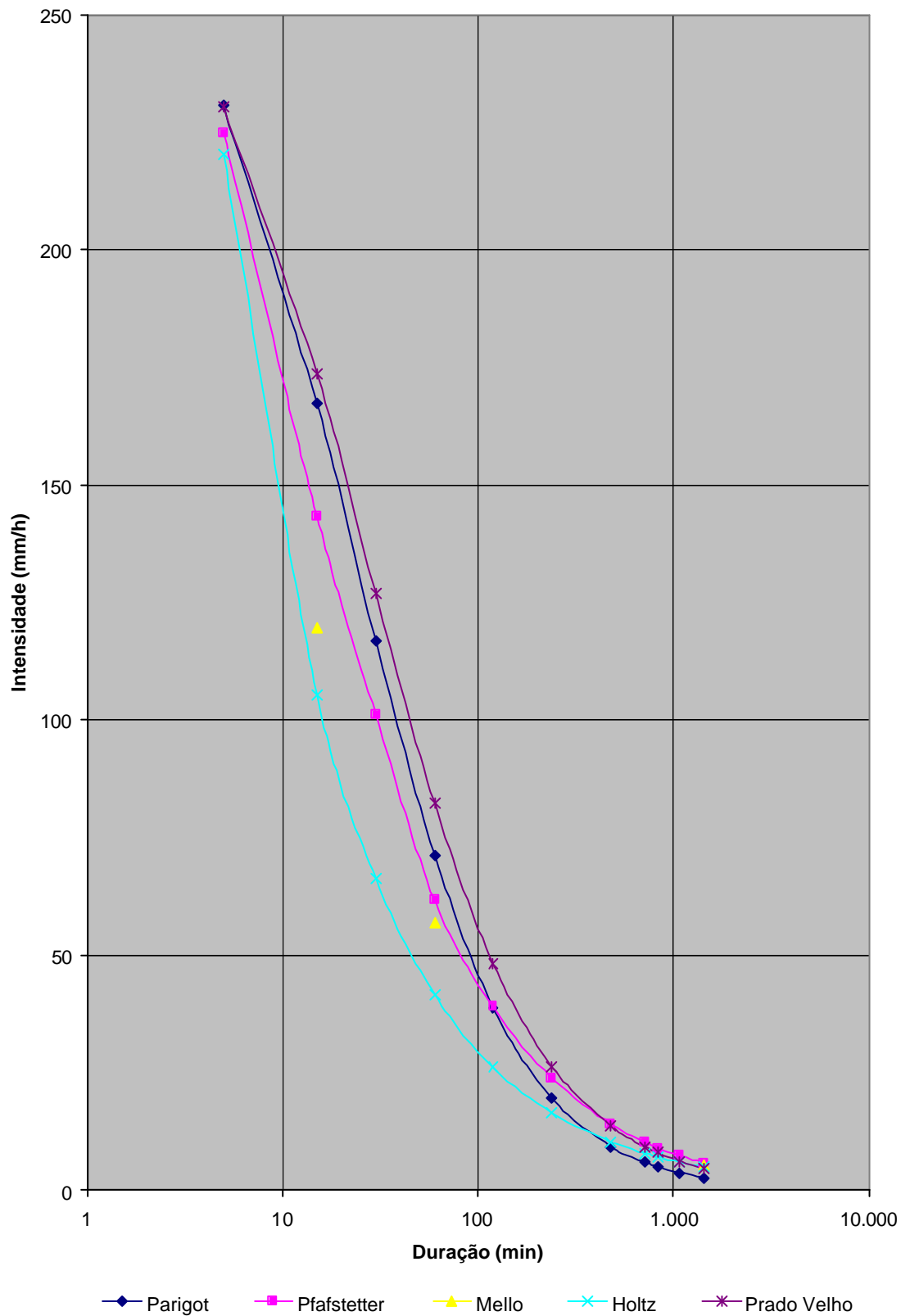




**Figura 3.2**

Curvas IDF - TR 25 anos

O gráfico ilustra o comportamento das diversas curvas IDF estabelecidas para a Região Metropolitana de Curitiba, mostrando que não há diferenças significativas entre elas.



### 3.1.3 Distribuição Espacial e Coeficientes de Abatimento

A precipitação natural possui grande variabilidade espacial, mesmo numa pequena área de alguns quilômetros quadrados, como é o caso da bacia do Alto Iguaçu.

A variabilidade espacial da precipitação natural dificilmente segue um padrão físico identificável. Além disso, essa variada configuração espacial muda rapidamente com os intervalos de tempo sucessivos do evento chuvoso. Em suma, há normalmente, durante a ocorrência de uma chuva, uma grande quantidade de núcleos de precipitação que nascem, crescem, deslocam-se e desaparecem sobre a área de passagem da chuva, que impede a emergência de uma estrutura espacial estável.

Isto é contornado com a abordagem estatística devido esta conseguir extrair uma estrutura de correlação espacial dos eventos chuvosos no entorno do ponto de máxima precipitação, com base em hipóteses estatísticas.

Silveira (1996) sugere uma expressão para o coeficiente de abatimento (redução) radial da precipitação em função da área ao redor do ponto de maior intensidade. A expressão obtida é dada por:

$$K_A = 1 - 0,25 \frac{\sqrt{A}}{\beta} \quad (3.7)$$

onde  $K_A$  é o coeficiente de abatimento (entre 0 e 1),  $A$  é a área em  $\text{km}^2$  e  $\beta$  (km) é a distância teórica onde a correlação espacial se anula (variável com a duração do evento). Para Curitiba existe uma escassez de estudos sobre a distribuição espacial de precipitação natural. Como alternativa, utilizou-se estudos existentes para outras cidades brasileiras. Para Porto Alegre, Silveira (1996) sugere o uso da seguinte expressão empírica para  $\beta$ :

$$\beta = 0,054 \cdot t + 12,9 \quad (3.8)$$

onde  $t$  é a duração da chuva em minutos.

O uso do coeficiente de abatimento  $K_A$  possibilita corrigir, pela área da bacia, a altura ou intensidade média de precipitação dada por uma IDF válida para esta bacia. Alternativamente, possibilita desenhar isoietas concêntricas no entorno da precipitação máxima dada pela IDF, arbitrariamente posicionada no centro geométrico da bacia.

Com estes critérios, recomenda-se aplicar o abatimento em estudos de macrodrenagem para bacias com área superior a  $10 \text{ km}^2$ .

### 3.1.4 Distribuição Temporal

A exemplo do que acontece espacialmente, a precipitação natural possui grande variabilidade temporal durante um evento chuvoso e de evento para evento. Por este motivo, a variabilidade temporal da precipitação natural dificilmente segue um padrão formal identificável, ou seja, os hietogramas que se sucedem no tempo são diferentes uns dos outros.

A consideração da variabilidade temporal nas chuvas de projeto depende do método hidrológico utilizado. O Método Racional, por exemplo, considera a chuva de projeto com intensidade

constante em toda a sua duração, retirada diretamente da curva IDF. Já métodos baseados em hidrogramas unitários, exigem que a chuva de projeto incorpore uma variabilidade temporal.

Para estes casos, os métodos mais consagrados são aqueles que atribuem uma distribuição arbitrária temporal para chuvas de projeto.

Dois exemplos tradicionais destes métodos são o método de Chicago e o método dos blocos alternados. Ambos constroem o hietograma de projeto a partir da curva IDF.

O objetivo é obter, para determinado período de retorno, alturas de chuva a intervalos de tempo discretos e iguais, cuja soma (dos intervalos) é a duração crítica, ou simplesmente a duração total do hietograma de projeto.

Recomenda-se uma precisão de minuto para os intervalos. Toleram-se pequenos arredondamentos tanto para a duração total do hietograma quanto para os intervalos de tempo, de modo que a soma destes resulte, com precisão de minuto, exatamente no valor da referida duração total.

Sugere-se considerar intervalos entre 5 e 10 minutos em hietogramas com duração total de até 2 horas. Para durações maiores que 2 horas, sugere-se intervalos entre 10 e 20 minutos.

### MÉTODO DE CHICAGO

Este método foi proposto por Keifer e Chu (1957), e é derivado da equação potencial da curva IDF e que atribui a cada intensidade do hietograma um mesmo período de retorno. Caracteriza-se por considerar como parâmetro a posição relativa do pico de intensidade na duração de evento. Chamando-se de  $\gamma$  este parâmetro, ele varia entre 0 e 1. No caso do pico de intensidade acontecer exatamente no meio da duração, corresponderia a  $\gamma = 0,5$ .

As equações do Método de Chicago são duas, uma para antes e outra para depois do pico:

- Antes do Pico ( $t \leq t_p$ )

$$i = \frac{a T^b \times \left[ (1-d) \frac{\gamma \times td - t}{\gamma} + c \right]}{\left( \frac{\gamma \times td - t}{\gamma} + c \right)^{1+d}} \quad (3.9)$$

- Depois do Pico ( $t > t_p$ )

$$i = \frac{a T^b \times \left[ (1-d) \frac{t - \gamma \times td}{(1-\gamma)} + c \right]}{\left[ \left( \frac{t - \gamma \times td}{1-\gamma} \right) + c \right]^{1+d}} \quad (3.10)$$

$$t_p = \gamma td \quad (3.11)$$

onde  $i$  é a intensidade da chuva do hietograma de Chicago (variável diversa da intensidade  $i$  da IDF), em mm/h ;  $T$  é o período de retorno, em anos;  $t$  é a variável tempo, em min ;  $t_p$  é o tempo de ocorrência do pico de intensidade, em min ;  $\gamma$  é o parâmetro de posição do pico (se o evento inicia em  $t = 0$ , e se  $D$  for a duração total do evento, então  $t_p = \gamma D$ ) ;  $t_d$  é a duração da chuva, em min; e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são os parâmetros da IDF.

### Método dos Blocos Alternados

O método dos Blocos Alternados possui aplicação mais simples que o método de Chicago, mas em relação a este tem a desvantagem de posicionar o pico sempre de forma centralizada.

O primeiro passo deste método é o de calcular, através das intensidades dadas pela IDF, o hietograma completamente adiantado, isto é, aquele onde o pico está no primeiro intervalo de tempo. Cada duração cumulativa, a partir desse pico, tem também sua altura de chuva calculada através das intensidades da IDF, até o limite da duração crítica do evento (que é normalmente o tempo de concentração da área contribuinte). Assim, também é um método derivado das relações IDF e que atribui a cada intensidade do hietograma um mesmo período de retorno. O segundo passo, que dá o nome ao método, reordena o hietograma completamente adiantado de forma a posicionar o pico de forma centralizada. Cada “bloco” de chuva do hietograma adiantado é sucessiva e alternadamente colocado no entorno do “bloco” do pico, à direita e à esquerda.

Devido à simplicidade de aplicação, optou-se pela utilização do método dos blocos alternados com posicionamento do pico de chuva no centro da duração.

## 3.2 MODELO DE TRANSFORMAÇÃO CHUVA – VAZÃO

A análise criteriosa do escoamento superficial de uma bacia hidrográfica, que inclui a estimativa da vazão de pico, do volume e a forma do hidrograma para um dado período de retorno, constitui em um dos mais importantes fatores de sucesso de um estudo de drenagem urbana. É fato que os valores obtidos nestes cálculos serão sempre aproximados, devido às incertezas hidrológicas, às simplificações dos métodos disponíveis e aos critérios adotados. Portanto, quanto mais metódicos e sistemáticos forem os procedimentos utilizados, menor será a probabilidade de erros comprometedores.

Em hidrologia urbana, duas abordagens são de uso consagrado: o método racional, aplicável a bacias com área de drenagem inferior a 2 km<sup>2</sup>, e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, cuja utilização é recomendada para bacias de maior porte. Em ambas as metodologias, a vazão e/ou hidrograma de projeto são determinados a partir de uma chuva de projeto, da qual são descontadas as diversas perdas que ocorrem na bacia. O período de retorno das vazões é, por hipótese, considerado igual ao período de retorno da chuva de projeto.

A parcela da chuva total que escoar inicialmente pela superfície do solo é denominada de escoamento superficial direto ou chuva excedente. A chuva excedente é a maior responsável pelas vazões de cheias, principalmente em bacias urbanas, onde a impermeabilização do solo, que normalmente acompanha o processo de urbanização, altera a parcela da chuva que escoar superficialmente.

O cálculo da chuva excedente pode ser realizado diretamente por meio de relações funcionais que levam em conta o total precipitado, o tipo de solo, sua ocupação, umidade antecedente etc. Os métodos que realizam este cálculo baseiam-se em relações empíricas e fornecem resultados satisfatórios quando empregados com discernimento. Exemplos são os métodos do Soil Conservation Service e o método racional.

Diante do exposto anteriormente, para as operações de transformação de chuva em vazão, foi selecionado o método do “Soil Conservation Service” (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Este método compreende a preparação de uma chuva de projeto, associada a uma dada probabilidade de ocorrência e a aplicação de um modelo de simulação chuva-vazão com os parâmetros correspondentes às condições de um determinado cenário de ocupação da bacia.

No método do SCS, o denominado hietograma de projeto caracteriza-se por uma altura pluviométrica total, associada a uma dada duração e a um dado intervalo de recorrência, e ainda por um padrão de distribuição temporal e por um padrão de distribuição espacial da chuva. Para a distribuição temporal da chuva, adotou-se o critério de distribuição conhecida como de blocos alternados. Esta distribuição, bastante severa, assegura que as vazões resultantes dos cálculos não serão subestimadas.

A fórmula geral proposta pelo SCS é:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (3.12)$$

onde:

$P_e$  = excesso de chuva, mm;

$P$  = precipitação, mm; e

$S$  = retenção potencial do solo, mm.

O valor de  $S$  depende do tipo e da ocupação do solo. A quantidade de  $0,2S$  é uma estimativa de perdas iniciais, devidas à interceptação e retenção em depressões. Por esta razão impõe-se a condição  $P > 0,2S$ .

Para facilitar a solução da equação acima, faz-se a seguinte mudança de variável:

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3.13)$$

onde:

$CN$  = número de curva ou deflúvio, que define o complexo hidrológico solo-vegetação-ocupação.

O  $CN$  é um parâmetro adimensional que regula a separação do escoamento, ou seja, o volume da precipitação que infiltra no terreno. A partir do conhecimento do volume infiltrado obtém-se a precipitação efetiva disponível para escoamento superficial. Assim, o parâmetro  $CN$  é função das

características do solo relacionadas com os processos de infiltração, tais como, a sua permeabilidade e as condições de saturação.

O *CN* também é um parâmetro altamente influenciável pelas condições de ocupação da bacia. As impermeabilizações do solo provocadas pelo processo de urbanização diminuem as taxas de infiltração, aumentando conseqüentemente o volume de escoamento superficial. Apreciações detalhadas dos métodos e critérios adotados para a estimativa do tempo de concentração e do *CN* são apresentadas na seqüência deste relatório.

Com o total precipitado em cada intervalo de cálculo e o valor definido para os *CN*, calcula-se os módulos da chuva excedente, que se transformam em escoamento direto.

As vazões de projeto foram calculadas utilizando-se o hidrograma unitário adimensional do S.C.S. O hidrograma adimensional do S.C.S. é um hidrograma unitário sintético, onde a vazão ( $q$ ) é expressa como fração da vazão de pico ( $q_p$ ), e o tempo ( $t$ ) como fração do tempo de ascensão do hidrograma unitário ( $t_a$ ). Dadas a vazão de pico e o tempo de resposta  $t_p$  para a duração da chuva excedente, o hidrograma unitário pode ser estimado a partir do hidrograma adimensional sintético para uma dada bacia.

Dessa forma, o tempo de concentração regula a forma do hidrograma e conseqüentemente a vazão de pico resultante. Dado que o tempo de concentração é função das condições de escoamento ao longo da bacia, e estas podem variar com o grau de urbanização e demais alterações antrópicas, procurou-se estimar esse parâmetro de forma compatível com os cenários estabelecidos no plano. Desta forma, no presente plano, o aspecto que mereceu atenção especial foi a ocupação futura prevista para a bacia, principalmente nas intervenções humanas que possam influenciar tanto na taxa de impermeabilização como no tempo de concentração da mesma.

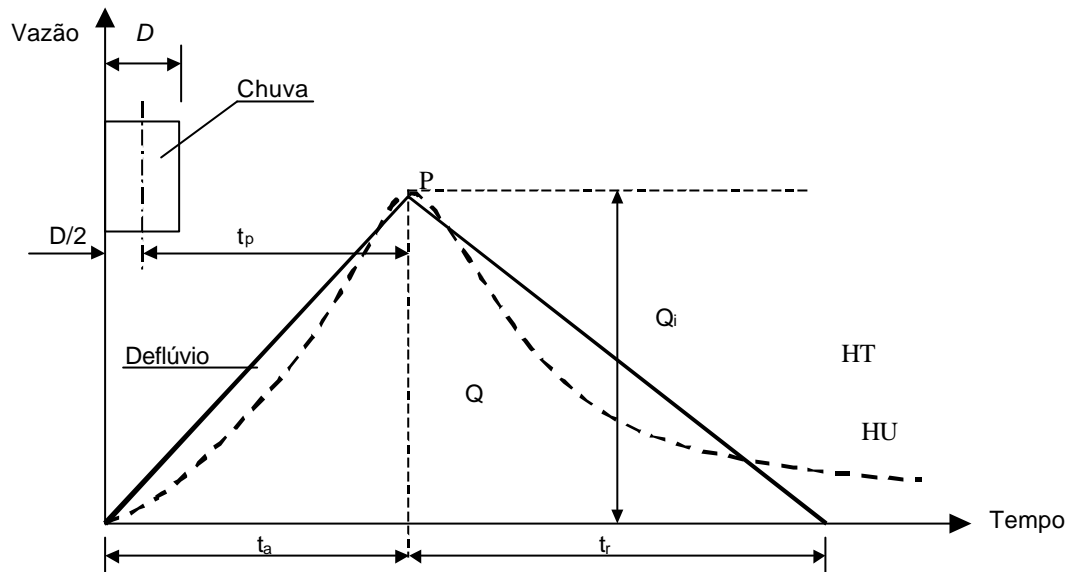
Os valores de  $q_p$  e  $t_a$  podem ser estimados utilizando-se um modelo simplificado de um hidrograma unitário triangular, onde o tempo é dado em horas e as vazões em  $m^3/s.cm$ .

A seguir, a Figura 3.3, apresenta um esquema do hidrograma unitário, com os parâmetros propostos pelo SCS.

**Figura 3.3**

Hidrograma unitário esquemático

A figura mostra os diversos componentes do hidrograma triangular unitário.



Nesta figura:

P = precipitação que produziu o hidrograma unitário, em cm;

D = duração da precipitação, em horas;

Q = volume de escoamento direto produzido pela chuva, em cm;

 $t_a$  = tempo de ascensão, em horas; $t_r$  = tempo de recessão, em horas; $t_b = t_a + t_r$  = tempo de base, em horas; $t_p$  = tempo de resposta, em horas; $q_i$  = intensidade de pico em cm/h;

Como a área sob o hidrograma unitário deve ser igual ao volume de escoamento superficial direto de 1 cm, pode ser visto que:

$$Q = \frac{q_i \times t_a + q_i \times t_r}{2} \quad (3.14)$$

$$q_i = \frac{2Q}{t_a + t_r} \quad (3.15)$$

Fazendo  $t_r = H \times t_a$ , temos:

$$q_i = \frac{2}{1+H} \times \frac{H}{t_a} \quad (3.16)$$

Convertendo os cm/h em m<sup>3</sup>/s (1 cm/h = 2,78 m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup>), e introduzindo a área de drenagem em km<sup>2</sup>, tem-se:

$$q_p = \frac{2 \times 2,78}{1+H} \times \frac{A \times Q}{t_a} \quad (3.17)$$

$$q_p = \frac{K \times A \times Q}{t_a} \quad (3.18)$$

$$\text{Na qual: } K = \frac{5,56}{1+H} \quad (3.19)$$

O valor de  $H$  é uma constante a ser determinada para o tipo da bacia em estudo. O Soil Conservation Service fez extensas pesquisas concluindo pelo valor médio geral  $H = 1,67$ . Portanto, tem-se  $K = 2,08$ .

Um estudo posterior de hidrogramas unitários de muitas bacias rurais grandes e pequenas indicou que o tempo de retardo é aproximadamente igual a 60% do tempo de concentração da bacia. Assim, tem-se:

$$t_a = \frac{D}{2} + L = \frac{D}{2} + 0,6 \times t_c \quad (3.20)$$

Tem-se, assim, finalmente, o valor da vazão de pico:

$$q_p = \frac{2,08 \times A \times Q}{\left(\frac{D}{2} + 0,6 \times t_c\right)} \quad (3.21)$$

Construído o hidrograma unitário com os tempos de ascensão ( $t_a$ ) e de recessão ( $1,67 \times t_a$ ) nas abscissas e o vértice ( $q_p$ ) na ordenada, alinhado com o tempo de ascensão, as demais ordenadas do hidrograma são medidas e armazenadas, num arquivo do tipo  $t/t_p \times q/q_p$ .

A forma do hidrograma é, portanto, determinada pelo trânsito da chuva excedente sobre a bacia e sua análise pode ser feita por métodos hidráulicos ou hidrológicos. Os métodos hidráulicos baseiam-se nas equações do escoamento não permanente (conservação de massa e quantidade de movimento), enquanto os chamados métodos hidrológicos baseiam-se nos conceitos de translação e armazenamento. A opção pelo método a ser utilizado no plano – hidráulico ou hidrológico – foi realizada a partir das características físicas de cada bacia e disponibilidade de dados das mesmas.

Os conceitos de translação e armazenamento são essenciais para o estudo em canais, reservatórios e bacias hidrográficas. No caso das bacias, estes processos podem ser estudados separadamente, o que simplifica os métodos de cálculo.



Para geração dos hidrogramas de cheia, em cada local de interesse, foram utilizados dois softwares: para as simulações hidrodinâmicas, foi utilizado o IPHS-1, que é um software desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e, para as simulações hidrológicas, o CABC, desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH. Estes sistemas permitem calcular hidrogramas de cheia para bacias complexas utilizando métodos e algoritmos consagrados na literatura.

O Tomo 3.3 – “Simulações Hidrodinâmicas – Metodologia”, apresenta a descrição dos modelos utilizados no plano. O Volume 4 apresenta a modelagem das linhas de inundação para cada bacia do Alto Iguaçu. Utilizou-se o modelo hidrodinâmico para as seguintes bacias: Alto Boqueirão, Atuba, Avariú, Barigui, Belém, Cambuí, Mascate, Moinho, Padilha, Palmital, Pequeno, Ponta Grossa, Prensa e Ressaca. O modelo hidráulico-hidrológico foi utilizado para as seguintes bacias: Cachoeira, Cerne, Cotia, Engenho, Espigão, Iraí, Itaqui 1, Itaqui 2, Maurício, Miringuava, Passaúna, Piraquara e Verde.

### 3.3 SEGMENTAÇÃO DAS BACIAS E SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

A bacia do Alto Iguaçu foi dividida em bacias hidrográficas, que correspondem aos afluentes diretos do rio Iguaçu. Estas bacias foram divididas em sub-bacias que correspondem aos afluentes desses rios que apresentam especial interesse para o plano. O diagrama unifilar, que ilustra esse sistema hídrico, é apresentado na ilustração em anexo. Dessa forma, as unidades básicas de simulação são as sub-bacias, e para elas foram definidos todos os parâmetros necessários para a modelagem dos processos considerados.

O hidrograma unitário sintético proposto pelo SCS é definido com base no tempo de concentração da bacia, este sendo um dos parâmetros do modelo. Dessa forma, o tempo de concentração regula a forma do hidrograma e conseqüentemente a vazão de pico resultante. Dado que o tempo de concentração é função das condições de escoamento ao longo da bacia, e estas podem variar com o grau de urbanização e demais alterações antrópicas, estimou-se esse parâmetro de forma compatível com os cenários estabelecidos no plano.

Cabe salientar que a metodologia empregada para o cálculo de vazão envolve uma série de incertezas e imprecisões, como é natural em qualquer método de cálculo em engenharia, e o método do SCS é aceito para estudos de macrodrenagem, não sendo recomendada a sua aplicação para sistemas de microdrenagem.

A relação densidade demográfica x área impermeável, utilizada para cálculo dos parâmetros hidrológicos, conforme descrito adiante, pode ficar distorcida se a bacia for de área menor que 2 km<sup>2</sup>. O processo de mapeamento dos grupos hidrológicos de solo, feito a partir de cartas geológicas, tem uma precisão estimada em cerca de 2 km<sup>2</sup>.

Por segurança, para evitar maiores distorções nos processos de cálculo, evitou-se a segmentação das bacias em áreas menores que 4 km<sup>2</sup>. Em casos excepcionais poder-se-ia considerar áreas de até 2 Km<sup>2</sup>, mas nunca menores que esta. Pela metodologia utilizada, áreas de contribuição com menos de 4 Km<sup>2</sup> já caracterizam sistemas de microdrenagem.

Em vista de tudo isso se pode afirmar que a modelagem de trechos com áreas de contribuição menores que 4 Km<sup>2</sup> podem apresentar resultados distorcidos e, por conseqüência, as análises

decorrentes também podem estar distorcidas.

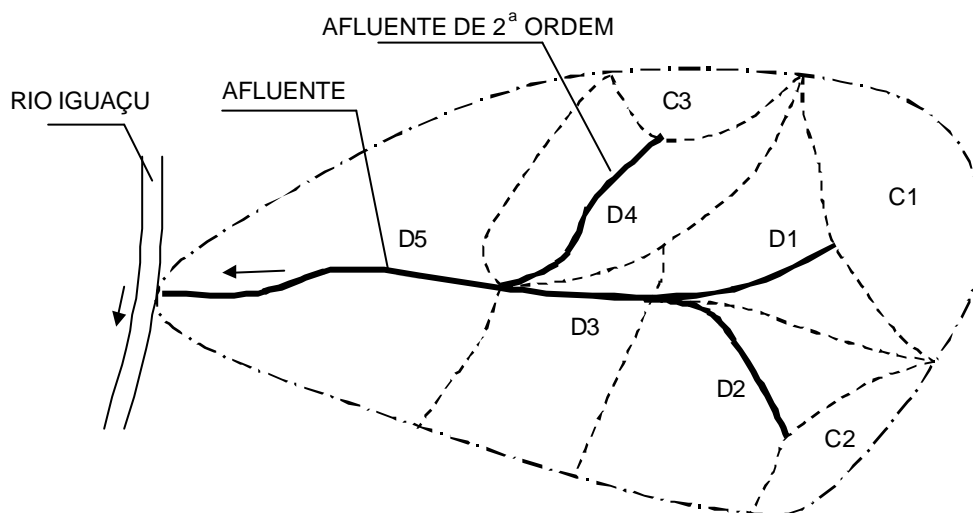
Por solicitação da SUDERHSA, algumas bacias foram segmentadas com áreas menores que 4 Km<sup>2</sup>, e até mesmo menores que 2 Km<sup>2</sup>. Esse procedimento foi justificado pela SUDERHSA nos seguintes termos: “Tratam-se de áreas que devem ser incluídas na modelagem por serem urbanizadas e possuírem certa importância. Como o modelo, por sua natureza, já agrega muitas aproximações, eventuais imprecisões decorrentes do tamanho reduzido dessas áreas seriam diluídas entre as demais imprecisões”.

No Anexo 3, encontra-se uma descrição passo a passo das atividades necessárias à modelagem hidrológica.

### Figura 3.4

Exemplo de divisão de sub-bacias.

Neste exemplo a bacia do afluente do Iguaçu foi subdividida em 7 sub-bacias. As sub-bacias C1, C2 e C3 correspondem às cabeceiras, que contribuem com vazões concentradas. As sub-bacias D1 à D5 correspondem à bacias que contribuem com vazões distribuídas ao longo do sistema de macrodrenagem.



## 3.4 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração é denominado o tempo de percurso da água desde o ponto mais distante da bacia hidrográfica até a seção de interesse. Após o tempo de concentração, toda a área da bacia estará contribuindo para o escoamento, desde que a duração da chuva excedente seja no mínimo igual ao tempo de concentração.

Existe uma grande quantidade de fórmulas que fornecem o valor do tempo de concentração em função das características físicas das bacias, tais como área, declividade, comprimento do talvegue etc. Essas fórmulas são originárias de estudos de campo ou laboratório, e apresentam bons resultados quando aplicadas para condições semelhantes àquelas as quais foram determinadas.

Para pequenas bacias, onde as condições naturais ainda não foram significativamente alteradas, a fórmula de Kirpich conduz a resultados aceitáveis. A sua expressão é dada por:

$$T_c = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385} \quad (3.22)$$

onde  $T_c$  é o tempo de concentração em minutos,  $L$  o comprimento do talvegue em Km e  $H$  a diferença de cotas entre o ponto mais alto da cabeceira e a seção de cálculo, em metros.

Contudo, para bacias urbanas ou em processo de urbanização esse tipo de fórmula não representa adequadamente os escoamentos em superfícies alteradas e/ou impermeabilizadas, os escoamentos em canais e galerias, e nas demais estruturas de macro e micro drenagem.

Nas bacias onde predominam os escoamentos em sistemas de macrodrenagem bem definidos é recomendável calcular o tempo de concentração através do método cinemático, ou seja, dividir a bacia em trechos homogêneos e calcular a velocidade do escoamento em cada um deles. O tempo de concentração é dado por:

$$T_c = L/V \quad (3.23)$$

onde  $L$  é o comprimento do trecho (m) e  $V$  é a velocidade média de escoamento (m/s), que pode ser calculada pela fórmula de Manning, quando existem dados suficientes para isso.

Porém, em bacias urbanas onde os escoamentos preponderantes se dão à superfície e/ou em canais não tão bem definidos, como em microdrenagens superficiais, torna-se problemático definir um percurso principal e uma velocidade de escoamento representativa. Nesses casos, o processo de urbanização altera significativamente o tempo de concentração, o que inviabiliza a utilização de fórmulas, tais como a de Kirpich.

Nesses casos é necessário lançar mão de fórmulas que considerem as alterações provocadas pela urbanização. Uma dessas equações foi determinada por Germano et al (1998), e é dada pela seguinte expressão:

$$T_c = 18,628 \cdot (L^{0,882}) / (IMP^{0,272}) \quad (3.24)$$

onde  $T_c$  é tempo de concentração em minutos,  $L$  é o comprimento do talvegue em Km, e  $IMP$  é a parcela da bacia com área impermeável, em  $Km^2$ .

Uma possível dificuldade com relação à equação acima é determinar a área impermeável, pois depende de informações, tais como fotos de satélite e demais elementos de caracterização geoespacial, que na maioria dos casos, não são de obtenção trivial. Contudo, estudos de cheias em áreas urbanas tem procurado definir uma correlação entre densidade populacional e área impermeável. Tucci (1998) apresenta uma curva média que procura representar essa relação. Neste trabalho essa curva foi equacionada de forma simplificada, levando à seguinte expressão:

$$AI = 0,57 \cdot D - 8, \text{ para } 14 < D < 128 \text{ hab./ha} \quad (3.25)$$

$$AI = 65, \text{ para } D \geq 128 \text{ hab./ha} \quad (3.26)$$

onde  $AI$  é a parcela de área impermeável da bacia em %, e  $D$  é a densidade populacional da bacia em hab./ha.

Dessa forma, para a realização das simulações previstas no presente plano, foram adotados os seguintes critérios para cálculo dos tempos de concentração:

- Cabeceiras, desde que pouco urbanizadas, e bacias rurais: fórmula de Kirpich;
- Bacias com predominância de escoamentos em canais bem definidos: método cinemático; e
- Bacias urbanas sem predominância de escoamentos em canais: fórmula de Germano.

### 3.5 PERÍODO DE RETORNO

As magnitudes das chuvas e vazões podem ser associadas a períodos médios de ocorrência, conforme a sua frequência, em longas séries de observação.

Ao período médio de ocorrência de determinada magnitude de evento hidrológico, dá-se o nome de período de retorno, ou tempo de recorrência (TR), sendo este o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer.

Ao se decidir, portanto, que uma obra será projetada para uma vazão com período de retorno de TR anos, automaticamente decide-se o grau de proteção conferido à população. Trata-se, então, de escolher qual o “risco aceitável” pela comunidade.

Níveis altos de segurança implicam, portanto, em custos elevados e grandes interferências no meio urbano sendo que a minimização de custos e interferências é um objetivo importante em projetos de drenagem urbana.

A probabilidade de ocorrência de uma chuva (J) ou vazão de determinada magnitude, e, portanto, de determinado tempo de recorrência (TR), pode ser expressa, dentro de certo intervalo de tempo  $\Delta t$  considerado,

$$J = 1 - (1 - 1/TR)^{\Delta t} \quad (2.27)$$

Em 10 anos, por exemplo, uma chuva de tempo recorrência TR igual a 25 anos tem probabilidade de ocorrência de 0,335, ou seja, de 34%. O dimensionamento das obras de drenagem deve ser realizado, portanto, conforme os riscos aceitáveis, o que se faz pela adequada escolha de tempos de recorrência.

Tendo em vista a importância das soluções preconizadas no plano, as áreas de risco de inundação foram definidas com base em dois eventos chuvosos extremos, associados respectivamente aos períodos de retorno de 10 e 25 anos.

## 4 DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS DOS SOLOS

---

Neste item são apresentados os estudos desenvolvidos para a classificação hidrológica dos solos da Bacia do Alto Iguaçu (determinação dos grupos hidrológicos), para fins de escoamento superficial, e dessa forma, fornecer subsídios para cálculo do parâmetro CN do método do SCS.

A metodologia utilizada no trabalho é baseada na apresentada por SETZER e PORTO (1979), que considera cinco grupos hidrológicos de solos, de acordo com sua capacidade de promover escoamento superficial. Esta metodologia, por sua vez, baseou-se no guia hidrológico para planejamento de bacias hidrográficas, publicado pelo U.S. Soil Conservation Service (Hydrology guide for use in watershed planning, National Engineering Handbook, 1975).

A classificação dos solos em grupos hidrológicos reflete basicamente as suas características de infiltração, escoamento superficial e susceptibilidade à erosão, e está relacionada à porcentagem do volume d'água escoada de uma bacia em relação ao total de chuva intensa por ela recebida.

Uma determinada bacia pode apresentar diferentes tipos de solos, com proporções variadas dos cinco grupos hidrológicos. A proporção (porcentagem) de cada grupo hidrológico em relação ao tipo de solo analisado é função principalmente de características como morfologia (relevo e paisagem) e geologia (unidades litológicas e tipos de formações superficiais), além de uso e ocupação e tipo de cobertura vegetal.

Para se identificar e caracterizar para fins hidrológicos os tipos de solos presentes nesta bacia, a sua distribuição espacial e avaliar a porcentagem de cada um dos cinco grupos hidrológicos, na medida de sua disponibilidade, os seguintes atributos básicos são utilizados:

- Morfologia: características do relevo e declividade dos terrenos;
- Geologia: tipos litológicos; e
- Pedologia: tipos de solos ou formações superficiais.

São utilizadas ainda as caracterizações referentes ao uso e ocupação do solo e ao recobrimento vegetal da bacia.

Os tipos de solos e suas respectivas proporções dos grupos hidrológicos presentes são definidos com base na análise e interpretação de dados secundários, representados pelos atributos básicos relacionados anteriormente (geologia, pedologia e morfologia), aferidos por vistorias de campo e, eventualmente, interpretação de fotos aéreas e imagens de satélite.

As informações referentes aos atributos básicos disponíveis são analisadas, interpretadas e devidamente caracterizadas.

A interpretação conjunta dos atributos básicos identificados e caracterizados permite definir os tipos de solos para fins hidrológicos, com as avaliações das percentagens dos cinco grupos hidrológicos de solos e sua distribuição espacial, representada graficamente em carta topográfica base, em escala adequada, contendo a indicação dos limites da bacia analisada.

Desta forma, apesar dos grupos hidrológicos apresentados por SETZER e PORTO (op. cit.) referirem-se a atributos básicos de terrenos do Estado de São Paulo, a metodologia utilizada é perfeitamente aplicável aos terrenos da Bacia do Alto Iguaçu, com uma vantagem adicional, dos seus atributos básicos serem correlacionáveis aos de terrenos do Estado de São Paulo.

A aplicação da metodologia e a correlação das informações e dados da Bacia do Alto Iguaçu com as do trabalho de SETZER e PORTO (op. cit.) envolveram procedimentos metodológicos, que se encontram descritos no item 4.2 - Base de Dados Utilizada.

## 4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados para definição e caracterização dos atributos básicos que irão compor os grupos hidrológicos de solos dos terrenos da Bacia do Alto Iguaçu, foi realizado basicamente em órgãos e instituições situados em Curitiba e em São Paulo, além de consultas à páginas da Internet.

Os dados pesquisados compreenderam principalmente mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos (formações superficiais); cartas geotécnicas; e publicações e artigos técnicos.

### 4.1.1 Órgãos e Instituições em Curitiba

O levantamento realizado em Curitiba compreendeu inicialmente visitas e/ou consultas aos acervos dos seguintes órgãos e instituições: Instituto Ambiental do Paraná - IAP, COMEC - Coordenadoria da Região Metropolitana, MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A., Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA, EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural e SANEPAR.

- **Instituto Ambiental do Paraná - IAP:** foram feitas pesquisas em sua biblioteca e arquivos visando obter informações dos estudos ambientais realizados na região de interesse aos estudos do Plano Diretor de Drenagem, e submetidos para análise e obtenção de licenças ambientais. Normalmente, os diagnósticos ambientais que fazem parte destes estudos contêm informações sistematizadas do meio físico relacionadas à geologia, geomorfologia, formações superficiais e processos de dinâmica superficial.
- **COMEC - Coordenadoria da Região Metropolitana:** nesta instituição foram apresentadas as cartas hipsométricas da Bacia do Alto Iguaçu, elaboradas manualmente sobre cópias heliográficas de cartas topográficas, na escala 1:10.000. Foram apresentadas também cartas temáticas (clinométricas/ declividade, uso e ocupação do solo, unidades litológicas, formações superficiais e cartas geotécnicas) da mesma região, na escala 1:20.000, que fazem parte de um estudo desenvolvido em conjunto com a MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A..
- **MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A.:** em visita a esta foi feita uma apresentação pelo geólogo Oscar Salazar Júnior, dos estudos desenvolvidos em conjunto com a COMEC - Coordenadoria da Região Metropolitana, para elaboração das cartas geotécnicas da Região do Alto Iguaçu, na escala 1:20.000, esclarecendo-se aspectos pontuais relacionados à metodologia de trabalho utilizada, características dos materiais presentes na Bacia do Alto Iguaçu, e em particular da Formação Guabirotuba. Nesta visita, o geólogo Rogério da Silva

Felipe, da equipe técnica da MINEROPAR, fez uma apresentação do comportamento geológico - geotécnico dos tipos litológicos que compõem a Formação Guabirota, que consta do artigo técnico por ele publicado no "Simpósio sobre as características geológicas e geotécnicas da Formação Guabirota", organizado pela ABMS - Núcleo Paraná/ ABAS/ ABGE, em setembro de 1999 Felipe et all (1999).

- **Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA:** nesta instituição foi realizada uma reunião com o geólogo Álvaro Amoretti Lisboa, que fez uma exposição abrangente sobre o aquífero Karst, comentando aspectos litológicos, estruturais e de dinâmica superficial, além do balanço hídrico da região compreendida por esta unidade hidrogeológica.
- **Outras consultas:** foram realizadas ainda pesquisas bibliográficas junto ao acervo técnico disponível da EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural e da SANEPAR, que dispõe de informações sobre a exploração de águas subterrâneas, principalmente no aquífero Karst, situado na região Norte da bacia.

#### 4.1.2 Órgãos e Instituições em São Paulo

O levantamento realizado em São Paulo compreendeu pesquisas bibliográficas no acervo técnico e científico do Instituto de Geociências e do Instituto de Geografia, da Universidade de São Paulo, e em publicações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, particularmente os Anais dos Congressos Brasileiros de Geologia de Engenharia, Simpósios de Controle de Erosão e Simpósios de Cartografia Geotécnica.

Foi realizado um levantamento bibliográfico no CPRM - Serviço Geológico do Brasil/ Superintendência Regional de São Paulo - SUREG-SP onde foram obtidas, além dos Mapas Geológicos da Região Metropolitana de Curitiba, na escala 1:50.000, as Cartas Geoambientais, que integram o Projeto Curitiba, do Programa Informações para Gestão Territorial - GATE (Atlas Geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Subsídios ao Planejamento Territorial), desenvolvidas na escala 1:150.000.

Os resultados do levantamento bibliográfico realizado encontram-se listados nas Referências Bibliográficas.

## 4.2 BASE DE DADOS UTILIZADA

Os atributos básicos utilizados para a definição dos grupos hidrológicos de solos da Bacia do Alto Iguaçu, foram: geologia, morfologia (tipos de relevo e declividades) e pedologia ou formações superficiais. Para obtenção das informações relacionadas a estes atributos básicos, foram consultadas e utilizadas principalmente as seguintes referências bibliográficas:

- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 1989. Programa de levantamentos geológicos básicos. Escala 1:50.000. Folhas de Curitiba, Piraquara, Araucária, Mandirituba, São José dos Pinhais, Campo Largo e Contenda. 1989;
- SALAZAR et all (1994). Mapeamento geológico-geotécnico na região do Alto Iguaçu. Volume I e anexos. Convênio de Cooperação Técnica entre SEOU- COMEC e SETI -

MINEROPAR: Programa de Geologia Aplicada ao Planejamento na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 1994; e

- THEODOROVICZ, THEODOROVICZ, e CANTARINO (1998). Atlas Geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Subsídios ao Planejamento Territorial. Projeto Curitiba/ Programa Informações para Gestão Territorial - GATE/ CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL / Superintendência Regional de São Paulo - SUREG-SP: Escala 1:150.000, 1998.

#### 4.2.1 Cartas Geoambientais

As Cartas Geoambientais, na escala 1:150.000, que integram o "Atlas Geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Subsídios ao Planejamento Territorial", desenvolvido em 1998, no âmbito do Projeto Curitiba/ Programa Informações para Gestão Territorial - GATE, do CPRM - Serviço Geológico do Brasil, são cartas com informações integradas sobre as principais características do meio físico e suas respostas frente às várias formas de uso e ocupação, suas potencialidades naturais (recursos minerais e hídricos) e vocação ecoturística, visando auxiliar no planejamento territorial e na gestão ambiental da região.

A execução destas cartas constou inicialmente de um levantamento de informações preexistentes e de desenvolvimento metodológico, com a escolha da Folha Curitiba (escala 1:100.000) para aplicação do método de análise lógica dos sistemas de drenagem e de relevo de M. GUY e J. P. RIVEREAU adaptado e direcionado à caracterização do meio físico para fins de planejamento por A. THEODOROVICZ. Posteriormente, a metodologia foi estendida para toda a área da Região Metropolitana de Curitiba.

A metodologia de trabalho foi baseada em três atividades: fotointerpretação, levantamento de campo e integração de dados.

A fotointerpretação baseou-se no método lógico de análise do sistema de relevo e drenagem (GUY; RIVEREAU; SOARES); adaptado por A. THEODOROVICZ para fins de caracterização do meio físico para subsidiar o planejamento territorial, sendo realizada uma fotoleitura das unidades geoambientais, ou zonas homólogas, diferenciadas e analisadas em função das variações de arranjos dos sistemas de relevo e drenagem.

Os levantamentos de campo compreenderam o estudo de cada unidade de terreno (unidade geoambiental) definida na etapa anterior (fotointerpretação), por uma equipe multidisciplinar, que analisou, de forma integrada e simultânea, os atributos solo, relevo, drenagem, substrato rochoso, uso e ocupação atual, concluindo sobre o potencial de risco geológico, adequabilidades, limitações, facilidades e dificuldades geotécnicas esperadas nos casos de urbanização, agricultura, implantação de malhas viárias, infra-estrutura subterrânea, disposição de rejeitos, potencial mineral metálico e não-metálico, vulnerabilidade dos aquíferos e problemas ambientais relacionados ao uso e ocupação atuais.

Na integração dos dados procedeu-se a compartimentação da região em unidades de terrenos denominadas domínios e subdomínios geoambientais, os quais geralmente coincidem com as diferentes unidades geotectônicas, responsáveis pelas grandes diferenciações litoestruturais e fisiográficas dos terrenos.

A divisão dos domínios geoambientais em subdomínios foi realizada em função de seus principais grupamentos litológicos, ou comportamento estrutural, ou feição morfológica ou outra



característica importante de ser considerada. Quando da existência de outras particularidades importantes nos subdomínios, tais como modo de ocorrência das rochas, profundidade do lençol freático, características morfológicas, litológicas, estruturais etc., eram feitas novas subdivisões.

#### **4.2.2 Utilização das Cartas Geoambientais**

Em função dos atributos básicos utilizados na elaboração das cartas geoambientais, na metodologia de integração dos dados básicos e da sua qualidade técnica, considerou-se estas cartas adequadas para as finalidades do estudo, sendo possível utilizá-las como base para a determinação dos tipos de solos para fins hidrológicos.

As Cartas Geoambientais encontram-se na escala 1:150.000, o que entretanto, gerou a necessidade, para sua utilização no desenvolvimento do presente estudo, cuja escala dos mapas base de trabalho é 1:50.000, de se realizar adaptações à metodologia originalmente empregada.

Estas adaptações envolveram aferições sistemáticas dos dados de uma região (atributos básicos utilizados), originados das cartas geoambientais, com os dados da mesma região, obtidos dos mapas geológicos do CPRM - Serviço Geológico do Brasil, na escala 1:50.000, e das cartas temáticas do Mapeamento geológico-geotécnico da região do Alto Iguaçu, realizado na escala 1:20.000, pelo Convênio de Cooperação Técnica entre COMEC - Coordenadoria da Região Metropolitana e MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A.

Houve necessidade de se compilar os dados das Cartas Geoambientais para a escala de trabalho dos estudos (1:50.000), para que se procedesse à superposição e ajustes necessários, com base nas litologias e acidentes topográficos, realizando-se aferições sistemáticas com os mapas geológicos do CPRM, na escala 1:50.000, e das cartas temáticas (clinométricas/ declividade, formações superficiais e cartas geotécnicas), na escala 1:20.000, que fazem parte do estudo desenvolvido pela COMEC - Coordenadoria da Região Metropolitana com a MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A.

Realizou-se praticamente uma retroanálise dos dados provenientes das cartas geoambientais para se obter os seus parâmetros de origem (unidades litológicas, formações superficiais e relevo) e compará-los com as informações disponíveis em escala maior. Sempre que necessário, procedia-se a ajustes nos dados interpretados, para permitir a sua utilização na determinação dos tipos de solos para fins hidrológicos.

### **4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS – BACIA DO ALTO IGUAÇU**

A Bacia do Alto Iguaçu localiza-se no Estado do Paraná, a sul da cidade de Rio Branco do Sul, estendendo-se longitudinalmente pela Região Metropolitana de Curitiba, até as proximidades da cidade de Mandirituba.

A topografia da região norte da Bacia, sustentada por um substrato rochoso composto pelos litotipos associados ao Grupo Açungui e rochas básicas intrusivas, apresenta-se mais acidentada e com maiores elevações.

A partir da região norte e do extremo sul, em direção ao centro da Bacia, ocorre uma diminuição progressiva das declividades médias. Esta diminuição desenvolve-se em terrenos onde predominam rochas do Embasamento Cristalino gnáissico-migmatítico, com ocorrências restritas de intrusivas básicas e de sedimentos da Bacia de Curitiba, localmente recobertos por sedimentos de planícies aluvionares recentes.

A região central da Bacia, formada basicamente por rochas sedimentares, tanto da Bacia de Curitiba como de várzeas aluvionares recentes, é uma área geomorfologicamente mais arrasada, com declividades baixas.

#### **4.3.1 Morfologia (unidades de relevo e declividades)**

A área da bacia do Iguaçu é limitada a leste pelas Montanhas Costeiras, a oeste pelo rio Paraná, ao norte pelas elevações que passam por Cascavel e Guarapuava, e ao sul pelas Ramificações de Santa Catarina. Sua topografia é caracterizada, de leste para oeste, por três compartimentos morfológicos: Primeiro Planalto; Segundo Planalto e Terceiro Planalto.

O Primeiro Planalto é formado por terrenos planos elevados, com altitudes que variam de 800 a 1.000m, e montanhas de elevação suave, sendo limitado pelas Montanhas Costeiras (Serra do Mar) a leste, e as Escarpas Devonianas a oeste e /ou noroeste. A rede de drenagem nessa área é composta pelos rios Iguaçu, Negro e seus tributários, com fluxo de leste para oeste, em direção ao rio Paraná.

O Segundo Planalto é composto por terrenos planos e montanhas com inclinações suaves, variando de 600 a 1.000 metros de altitude. É limitado por duas montanhas costeiras, a leste e oeste. Nesse Planalto a rede fluvial é formada principalmente pelos rios Iguaçu e Negro.

O Terceiro Planalto é constituído por terrenos planos e montanhas variando de 300 a 800 metros de altitude. É limitado pelas montanhas costeiras ao sul e pelo rio Paraná a oeste. As montanhas nesse Planalto são geralmente mais escarpadas do que a dos outros planaltos.

A região de interesse aos estudos do Plano Diretor de Drenagem da Bacia do Alto Iguaçu localiza-se totalmente no denominado Primeiro Planalto, onde são encontrados os seguintes compartimentos geomorfológicos: Planalto do Alto Iguaçu, Serrania Costeira, Planalto Cristalino, Planalto Sedimentar e Planícies Aluviais.

#### *PLANALTO DO ALTO IGUAÇU*

Abrange a porção norte da bacia do Alto Iguaçu, incluindo-se parte das sub-bacias do Irai, Atuba, Barigüi e Passaúna.

Nos locais onde o relevo é fortemente ondulado a montanhoso, formado por morros e serras quartzíticas com encostas muito curtas, perfis convexo-côncavos e retilíneos muito irregulares, predominam os litotipos do Grupo Açungui. As declividades quase sempre são superiores a 35% e 45%, sendo os desníveis altimétricos bastante acentuados.

A densidade de drenagens nesse compartimento é alta, com vales retilíneos, encaixados, profundos e desprovidos de planícies aluviais, em franco processo de escavação. A maior parte desses vales é apenas de escoamento, ou seja, secam logo após as chuvas.

Ocorrem também áreas de relevo cárstico, com declividades que variam de 15% a 35%, apresentando-se por vezes fortemente ondulado a montanhoso, com alta densidade de elevações de topos convexos e encostas convexo-côncavas curtas. Em porções mais arrasadas há uma predominância de morros baixos e de encostas longas. Ocorrem ainda depressões cársticas, compartimentadas por cristas de metapelitos, dispostas na direção NE-SW, e por cristas NW-SE, sustentadas por diques de diabásio.

Nas áreas de relevo cárstico menos acidentado a densidade de drenagens é moderada a baixa, existindo dolinas e sumidouros.

No extremo sul desse compartimento ocorrem rochas do embasamento cristalino imbricadas com granitóides foliados sintectônicos. O relevo grada de forte para moderadamente ondulado, formando terrenos com alta densidade de pequenas elevações de topos e encostas curtas e perfis predominantemente convexos, com leve concavidade apenas próximo da base. Apresenta declividades da ordem de 15% a 25% e desníveis altimétricos entre 15 e 30 metros. Finalmente, passa para um relevo dissecado e já tendendo ao aplainamento, constituído de morros baixos, com declividades entre 5% e 15%.

A densidade de drenagem é alta, com vales abertos, escavando pouco, grande parte apenas de escoamento, ou seja, sem água e com rios principais com vales bastante amplos de fundo chato, águas lentas, vazões baixas e depositando muito mais do que escavando.

### *SERRANIA COSTEIRA*

Compreende o extremo leste e sudeste da bacia do Alto Iguaçu, estando presentes nas sub-bacias do Iraí e Miringuava, onde ocupam as suas regiões de maiores altitudes.

O substrato rochoso nesse compartimento é composto por rochas vulcânicas da Formação Guaratubinha e por rochas graníticas intrusivas pouco deformadas.

O relevo é fortemente ondulado a montanhoso, formado de morros com encostas curtas, perfis convexo-côncavos e retilíneos, com declividades quase sempre superiores a 35 e 45% e desníveis altimétricos muito acentuados.

O sistema de drenagens é de vales bastante encaixados e praticamente desprovidos de planícies aluviais, rios principais com águas correntes, leitos encachoeirados e águas turbulentas.

### *PLANALTO CRISTALINO*

Ocupa o extremo sul da bacia do Alto Iguaçu, na região das cabeceiras das sub-bacias do Miringuava, Cotia, Moinho, Divisa, Mascate e Maurício. Predominam migmatitos e gnaisses do embasamento, intrudidos por rochas graníticas foliadas.

Este compartimento ocupa ainda uma pequena porção no extremo oeste da bacia, compreendendo partes das sub-bacias da Cachoeira e do Passaúna, bem como uma faixa alongada no sentido Norte-Sul, na região leste, entre a Serrania Costeira e os sedimentos cenozóicos do Planalto Sedimentar, abrangendo áreas das sub-bacias do Iraí, Pequeno, Ressaca e Miringuava.

O relevo, na faixa leste e em uma pequena porção no extremo sul deste compartimento, na divisa entre as sub-bacias Cotia e Miringuava, é montanhoso, moderado a fortemente ondulado, com morros de topos convexos e encostas convexo-côncavas curtas, de declividades médias de 20 a 35%, desníveis altimétricos entre 40 e 50 metros e densidade de drenagem moderada.

O restante da área é composto por um relevo que grada de forte para moderadamente ondulado, formando terrenos com alta densidade de pequenas elevações de topos e encostas curtas, perfis predominantemente convexos com leve concavidade apenas próximo da base, com declividades da ordem de 15% a 25% e desníveis altimétricos entre 15 e 30 metros. Passa para um relevo dissecado e já tendendo ao aplainamento, constituído de morros baixos, com declividades entre 5% e 15%.

A densidade de drenagem é alta, com vales abertos, escavando pouco, grande parte apenas de escoamento, e com rios principais com vales bastante amplos de fundo chato, águas lentas, vazões baixas e depositando muito mais do que escavando.

### *PLANALTO SEDIMENTAR*

Esse compartimento corresponde a porção central da bacia do Alto Iguaçu, ocupando áreas de dimensões variadas em todas as sub-bacias.

É composto essencialmente por sedimentos da Bacia de Curitiba, representados pela Formação Guabirota.

O relevo predominante é ondulado a moderadamente ondulado, bastante dissecado e suavizado, formado de elevações bastante amplas e baixas, com encostas longas e suavizadas, baixos desníveis altimétricos e declividades médias entre 5 e 10%.

O sistema de drenagem encontra-se em franco processo de assoreamento, com vales amplos preenchidos por sedimentos moles e solos orgânicos, águas lentas e até paradas, com baixa capacidade de transporte de sedimentos e vazões baixas.

Ocorrem ainda áreas já tendendo ao aplainamento completo, com declividades máximas em torno de 5%, densidade de drenagem muito baixa e com muitas áreas de banhado.

### *PLANÍCIES ALUVIAIS*

São representadas pelas várzeas do rio Iguaçu e seus principais afluentes, sendo formadas por materiais predominantemente arenosos e inconsolidados.

O relevo é de planícies aluviais muito amplas, com declividades entre 0 e 5%, densidade de drenagem baixa, com vales muito abertos e assimétricos e entalhamento praticamente nulo.

Em algumas regiões encontram-se planícies estreitas, curtas, confinadas entre relevo movimentado e com menor potencial para ocorrência de enchentes de longa duração.

### 4.3.2 Unidades litológicas

A Bacia do Iguaçu é composta por rochas Pré-Cambrianas metamórficas, com intrusões de rochas graníticas variando de idade Pré-Cambriana a Paleozóica, rochas sedimentares de idade Paleozóica a Cenozóica, além de vulcânicas Mesozóicas.

As Rochas Pré-Cambrianas ocupam a maior parte da Bacia do Alto Iguaçu, sendo recobertas pelas formações Cenozóicas principalmente na Área Metropolitana de Curitiba.

A distribuição em superfície das unidades descritas a seguir pode ser observada nos Mapas Geológicos, na escala 1:50 000, do Programa de levantamentos geológicos básicos do CPRM - Serviço Geológico do Brasil, correspondentes às folhas de Curitiba, Rio Branco do Sul, Piraquara, Morretes, Araucária, São José dos Pinhais, Mundo Novo, Mandirituba e Tijucas do Sul.

As principais unidades litológicas que constituem a Bacia do Alto Iguaçu, descritas da base para o topo (da mais antiga para a mais recente), são as seguintes:

- Complexo Migmatítico-Gnáissico

Essa unidade ocorre por toda a bacia do Alto Iguaçu, sustentando as partes altas ou medianas das sub-bacias do Passaúna, Barigüi, Belém, Atuba, Iraí, Pequeno, Ressaca, Miringuava, Cotia, Moinho, Divisa, Mascate e Maurício.

Constitui a maior parte do embasamento da bacia do Alto Iguaçu, podendo por vezes ser identificados afloramentos em áreas onde a Formação Guabirota foi erodida.

Na maior parte da área esta unidade é representada por migmatitos oftálmicos, com paleossoma de biotita-hornblenda gnaisses com quartzitos locais. Apenas em sua porção N-NW é representada por migmatitos estromáticos com paleossoma de biotita-hornblenda gnaisses, mica-quartzo xistos, metabasitos e anfibolitos. Em ambos os casos essas rochas encontram-se geralmente bastante intemperizadas, além de fortemente deformadas. A foliação principal tem direção aproximada NE-SW.

- Complexo Granítico-Gnáissico

O Complexo Granítico-Gnáissico é representado por monzogranitos e granodioritos gnáissicos, porfiróides e equigranulares.

Na Bacia ocorrem dois corpos individualizados: um, na porção centro-oeste, denominado Guajuvira, é encontrado em trechos das sub-bacias do Passaúna e Cachoeira, disposto segundo a direção NE-SW; o outro, denominado São José dos Pinhais ou Miringuava, alongado na direção N-S e situado próximo à borda este-sudeste da bacia, ocupa porções das sub-bacias Miringuava e Pequeno.

- Grupo Açungui/ Formação Capiru

O Grupo Açungui tem ocorrência restrita ao extremo norte dessa bacia, integrando parte das sub-bacias do Iraí, Atuba, Barigüi e Passaúna.

Encontra-se representado somente pela Formação Capiru que é constituída por rochas metassedimentares (mármore, filitos, além de quartzitos), metamorfisadas no fácies xisto-verde baixo a médio e estruturadas segundo a direção NE-SW.

Entre os tipos litológicos, designados genericamente por filitos, incluem-se as rochas siltico-argilosas, metassiltitos, filitos, filitos grafitosos, metarritmitos e quartzo-sericita xistos, chegando a apresentar porções transicionais entre quartzitos e filitos.

Os quartzitos, com granulometria variando de areia média a grossa, e matriz micácea e ferruginosa, encontram-se principalmente nas cristas de espigões, onde são observadas estratificações plano paralelas, gradando para filitos e metargilitos, sendo estes últimos encontrados com laminações plano paralelas evidenciadas por níveis amarelados e acinzentados.

As rochas carbonáticas variam lateralmente de metacarbonatos de coloração cinza para metacarbonatos de coloração branca. Composicionalmente são classificados como dolomitos a dolomitos calcíticos. Em sua maioria essas rochas apresentam aspecto maciço homogêneo, podendo apresentar ocasionalmente estruturas estromatolíticas.

As rochas predominantemente dolomíticas sofrem mais facilmente dissolução por ação das águas circulantes, ocasionando um rápido dissecamento e originando uma topografia suave, com feições típicas de "relevo cárstico". As rochas terrígenas que intercalam-se aos dolomitos possuem uma resistência maior à decomposição química, dando origem aos espigões alongados segundo as direções das camadas.

- Suíte Granítica

Essa unidade é representada por granitos alcalinos, equigranulares, rosados. Dois corpos tem ocorrência nessa bacia, o Anhangava e o Agudos do Sul, que se situam na borda leste e no extremo sul, dispostos na direção N-S. Fazem parte das sub-bacias do Iraí, Pequeno, Miringuava e Cotia.

- Formação Guaratubinha

Essa seqüência vulcanossedimentar com magmatismo ácido a intermediário, tem ocorrência restrita à borda SE da bacia sendo encontrada somente na sub-bacia Miringuava.

É representada por riólitos, tufos e brechas, e também por diques de riólito pórfiro, felsito e microgranito. Os diques ocorrem dispostos na direção NE-SW, cortando tanto o Complexo Granítico-Gnáissico (sendo localmente o corpo chamado de São José dos Pinhais), como o Complexo Migmatítico-Gnáissico.

- Diques Básicos Mesozóicos

Os diques distribuem-se por toda a região, tendo orientação preferencial N40-60W. A litologia dominante caracteriza-se por diabásios, e menos freqüentemente por gabros sub-ofíticos, basaltos e dioritos pórfiros. Apresentam-se freqüentemente alterados, com típica esfoliação esferoidal.

Quando esses diques básicos cortam os dolomitos, manifestam-se na forma de cristas alongadas de direção NW-SE, que sustentam topograficamente algumas serras locais. Essa

feição morfológica torna evidente a maior velocidade de rebaixamento das rochas calcárias por dissolução, em relação à velocidade de decomposição dos diabásios.

- Formação Guabirota

Os depósitos da Formação Guabirota ocorrem por toda a porção central da bacia sobrepondo-se às unidades mais antigas. Predominam nesta Formação os argilitos, argilitos silteosos, esverdeados, via de regra sem estratificação aparente ou, quando muito, com acamamento muito incipiente. Dentro desses argilitos, subordinadamente, em camadas descontínuas e de espessuras variáveis, ocorrem lentes de arcósios de granulação média a grossa. Nesses sedimentos são encontrados, com frequência, horizontes de impregnações calcárias e horizontes irregulares ou nódulos calcários. Os conglomerados têm ocorrência limitada e são mal selecionados, constituídos de seixos de quartzo, blocos e até matacões de rochas duras. A espessura dessa formação parece não ir além de 60,0m.

Os sedimentos da Formação Guabirota, geralmente argilosos e impermeáveis, limitam na base o aquífero superficial. Quando fraturados favorecem a recarga do aquífero do embasamento. As esparsas camadas arenosas da Formação Guabirota são responsáveis pela ocorrência localizada de aquíferos confinados.

- Depósitos aluvionares

Esses depósitos recentes distribuem-se por toda a área da bacia, em pacotes isolados, sempre associados a drenagens.

A seqüência estratigráfica típica destes sedimentos, da base para o topo, é constituída por um cascalho grosso mal selecionado e material arenoso de granulação fina a média. A espessura desses pacotes pode atingir cerca de 15,0m. Sobre esse material geralmente ocorrem sedimentos de cor escura, constituídos de argilas, siltes, matéria orgânica e restos de vegetais, que constituem solos hidromórficos, rasos, com espessuras inferiores a 1,5m.

### 4.3.3 Formações Superficiais (tipos de solos)

As formações superficiais, genericamente designadas por solos, foram caracterizadas a partir das informações obtidas sobre o processo de origem do material, a rocha original, a textura, as características do material inconsolidado (cor, espessura, nível de alteração e presença de matacões) e o perfil típico de alteração das unidades litológicas identificadas.

A distribuição em superfície das ocorrências de solos na Bacia do Alto Iguaçu, pode ser encontrada no Mapa de Materiais Inconsolidados, na escala 1:20.000, folhas A100 e A103 da Área III, elaborado por SALAZAR et al. (1994).

Os solos descritos a seguir foram inicialmente agrupados em três tipos básicos: hidromórficos, residuais (subdivididos de acordo com sua rocha de origem e perfil típico) e transportados. Posteriormente os solos foram individualizados com base em características que permitissem avaliar as suas condições de saturação e de escoamento superficial, tais como profundidade, grau de drenagem, forma e grau de desenvolvimento das estruturas, teor de matéria orgânica, textura, declividade e posição na paisagem.

- Aluviões e planícies cársticas - Solos Hidromórficos

Estes solos ocorrem em áreas de fundos de vale e/ou de baixios em planícies cársticas, sendo seu perfil típico, a partir da superfície, constituído pelos seguintes horizontes:

- . Solo orgânico de cor negra, por vezes turfoso, textura argilosa, poroso, baixa permeabilidade, mole a muito mole, plástico. Espessuras variando de 1,0 a 2,0 metros, com resistência à penetração (SPT) muito baixa.
- . Argila intermediária, cinza escura, plástica, mole a muito mole, porosa, baixa permeabilidade. Espessuras em torno de 1,0 m, com SPT muito baixo.
- . Areia fina a grossa e/ou cascalhos, fofa, por vezes compacta, permeabilidade média a elevada, com espessuras inferiores a 1,0 m. Este horizonte ocorre sotoposto e interdigitado com as argilas intermediárias. Nas planícies cársticas este nível pode estar ausente.

O nível freático nesta unidade é inferior a 2,5m, podendo ocorrer aflorante junto a colinas existentes nas áreas de planícies cársticas.

#### - Formação Guabirota - Solos residuais

Estes solos variam muito conforme o seu local de ocorrência, podendo se apresentar como solos profundos e bem evoluídos, como os podzólicos, e rasos pouco evoluídos, como os cambissolos e litossolos, e até mesmo em afloramentos de sedimentos praticamente sem evolução pedogenética.

Além dos solos residuais, ocorrem solos transportados (colúvios) com pequena espessura e sem continuidade lateral. Estes são facilmente identificados pela presença de um nível de seixos de quartzo entre ambos ("stone line"), cor escura (preto, marrom escuro) e espessuras inferiores a 1,5m, enquanto o solo residual (maduro ou jovem) tem cor predominante avermelhada e espessura que varia de 0,5 a 3,0 metros, conforme a posição na vertente (normalmente mais rasos na meia encosta). Intercalam-se níveis lenticulares, com espessuras de até 3,0m de conglomerados, cascalhos e arcósios.

O perfil típico desta unidade compreende a partir da superfície:

- . Solo transportado (colúvio) argilo-arenoso, poroso, de cor marrom escura a negra, espessura inferior a 1,5m;
- . Linha de seixos de quartzo com espessura centimétrica;
- . Solo residual maduro, com textura argilosa (muito endurecida quando seca e muito aderente e plástica quando úmida), estrutura maciça, por vezes com níveis centimétricos de laterita, com espessura variando de 0,5 a 3,0m. Permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s), e resistência à penetração baixa a média;
- . Arcósios e cascalhos de cor avermelhada, compactidade média a alta, permeabilidade média a alta, espessuras de até 3,0m. Estes sedimentos ocorrem principalmente nas partes altas do relevo sustentando o topo das colinas arredondadas;
- . Solo inferior, residual, jovem (saprolito), não laterítico, de cor variegada, vermelha a violácea, contendo grãos de quartzo e feldspato alterados. Apresentam baixa



permeabilidade, consistência baixa a média, com argila expansiva, sendo comum a ocorrência de empastilamentos e trincas de retração. A espessura é variável de 2,0 a 5,0 metros;

- . Argila de cor cinza esverdeada, por vezes variegada, com grãos de quartzo e feldspato alterados, textura predominantemente argilosa a muito argilosa, por vezes siltosa, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s). As espessuras variam de 1,0 a 10,0 m. São características dessa argila o empastilhamento e trincas profundas em forma conchoidal, propiciando a instalação de processos erosivos. A resistência à penetração varia de média a alta;
- . Arcósios de cor avermelhada ou variegada, lenticulares, constituídos por quartzo, feldspato e caulim. Ocorrem de maneira dispersa em várias profundidades. A resistência à penetração e a erodibilidade são médias.

- Diabásios - Solos residuais ou transportados

Estes solos ocorrem ao longo de cristas de topos achatados, com vertentes íngremes e convexas, relacionadas ao processo de decomposição e transporte do produto de alteração dos diabásios. Muito argilosos, englobam fragmentos e blocos arredondados de rocha fresca, salientando a decomposição esferoidal.

Formam faixas de alguns quilômetros de comprimento por algumas dezenas de metros de largura, e quando o intemperismo é intenso, apresentam-se profundos e bem evoluídos, com espessuras superiores a 3 e 4 metros. Quando associados a franjas de colúvio chegam a atingir larguras de centenas de metros.

Seu perfil típico apresenta, a partir da superfície:

- . Solo transportado de cor marrom a castanho avermelhada, matriz argilosa, envolvendo blocos e matacões de diabásio;
- . Solo residual maduro, argiloso, de cor castanha clara a avermelhada, com espessuras inferiores a 3,0 m. Porosidade alta, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s) e erodibilidade baixa;
- . Saprolito de cor avermelhada, pardacenta ou variegada, textura siltosa, espessura superior a 5,0 metros, com presença de matacões arredondados. Porosidade alta, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s) e erodibilidade média a baixa. A resistência à penetração varia de média a alta e a reatividade da argila de baixa a alta.

- Formação Guaratubinha - Solos residuais

Constituem solos residuais pouco evoluídos, como cambissolos, litossolos e mais raramente podzólicos, entremeados com afloramentos rochosos e depósitos colúvies recentes. Bastante percolativos, infiltração muito rápida.

Os horizontes pedológicos A, B e C apresentam características físicas e cores bem diferenciadas, em contatos bruscos e/ou difusos, ou com perfil incompleto:

- . Horizonte A: pouco espesso ou inexistente, pobre em matéria orgânica; e,

- . Horizonte B: muito próximo da superfície, textura argilo-sitosa muito endurecida, cor esbranquiçada, erodibilidade alta.
- Grupo Açungui - Solos relacionados
  - . Metadolomitos - Solos residuais

São representados por solos maduros ou jovens, de cor vermelha (“terra rossa”), amarela, por vezes variegada, contendo concentrações de sílica, semelhante a areia fina, proveniente da dissolução da rocha carbonática. São podzólicos e podzólico latossólicos, essencialmente argilosos e bastante profundos.

Estes solos apresentam transição direta com o metadolomito, e suas espessuras variam de 0,5 a mais de 20,0 metros. Apresentam horizontes A e B com coloração e características bastante diferenciadas entre si:

Horizonte A: geralmente com espessura superior a 50 cm, cor cinza-escura e/ou preta, textura argilosa, porosa, friável; e,

Horizonte B: cor avermelhada a amarela, textura extremamente argilosa, alta cerosidade, endurece quando seca, podendo conter argilo minerais expansivos.

Em geral apresentam alta porosidade, permeabilidade variando de média a baixa ( $10^{-3}$  cm/s) e resistência à penetração baixa a média. A textura é argilosa a muito argilosa.

- . Metapelitos - Solos residuais

São incluídos neste grupo os solos residuais de filitos, metargilitos, metassiltitos, metarritmitos e xistos, com pequenas inclusões de solos transportados. O material de alteração destes solos é muito fino, predominantemente siltico-argiloso, permanecendo em suspensão com facilidade (estradas poeirentas). Desenvolvem terrenos pouco percolativos e de baixa transmissividade, ou seja, infiltra-se pouco e a água armazenada não é liberada para circulação, com escoamento superficial muito intenso. O perfil típico destes solos, a partir da superfície, apresenta:

Solo residual maduro, por vezes jovem, de cor castanha clara a amarela, espessura inferior a 1,0m. Textura siltosa, porosidade alta, permeabilidade baixa a muito baixa ( $10^{-3}$  e  $10^{-8}$  cm/s) e resistência à penetração baixa. A erodibilidade também é baixa.

Saprolito de coloração vermelha a amarelada, apresenta forte bandamento, com inclinações variando de 30° a 90°. A textura é siltosa e a espessura varia de 3,0 a mais de 10,0m. A porosidade é alta, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s) e erodibilidade baixa. A reatividade da argila varia de média a alta.

- . Rochas quartzíticas - Solos

Constituem solos pouco desenvolvidos, cambissolos e litossolos, predominando rocha alterada. Sua ocorrência é restrita à área de exposição de quartzitos, geralmente nas cristas dos morros, onde são comuns matacões e lajes de rocha fresca. Apresentam

cores esbranquiçadas a amareladas, granulação fina, por vezes friável. São muito percolativos e com alta capacidade de armazenamento de água.

. Solos transportados

Os solos transportados encontram-se principalmente nas planícies cársticas, áreas rebaixadas associadas aos metacarbonatos, recobrimdo metadolomitos. Apresentam cores variadas com tons avermelhados, amarelados e castanhos. Localmente observam-se até três níveis de linhas de seixos de quartzo ou de metapelitos, indicando três episódios de deposição. Existem também paleocanais preenchidos por seixos de quartzo. As espessuras vão de 1,0 a mais de 30,0 metros, como observados em poços e furos executados pela SANEPAR e MINEROPAR, e citados por SALAZAR JR. et al. (1994).

Estes solos apresentam textura predominantemente argilosa, podendo ocorrer entretanto variações de textura siltosa. Mostram porosidade alta e permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s). A resistência à penetração varia de média a alta e a erodibilidade é baixa.

- Solos provenientes de granitóides

São constituídos por uma associação de solos residuais e transportados, com ampla predominância de cambissolos, litossolos e mais raramente podzólicos rasos. Predominam portanto solos pouco evoluídos pedogeneticamente, com horizonte superior geralmente pouco espesso e pobre em matéria orgânica. Em alguns locais podem ocorrer calhaus, blocos e matações de rocha fresca disseminados na massa de solo, pois essa rocha intemperiza-se de forma muito heterogênea.

Os horizontes A, B e C apresentam características geotécnicas e hídricas distintas, com passagens bruscas entre eles, sendo:

- . Horizonte A: pobre em matéria orgânica e pouco espesso de cor cinza escura;
- . Horizonte B: textura variando de argilo-arenosa a areno-argilosa. Quando a textura é mais argilosa e o solo se encontra em superfície, como por exemplo, devido ao arado, compacta-se facilmente, reduzindo a sua permeabilidade; e,
- . Horizonte C: preserva mineralogia dos granitóides.

Esses terrenos têm boa permeabilidade, transmissividade, e alta capacidade armazenadora de água.

- Gnaisses e migmatitos - Solos residuais e/ou transportados

Constituem solos residuais (maduro ou jovem e saprolito), com ocorrências eventuais de solos transportados (colúvios), separados por um nível centimétrico de seixos de quartzo, que é a base dos solos transportados.

Suas características são extremamente variadas de região para região: nas áreas de relevo menos acidentado predominam solos profundos e bem evoluídos, como podzólicos e até podzólicos latossólicos, e nas regiões mais acidentadas, predominam solos pouco evoluídos

como podzólicos rasos, cambissolos e localmente até litossolos. Geralmente são muito argilosos e/ou argilo-siltosos e com cores avermelhadas e amareladas.

O perfil típico compreende, a partir da superfície do terreno:

- . Solo transportado (colúvio) argilo-arenoso, poroso, de cor castanha clara a amarela, com espessuras inferiores a 1,0m, e com a presença de um nível centimétrico de seixos de quartzo, em sua base. Resistência à penetração baixa;
- . Solo maduro (quando homogêneo - horizonte B) ou jovem (quando ainda é possível identificar características da rocha original), espessura inferior a 1,0m, textura argilosa, cor castanha clara a amarela. Resistência à penetração e permeabilidade baixas;
- . Saprolito, de cores rósea, vermelha, castanha e amarelada, textura siltosa, com estruturas da rocha original (bandamento, micas, veios de quartzo). A espessura varia de alguns metros a uma dezena de metros. Permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s), resistência à penetração baixa a média e com alto potencial de erosão.

#### **4.4 DEFINIÇÃO DAS UNIDADES HOMOGÊNEAS QUANTO À COMPOSIÇÃO DOS ATRIBUTOS BÁSICOS – UNIDADES GEOAMBIENTAIS**

O zoneamento da bacia do Alto Iguaçu (área de interesse aos estudos) foi feito baseado nas unidades homogêneas estabelecidas a partir da caracterização dos atributos básicos considerados na definição das Unidades Geoambientais. Esses atributos básicos são apresentados no QUADRO-RESUMO das Unidades Geoambientais a seguir.

Foram identificadas quarenta e três unidades geoambientais, sendo que dez são relacionadas ao Grupo Açungui, de ocorrência na porção norte da área, integrando parte das sub-bacias do Iraí, Atuba, Barigüi e Passaúna. Nessa área ocorre topografia mais acidentada, e é caracterizada por apresentar intercalações de xistos, filitos, arenitos e calcários, que geram solos quase sempre argilosos profundos.

Dezoito estão relacionadas a rochas granito-gnáissico-migmatíticas, associadas ao Embasamento Cristalino, que ocorre por toda a bacia, sustentando as partes altas ou medianas das sub-bacias do Passaúna, Barigüi, Belém, Atuba, Iraí, Pequeno, Ressaca, Miringuava, Cotia, Moinho, Divisa, Mascate, Maurício e Cachoeira. O relevo é ondulado e montanhoso, porém menos acidentado, com solos pouco espessos com horizonte B argiloso.

Associadas aos diques básicos, que ocorrem na porção norte e central da área, são identificadas duas unidades diferenciadas basicamente pelo seu grau de intemperismo.

As rochas graníticas que se situam na borda leste e no extremo sul da bacia do Alto Iguaçu têm quatro unidades relacionadas, onde o relevo é montanhoso a fortemente ondulado, declividades quase sempre superiores a 35 e 45% e solos que variam de local para local, com predomínio de solos pouco evoluídos pedogeneticamente. Fazem parte das sub-bacias do Iraí, Pequeno, Miringuava e Cotia.

Outras duas unidades representam a Formação Guaratubinha, de ocorrência restrita ao sudeste da bacia, sendo encontrada somente na sub-bacia Miringuava. Apresenta relevo montanhoso, sustentado por rochas vulcânicas e subvulcânicas, quase sempre bem preservadas, em franco processo de dissecação. Apresentam solos rasos, bastante percolativos, pobres em matéria orgânica. Diferenciam-se porque o relevo é um pouco menos montanhoso e existe maior participação de rochas sedimentares em uma delas.

Mais quatro unidades ocorrem na porção central da bacia, relacionadas à Formação Guabirota, da Bacia Sedimentar de Curitiba, caracterizadas por um relevo suavizado, formado de elevações bastante amplas e baixas. Apresentam solos orgânicos superficiais, que retêm água da chuva, e horizontes B e C argilosos, com permeabilidade baixa podendo chegar a impermeável.

Finalmente, relacionadas aos depósitos recentes que também ocorrem por toda a bacia, são identificadas três unidades. A primeira apresenta planícies amplas e extensas, relevo suavizado, encaixadas em terrenos da bacia de Curitiba. Já a segunda apresenta planícies menos extensas e estão encaixadas em terrenos do embasamento cristalino. A terceira tem planícies curtas, encaixadas em relevos movimentados, com menor potencial para ocorrência de enchentes de longa duração.

## 4.5 DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS

A partir da definição e dos ajustes nas unidades geoambientais, procurou-se enquadrá-las dentro de tipos de solos homogêneos, conforme seus atributos básicos, altitude e clima predominante.

Essa correlação pôde também ser traçada devido a semelhança entre as zonas ecológicas, definidas por SETZER & PORTO (1979), e as zonas homogêneas delimitadas pelas unidades geoambientais de THEODOROWICZ et al. (1998), levando-se em conta as respectivas escalas de trabalho.

Além disso, a Região Metropolitana de Curitiba apresenta elementos geomorfopedológicos correlacionáveis a situações encontradas no Estado de São Paulo, que é a área do trabalho de SETZER & PORTO (*op.cit.*).

Exemplos dessa correlação são facilmente notados como embasamento cristalino em áreas montanhosas de altitudes semelhantes; bacias terciárias desenvolvidas sob o mesmo regime e clima (Bacia de Curitiba e Bacias de Taubaté e São Paulo); regiões de várzeas extensas em zonas urbanas; regiões sob influência de relevo cárstico; condições climáticas equivalentes; entre outros.

Dessa forma foram definidos dezesseis tipos de solos conforme descrito a seguir, com diferentes porcentagens dos cinco grupos hidrológicos. Os dezesseis tipos de solos identificados, com os correspondentes Grupos Hidrológicos e respectivas Unidades Geoambientais, são apresentados na tabela a seguir. A distribuição espacial desses valores ao longo da área de estudo é apresentada em arquivo no item 7.

Observa-se que, quando não foi possível identificar entre os grupos hidrológicos definidos por SETZER & PORTO (*op. cit.*) para o Estado de São Paulo, um equivalente para as características específicas dos solos da Bacia de Curitiba, foi proposta uma unidade representada pela composição entre dois tipos que mais se assemelhavam às suas características.

**Quadro 4.1 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Tipos de Solo, Grupos Hidrológicos e Unidades Geoambientais**

Número do Tipo de Solo	Unidades Geoambientais	Grupo Hidrológico				
		A	B	C	D	E
25	7 a 2	5	35	10	20	30
25	8 b 1	5	35	10	20	30
25	13 a 1	5	35	10	20	30
25	13 a 4	5	35	10	20	30
25	13 a 5	5	35	10	20	30
25	13 a 6	5	35	10	20	30
25	13 c 2	5	35	10	20	30
26	7 b 2	0	20	30	30	20
26	9 a 5	0	20	30	30	20
26	10 a 3	0	20	30	30	20
27	3 a 1	0	10	40	20	30
27	3 a 2	0	10	40	20	30
27	9 a 4	0	10	40	20	30
27	9 e 3	0	10	40	20	30
27	9 e 4	0	10	40	20	30
27	9 f 1	0	10	40	20	30
27	13 c 1	0	10	40	20	30
28	5 a 2	0	0	50	15	35
28	9 a 3	0	0	50	15	35
29	7 a 1	5	30	15	20	30
29	7 b 1	5	30	15	20	30
29	9 c 2	5	30	15	20	30
29	10 a 1	5	30	15	20	30
29	11 a 4	5	30	15	20	30
29	13 b 3	5	30	15	20	30
30	13 c 3	0	15	30	25	30
30	13 c 4	0	15	30	25	30

Fonte : CH2M HILL

(continua)

**Quadro 4.1 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Tipos de Solo, Grupos Hidrológicos e Unidades Geoambientais (continuação)**

Número do Tipo de Solo	Unidades Geoambientais	Grupo Hidrológico				
		A	B	C	D	E
31	9 c 1 (a)	0	5	30	20	45
31	9 f 2	0	5	30	20	45
32	5 a 1	0	0	50	10	40
32	9 a 1	0	0	50	10	40
32	9 c 1 (b)	0	0	50	10	40
33	1 a	0	0	90	0	10
34	1 c	0	0	40	5	55
35	1 a	45	50	5	0	0
35	2 b 1	45	50	5	0	0
35	13 a 1	45	50	5	0	0
35	13 b 2	45	50	5	0	0
35	13 b 3	45	50	5	0	0
36	8 b 2	5	25	10	40	20
36	10 b 1	5	25	10	40	20
36	13 a 2	5	25	10	40	20
36	13 b 2	5	25	10	40	20
36 A	13 b 1	10	30	30	15	15
40/33	2 a 1	0	10	70	10	10
40/33	2 b 2	0	10	70	10	10
40/34	2 a 3	0	15	50	10	25
41/13	2 b 1	0	10	40	25	25

Fonte : CH2M HILL

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais**

Unid.	Tipos litológicos	Formações superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
1 a	Qha Nível superior: sedimentos de cor escura, constituídos de argilas, siltes, matéria orgânica e restos vegetais; Nível intermediário: material arenoso, de granulação fina a média; Nível basal: camadas de cascalho grosso, mal selecionado.	Solos hidromórficos, rasos, assentados diretamente sobre estratos sedimentares, ricos em matéria orgânica e com alta permeabilidade. Textura argilo-arenosa; Espessura inferior a 1,5 m.	Profundidade do nível d'água: baixa a aflorante.	Baixa densidade; Vales muito abertos e assimétricos; e, entalhamento praticamente nulo.	Planícies aluviais muito amplas.	Entre 0 e 3%.
1 b	Qha Nível superior: sedimentos de cor escura, constituídos de argilas, siltes, matéria orgânica e restos vegetais; Nível intermediário: material arenoso, de granulação fina a média; Nível basal: camadas de cascalho grosso, mal selecionado.	Solos hidromórficos, rasos, assentados diretamente sobre estratos sedimentares, ricos em matéria orgânica e com alta permeabilidade. Textura argilo-arenosa; Espessura varia de 1,0 a 1,5 metros.	Profundidade do nível d'água: baixa a aflorante.	Baixa densidade; Vales muito abertos e assimétricos; e, entalhamento praticamente nulo.	Planícies aluviais muito amplas.	Entre 0 e 5%.
1 c	Qha Nível superior: sedimentos de cor escura, constituídos de argilas, siltes, matéria orgânica e restos vegetais; Nível intermediário: material arenoso, de granulação fina a média; Nível basal: camadas de cascalho grosso, mal selecionado.	Solos hidromórficos, rasos, assentados diretamente sobre estratos sedimentares, ricos em matéria orgânica e com alta permeabilidade. Textura argilo-arenosa; Espessura inferior a 1,5 m.	Profundidade do nível d'água: baixa a aflorante.	Baixa densidade; Vales muito abertos e assimétricos; e, entalhamento praticamente nulo.	Planície estreitas, curtas, confinadas entre relevo movimentado e com menor potencial para ocorrência de enchentes de longa duração.	Entre 0 e 5%
2 a 1	APImge (pouco QPg) Sedimentos argilosos. Baixa transmissividade. Embasamento a profundidades superiores a 10m.	Solos moles e orgânicos em vales amplos, por vezes turfoso e hidromórfico. Funcionam como "esponjas" evitando o escoamento rápido para as drenagens.	Profundidade do nível d'água superior a 4m e aflorante em vários locais. Aqüífero pobre.	Águas lentas, em franco processo de assoreamento, baixa capacidade de transporte, vazões baixas.	Relevo ondulado a moderadamente ondulado; elevações bastante amplas e baixas, com encostas longas e suavizadas.	Declividades médias de 5 a 10%; Baixos desníveis altimétricos.
2 a 3	Formação Guabirotuba	Solos moles e orgânicos funcionam como esponjas evitando o escoamento rápido para as drenagens.	Aqüíferos pobres.	Alta densidade; Terrenos em franco processo de dissecação; Escoamento superficial muito intenso, enxurradas erosivas.	Relevo fortemente ondulado, com pequenas elevações de topos e encostas curtas, com perfis convexo-côncavos.	Declividades médias entre 15 a 35 %.

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)



**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos litológicos	Formações superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
2 b 1	Qha, QPg, APlmge - Bacia de Curitiba - Formação Guabirotuba: sedimentos predominantemente argilosos. Porção mais rasa da Bacia, embasamento aflora localmente.	Solos profundos com camada superficial espessa e de cor preta; na época chuvosa solos encharcados. Muito importante para reter água das chuvas.	Profundidade entre 3 e 5 metros e aflorante em vários locais.	Muitas nascentes.	Relevo bastante suavizado.	Declividades máximas de 10%.
2 b 2	Formação Guabirotuba	Solos profundos com camada superficial espessa e de cor preta; na época chuvosa solos encharcados. Muito importante para reter água das chuvas.	Profundidade entre 1 e 3 metros.	Muitas nascentes; muitas paleoplanícies aluviais recobertas com solos orgânicos.	Relevo tendendo ao aplainamento completo, com muitas áreas de banhado.	Declividades máximas em torno de 5%.
3 a 1	Diques de diabásio: profundamente alterados; Muito argilosos, baixa permeabilidade, muito aderentes e plásticos quando molhados; pouco percolativos.	Bastante profundos, bem evoluídos (podzólicos, podzólico-latosólicos); espessuras superiores a 3 e 4m.	Favorável a existência de excelentes aquíferos, principalmente onde os diques cortam as rochas carbonáticas.		Cristas apresentam alto grau de dissecação, morros estreitos, predominantemente perfis convexos.	Entre 20 e 25%.
3 a 2	Diques de diabásio: mais preservados, afloramentos de rochas frescas, com blocos e matacões.	Grau de evolução variado; Trincas de ressecamento; Muito argilosos, baixa permeabilidade, com blocos, esfoliação esferoidal.			Cristas menos disseçadas, estreitas, perfis côncavo-convexos.	Superiores a 35%.
5 a 1	Formação Guaratubinha Rochas vulcânicas ácidas e intermediárias, geralmente bem preservadas, aflorantes em vários locais; Muito fraturadas.	Solos residuais pouco evoluídos como cambissolos, litossolos e mais raramente podzólicos, entremeados com afloramentos rochosos e depósitos coluviais recentes.	Muitas fissuras, falhas; bastante percolativas, infiltração muito rápida, alta recarga de aquífero; podem ocorrer excelentes aquíferos fissurados.	Drenagens com vales bastante profundos, escavando muito, boas vazões permanentes, com leitos encachoeirados e águas turbulentas; alta erosão hídrica, alta capacidade de transporte; formam enxurradas erosivas.	Relevo montanhoso, sustentado por rochas vulcânicas e subvulcânicas quase sempre bem preservadas; em franco processo de dissecação.	Declividades médias superiores a 35 e 45%.
5 a 2	Formação Guaratubinha: rochas vulcânicas ácidas e intermediárias, geralmente bem preservadas; muito fraturadas. Ocorrência de rochas sedimentares.				Pouco menos montanhoso que o 5 a 1, com participação de rochas sedimentares, em franco processo de dissecação.	

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos litológicos	Formações superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
7 a 1	Rochas graníticas pouco deformadas: Granito Agudos de Sul, subalcalinos e alcalinos, granulação média a grossa, cores avermelhada e/ou cinza-rosada.	Solos residuais e transportados, cambissolos, litossolos e raros podzólicos rasos.	Rochas de alta permeabilidade e porosidade secundária; boa transmissividade, favoráveis à existência de aquíferos	Muitos rios, córregos, nascentes e poços rasos com boas vazões o ano todo;	Montanhoso e com exposições de rochas frescas; franco e acelerado processo de dissecação.	Quase sempre superiores a 35 e 45%.
7 a 2		Solos um pouco mais evoluídos e profundos que o 7 a 1; camada superficial espessa de cor cinza-escura, mais ricos em matéria orgânica.	fissurados, boa capacidade armazenadora.	Vales bastante encaixados, praticamente desprovidos de planícies aluviais, leitos encachoeirados; sujeito a enxurradas.	Relevo mais suavizado, com poucos afloramentos de rocha fresca.	
7 b 1	Rochas graníticas pouco deformadas: Granito Anhangava, subalcalinos e alcalinos.	Solos um pouco mais argilosos que 7 a 1 e 7 a 2.			Montanhoso e com exposições de rochas frescas; franco e acelerado processo de dissecação.	
7 b 2	Rochas graníticas pouco deformadas: Granito Anhangava, subalcalinos e alcalinos; Borda do maciço granítico, ocorrendo também embasamento cristalino.	Solos mais argilosos e espessos que 7 b 1.			Moderadamente a fortemente ondulado.	
8 b 1	Granitóides bastante fraturados: Granito Guajuvira.	Solos residuais, cambissolos e litossolos, raros podzólicos rasos, argilosos.	Bastante percolativos, boa transmissividade e capacidade armazenadora, alto potencial, aumentado entre diques de diabásio	Alta densidade de drenagem, vales relativamente profundos e praticamente desprovidos de planícies aluviais, escoamento superficial intenso, sujeito a enxurradas; boas vazões.	Fortemente ondulado e com muitas exposições de rocha dura; alto potencial erosivo	Quase sempre superiores a 25 e 35%.
8 b 2	Granitóides bastante fraturados: Granito Guajuvira.	Solos mais espessos e mais evoluídos pedogeneticamente que 8 b 1.			Moderadamente ondulado, morros com perfis predominantemente convexos; baixo potencial erosivo.	Entre 10m e 20%.

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos litológicos	Formações superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
9 a 1	PSacm (pouco de Psacd) - Terrenos pertencentes ao Grupo Açungui: rochas síltico-argilosas com textura filítica ou xistosa; alta densidade de planos de fraqueza estrutural verticalizados, vulcanossedimentares.	Solos variam muito localmente; Ocorrem rochas mais preservadas do intemperismo; Solos e rochas com baixa permeabilidade.	Escoamento intenso, infiltrando pouco no subsolo; Baixa recarga dos aquíferos.	Denso sistema de drenagem, que flui em direção ao rio Iguaçu. Águas rápidas e erosivas, seco nas épocas pós chuvas. Baixíssimo número de nascentes; canais são apenas de escoamento.	Relevo montanhoso; áreas geralmente mais altas em relação aos terrenos vizinhos, por isso funcionam como divisor de águas e como áreas de recarga de diversas bacias.	Quase sempre superiores a 35% e 45%, com desníveis altimétricos acentuados.
9 a 3	Grupo Açungui: rochas síltico-argilosas, com textura filítica ou xistosa; menos deformados, vulcanossedimentares. Na unidade 9 a 4 pode ter	Seqüência síltica- argilosa profundamente intemperizada, com solos mais espessos e evoluídos.		Canais de escoamento; Baixíssimo número de nascentes; Águas rápidas e erosivas, seco nas épocas pós chuvas.	Fortemente ondulado.	Médias entre 20 e 35%, desníveis altimétricos moderados.
9 a 4	presença de carbonáticas, já a 9 a 5 apresenta muitas intercalações de meta-arenitos.	Solos variam muito de local para local.	Potencial um pouco maior devido à presença de rochas carbonáticas.		Setores com dolinas, que sugerem existência de rochas carbonáticas portadoras de cavidades subterrâneas.	Quase sempre superiores a 35% e 45%, com desníveis altimétricos acentuados.
9 a 5			Potencial maior devido às camadas arenosas.		Intercalações de meta-arenitos	

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos litológicos	Formações superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
9 c 1	Psacm - Grupo Açungui: Rochas de composição quartzosa associadas com xistos e filitos sedimentares e vulcânicos; presença de dolinas; podem ocorrer calcários.	Solos residuais e transportados, com características muito variáveis de local para local. Muito percolativos, alta capacidade de armazenamento.	Alto potencial, áreas de recarga.	Alto potencial; nascentes nos sopés dos morros e muitas drenagens com boas vazões o ano todo.	Cristas estreitas, alongadas, fortemente destacadas.	Sempre acima de 35% e 45%; desníveis altimétricos acentuados.
9 c 2					Terrenos sustentados principalmente por metassedimentos arenosos finos, friáveis, intercalados com xistos e filitos.	
9 e 3	Grupo Açungui: metacalcários dolomíticos homogêneos; podem ocorrer associados com filitos e xistos, sedimentares ou vulcânicos. Metadolomitos homogêneos, alta concentração de dolinas.	Solos residuais e transportados, podzólicos e podzólico latossólicos, essencialmente argilosos, bastante profundos e horizontes A e B bastante diferenciados; Permeabilidade muito baixa.	Alto potencial; Aquífero sofre recarga e descarga muito rápida.	Alta densidade de drenagem, com vales curtos, escavando mais que depositando; alta capacidade de transporte, deflúvio rápido, boas vazões permanentes; muitos sumidouros.	Fortemente ondulado a montanhoso; alta densidade de topos convexos e encostas convexo-côncavas curtas.	Entre 20 e 35%.
9 e 4	Grupo Açungui: metacalcários dolomíticos silicosos; podem ocorrer associados com filitos e xistos, sedimentares ou vulcânicos. Muitas cristas estreitas de quartzitos.		Muitas nascentes nos sopés das cristas quartzíticas.		Relevo bastante acidentado com muitas cristas estreitas e altas de quartzitos.	
9 f 1	PSacd, PSacm e PSacq Terrenos cársticos penetrados por diques básicos, grau de intemperismo muito avançado; calcários com intercalações de filitos, arenitos.	Solos bem evoluídos, profundos, com camada superficial muito espessa e rica em matéria orgânica	Nível freático variável, temporariamente próximo a superfície; áreas de descarga, muitas surgências de água; possibilidade de cavidades subterrâneas	Baixa densidade, baixa erosão hídrica, áreas em processo de assoreamento; vales muito amplos, abertos e pouco profundos.	Áreas topograficamente rebaixadas em relação às vizinhas; depressões cársticas, compartimentadas por cristas de metassedimentos NE-SW e por cristas de diabásio NW-SE. Setores bastante suavizados.	Médias entre 5 e 10%.

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos Litológicos	Formações Superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
9 f 2	Psacd Terrenos cársticos, calcários com intercalações de filitos, arenitos.	Solos com camada superficial orgânica, menos espessa.		Escoamento superficial mais intenso, maior erosão hídrica.	Ondulado a fortemente ondulado.	Entre 20 e 35%.
10 a 1	Rochas granitóides leucocráticas pouco ou não gnaissificadas, misturadas com rochas do embasamento (unidade 13), onde ocorrem afloramentos de rochas frescas e duras.	Solos residuais e transportados, evolução pedogenética pouco avançada e variável de local para local; predominam cambissolos, litossolos e/ou podzólicos pouco espessos.	Alta permeabilidade secundária, rochas muito fraturadas que facilitam a infiltração rápida, alta recarga Bom aquífero do tipo fissurado	Alta densidade de drenagem, vales com forte controle estrutural, escavando muito	Fortemente ondulado a montanhoso, encostas curtas, perfis convexo-retilíneo-côncavos.	Superiores a 35%, desníveis altimétricos muito acentuados.
10 a 3		Solos mais profundos, evoluídos e argilosos que (10 a 1); camada superficial pouco mais espessa e rica em matéria orgânica.		Moderada densidade de drenagem	Morros de encostas convexo-côncavas.	Médias entre 15 e 25%, localmente 35%
10 b 1	APImge - Rochas granitóides com foliação, metamorfisadas, imbricadas com migmatitos da unidade (13), bastante intemperizadas.	Solos residuais e transportados imaturos, muito heterogêneos, boa permeabilidade, alta capacidade armazenadora.				
11 a 4	Rochas gnáissicas e granitóides da unidade (7 a)	Solos espessos porém pouco evoluídos.	Denso sistema de fraturas, muitas nascentes, rios com boas vazões o ano todo, nível freático pouco influenciado pelo clima sugerem bons aquíferos	Vales bastante encaixados e profundos, área de recarga de parte do sistema de drenagem que abastece os rios Iguaçu e da Várzea.	Forte controle tectônico; Morros muito irregulares, perfis convexo-retilíneo-côncavos.	Quase sempre superiores a 35%.

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos Litológicos	Formações Superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
13 a 1	APImge, QPg Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino; Setores com migmatização mais intensa e com maior participação de material quartzo-feldspático.	Solos transportados profundos e bem evoluídos (podzólicos, podzólico latossólicos). Geralmente argilosos e/ou argilo-siltosos; permeabilidade baixa. Afloramentos de rochas granulíticas frescas e fraturadas.	Bom aquífero fraturado, razoável número de nascentes, área de recarga de drenagens que alimentam as represas Barigüi e Passaúna.	Razoável número de nascentes d'água e muitos córregos que mantêm boas vazões o ano todo.	Relevo fortemente ondulado	Menos acidentado, como na unidade (13 a 2).
13 a 2		Praticamente sem afloramentos de rochas frescas na superfície e/ou próximo dela	Pequeno número de nascentes, baixo fraturamento, material argiloso, baixo potencial	Caráter intermitente da maior parte dos córregos; densidade de drenagem relativamente alta.	Moderadamente ondulado, pequenas elevações de encostas curtas com perfis convexos.	Médias entre 15 e 25%
13 a 4	Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino, com muitos diques de diabásio em variados graus de intemperismo.	Solos residuais pouco evoluídos como podzólicos rasos, cambissolos e localmente até litossolos, cores avermelhadas e amareladas.	Muitas nascentes, muitas fraturas, boa capacidade armazenadora. Muito favorável a bons aquíferos.	Drenagens perenes com boas vazões o ano todo; densidade de drenagem moderada.	Moderado a fortemente ondulado, morros de topos convexos e encostas convexo-côncavas curtas.	Médias entre 20 e 35%, desníveis altimétricos entre 40 e 50 metros.
13 a 5	Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino, bastante milonitizadas.			Vales retilíneos bastante encaixados densidade de drenagem moderada.		
13 a 6	Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino, muito tectonizadas e com muitos diques de diabásio e de riólito.					

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos Litológicos	Formações Superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
13 b 1	APImge Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino. Setores onde predominam migmatitos.	Horizonte superior espesso e geralmente de cor preta; espessuras de 0,5 a 2 metros; mistura de finos (argila) com fragmentos de quartzo, friável, porosa e permeável; muito importante para o controle do regime hídrico.	Lençol freático temporário próximo a superfície; Baixo potencial, poços secam em estiagem, baixo número de nascentes .	Alta densidade de drenagem, vales abertos, grande parte de escoamento; vales amplos de fundo chato, águas lentas, vazões baixas, alto tempo de permanência.	Relevo dissecado e já tendendo ao aplainamento; elevações baixas de topos e encostas curtas, perfis predominantemente convexos com leve concavidade próxima a base.	Entre 5 e 15%.
13 b 2		Solos menos espessos e com camada superficial de cor cinza-escura, argilo-quartzosos, porosa e permeável.			Setores com relevo ondulado a moderadamente ondulado, formado por elevações baixas de topos e encostas curtas	Declividade médias entre 15 e 20% desníveis altimétricos entre 15 e 30 metros.
13 b 3	APImge, QPg Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino; Setores onde predominam migmatitos, além de delgados pacotes de QPg que afloram somente nos topos das elevações.	Camada superficial pouco espessa e mais pobre em matéria orgânica. Afloramentos de sedimentos da Formação Guabiro tuba.		Alta densidade, deflúvio rápido, escoamento superficial muito intenso, infiltram pouco, enxurradas muito erosivas.	Relevo fortemente ondulado a montanhoso, com encostas curtas, perfis convexo-côncavos muito irregulares.	Declividades médias superiores a 35%; desníveis altimétricos acentuados.

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998

(continua)

**Quadro 4.2 Bacia do Alto Iguaçu**  
**Unidades Geoambientais (continuação)**

Unidades	Tipos Litológicos	Formações Superficiais/ Solos	Hidrogeologia/ Lençol freático	Drenagens	Relevo	Declividade
13 c 1	Rochas granito-gnáissicas -migmatíticas correlacionadas ao Embasamento Cristalino: predominam anfíbolitos, biotita-hornblenda gnaisses e metaultrabásitos; predominância de rochas de composição básica-ultrabásica, profundamente alteradas. Manto de intemperismo profundo (mais de 10 metros) muito argiloso. Na unidade (13 c 3) zona de cisalhamento de alto ângulo, planos verticalizados, intenso hidrotermalismo quatzfeldspático, com muitos veios de pegmatito e de quartzo, no c4 maior frequência de afloramentos de biotita-hornblenda e anfíbolitos sob forma de blocos e matacões.	Transportados bem evoluídos, como podzólicos, podzólicos profundos, localmente latossolos.	Permeabilidade e transmissividade muito baixas; poucas nascentes, baixa recarga, baixo potencial. Na unidade (13 c 1), locais com lençol freático a baixa profundidade e/ou aflorante; na unidade (13 c 2) profundidade entre 8 e 12 metros.	Alta densidade, com canais quase sempre apenas de escoamento (vales secos), escoamento superficial muito intenso, sujeito a enxurradas.	Alta densidade de pequenas colinas bastante dissecadas, topos e encostas curtas, perfis predominantemente convexos.	Média entre 10 e 15%.
13 c 2					Moderado a fortemente ondulado, alta densidade de morrotes com encostas convexo-côncavas.	Médias entre 15 e 25%, alguns setores entre 25 e 35%.
13 c 3 13 c 4		Podzólicos residuais rasos, localmente cambissolos, com horizontes A mais B com espessuras de 1 a 2,5 metros; muito argilosos, plásticos. Camada superior de cor preta a cinza escura espessa, baixa erodibilidade, alta permeabilidade, contribuindo para a diminuição do escoamento superficial e redução das enchentes.			Fortemente ondulado, alta densidade de pequenos morros com topos e encostas curtas, perfis convexo-côncavos e localmente retilíneos; processo de dissecação mais acentuado.	Quase sempre superiores a 35%, desníveis altimétricos acentuados.

Fonte : Baseado em THEODOROVICZ et al., 1998



## 5 MODELO NUMÉRICO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CN

Neste item são descritas as metodologias e critérios para a obtenção do parâmetro CN utilizado no método hidrológico do Soil Conservation Service (SCS). Tais estudos foram feitos a partir da avaliação das características hidrológicas dos solos da região, apresentada no item anterior, e nos procedimentos de classificação de imagens voltados à caracterização do uso do solo atual. Com base no cruzamento dessas informações, chegou-se às estimativas de CN para cada sub-bacia em estudo.

### 5.1 ESTIMATIVA DE CN USANDO SIG E CLASSIFICADOR RELATIVO

Para a estimativa do parâmetro CN de cada sub-bacia utilizou-se como ferramenta o Sistema de Informação Geográfica - SIG pela necessidade de interpretação e classificação da imagem de satélite. A estimativa da proporção de cada uso/cobertura do solo por pixel neste trabalho introduz o conceito de classificador relativo. Um classificador relativo é aquele que avalia o grau com que cada pixel pertence a cada uma das classes de cobertura do solo.

Assim, ao invés de tomar uma decisão rígida (isto é, Booleana) sobre a associação de cada pixel a uma determinada classe, o classificador relativo gera como saída uma imagem em formato de números reais para cada classe, a qual expressa a associação ao conjunto em uma escala de 0 a 1. Em outras palavras, toma-se o valor da função discriminante de cada classe, em cada pixel, como sendo um indicador da proporção da classe no pixel.

Este procedimento de classificação é do tipo supervisionado podendo-se utilizar mínima distância, paralelepípedo e máxima verossimilhança como método de classificação. Como resultado do processo, produziram-se nove imagens, cada uma correspondendo a uma das classes identificada pelo analista.

Esta metodologia do cálculo do CN foi usada para se estimar o valor do CN para o estado de uso do solo atual e futuro. Este procedimento traz dificuldades para se estimar o uso do solo no futuro, pois não se tem a imagem de satélite para a situação futura de ocupação urbana. Porém, o estudo de projeção populacional desenvolvido permite avaliar o crescimento da mancha urbana.

Em conjunto com o estudo populacional será usada a relação desenvolvida pelo Prof. Tucci, que correlaciona a densidade populacional com a área impermeável para áreas urbanas. Com o estudo populacional e a correlação entre densidade populacional e área impermeável, podemos atribuir um valor de CN para as áreas urbanas conforme conhecemos a porcentagem de impermeabilização da área.

Para a estimativa de CN, com o objetivo de criar um Modelo Numérico de CN visando obter a distribuição espacial deste parâmetro, foi desenvolvida uma rotina, onde são cruzadas as imagens de probabilidade de cada classe, o mapa de solos e tabelas associadas.

#### 5.1.1 Dados de Entrada

- Tabela de Grupos Hidrológicos de Solos, que correlaciona os diferentes tipos de solos da área de interesse aos grupos hidrológicos, contendo a proporção de cada um dos cinco

grupos fundamentais (A, B, C, D e E);

- Tabelas de CN para bacias urbanas e suburbanas, contendo os valores de CN, para uma condição antecedente de umidade média, associada aos cinco grupos fundamentais de solos hidrológicos, para áreas urbanas e suburbanas;
- Planos de Informação de Solos: Mapa temático em formato varredura georeferenciado com as classes de solo, resolução 20x20m;
- Imagem Multiespectral: Cena SPOT com as bandas XP1, XP2, XP3 e XP4, maio/99, resolução 20x20m; e
- Estudo Populacional: Mapa Temático em formato varredura georeferenciado com quatro faixas de densidade populacional, resolução 20x20m.

**Quadro 5.1 Proporção de grupos hidrológicos de solos por tipo de solo**

Nº. do Tipo de Solo	Grupo Hidrológico				
	A	B	C	D	E
3	30	55	10	5	0
17/3	10	20	25	40	5
25	5	35	10	20	30
26	0	20	30	30	20
27	0	10	40	20	30
27 A	0	10	40	30	20
28	0	0	50	15	35
29	5	30	15	20	30
30	0	15	30	25	30
31	0	5	30	20	45
31/30	0	10	20	30	40
32	0	0	50	10	40
33	0	0	90	0	10
34	0	0	40	5	55
35	45	50	5	0	0
36	5	25	10	40	20
36 A	10	30	30	15	15
40/33	0	10	70	10	10
40/34	0	15	50	10	25
41/13	0	10	40	25	25

Fonte : CH2M HILL

**Quadro 5.2 CN para áreas não urbanas**

As linhas marcadas em cinza indicam as classes de uso que foram identificadas na imagem.

Utilização ou Cobertura do Solo		A	B	C	D	E
Zonas cultivadas:	sem conservação do solo	72	81	88	91	91
	com conservação do solo	62	71	78	81	81
Pastagens ou terrenos baldios:	más condições	68	79	86	89	89
	boas condições	39	61	74	80	80
Prado em boas condições:		30	58	71	78	78
Bosques ou zonas florestais:	cobertura ruim	45	66	77	83	83
	cobertura boa	25	55	70	77	77

Fonte : TUCCI, C.E.M. et all. 1993. Hidrologia – Ciência e Aplicação. ABRH/Editora da Universidade UFRGS, Porto Alegre

**Quadro 5.3 CN para áreas urbanas**

Densidade Populacional (hab/ha)	Área Impermeável (%)	CN				
		A	B	C	D	E
40	14,8	78	83	88	91	93
80	37,6	83	87	91	93	94
120	60,4	88	91	93	95	96
>120	65,0	90	92	94	95	96

Fonte : CH2M HILL

## 5.2 EXEMPLO DE CÁLCULO DE CN EM UM PIXEL

A rotina proposta calcula para cada pixel, o valor de CN, analisando as proporções de cada tipo fundamental de solo (grupos hidrológicos) e de cada uso/cobertura do solo. Assim se tivermos em um pixel, um solo da classe 4 com a seguinte distribuição: A=0%, B=5%,C=30%,D=20% e E=45%; cobertura agrícola em 70%, campo em 30% e as demais coberturas em 0%, a rotina procede às seguintes operações:

**Quadro 5.4 Rotina proposta para cálculo de CN por pixel**

Proporção do uso/cobertura (p)	Solo A x CN , 100	Solo B x CN , 100	Solo C x CN , 100	Solo D x CN , 100	Solo E x CN , 100	(p)xā(S <sub>i</sub> x CN)
agrícola (70%)	0 x 62 = 0	5 x 71 = 3.6	30 x 78 = 3.4	20 x 81 = 6.2	45 x 81 = 36.4	<b>55.7</b>
campo (30%)	0 x 68 = 0	5 x 79 = 4.0	30 x 86 = 5.8	20 x 89 = 7.8	45 x 89 = 40.1	<b>26.3</b>
outros (0%)	0	0	0	0	0	<b>0.0</b>
					<b>CN = ā =</b>	<b>82.0</b>

Fonte : CH2M HILL

A partir da determinação do CN por pixel foi calculado o CN para cada sub-bacia, a partir da integração espacial desses valores pontuais.

Segundo resultados publicados por Tucci (1998), o CN calculado a partir de 15 eventos para a bacia do rio Belém na estação do Prado Velho variou entre 78,5 e 97,8, com média de 86,8. Pelo presente estudo, o CN médio para a bacia do Belém na estação do Prado Velho foi avaliado em 88. Em que pese uma série de fatores que podem afetar o cálculo do parâmetro CN, tais como evolução da urbanização, condições de umidade antecedente, magnitude dos eventos, problemas com curvas - chave, etc., os resultados obtidos podem ser considerados bastante satisfatórios.

Os resultados decorrentes deste estudo são apresentados nos mapas de uso e ocupação do solo e de CN, mostrados no item 7.

## 6 EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA

---

### 6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os estudos de evolução da mancha urbana têm como finalidade servir de base para a formulação de cenários para a avaliação do comportamento do sistema de macrodrenagem tanto na sua configuração atual como na configuração futura, proposta pelo Plano Diretor.

Para o estudo da evolução da mancha urbana, consideram-se os três cenários adotados na avaliação da capacidade do sistema de drenagem:

- Cenário atual: corresponde à situação das áreas urbanizadas registradas na imagem do satélite SPOT em maio/99;
- Cenário tendencial: situação futura, sem a implantação de medidas de controle da macrodrenagem;
- Cenário dirigido: situação futura, porém com a implantação de medidas de controle.

Para efeito de estudos populacionais e de impermeabilização, os cenários tendencial e dirigido têm o mesmo significado.

O estudo foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira etapa foi utilizada a metodologia proposta no Termo de Referência do PEB/PROSAM 04 – Plano Diretor de Drenagem segundo o qual "*deve-se considerar o cenário da bacia com os desenvolvimentos existentes e aprovados e o restante em condições naturais*". Os resultados obtidos com essa metodologia mostraram-se limitados. Por isso foi necessária a aplicação de outro método, o que foi feito na segunda etapa do estudo.

Na primeira etapa foi consultado o cadastro de loteamentos aprovados da COMEC, o qual, por estar incompleto, gerou a necessidade de pesquisa adicional nos respectivos arquivos no sentido de atualizá-lo. A CH2M HILL elaborou um levantamento completo das informações, cadastrando os empreendimentos faltantes através do preenchimento de fichas padrão da COMEC conforme consta em relatório intermediário denominado "Estudo da Evolução da Mancha Urbana" - M03-05, em seu Anexo 1 – Complementações Cadastrais de Loteamentos Aprovados na COMEC, e, com base nestas complementações, atualizou-se o arquivo inicialmente fornecido, o qual é apresentado no mesmo relatório intermediário em seu Anexo 2 – Loteamentos Aprovados na RMC conforme levantamento feito na COMEC.

A partir destes dados, elaborou-se o respectivo mapeamento, que está consolidado no Mapa E001 "Loteamentos Aprovados Segundo Cadastro da COMEC", onde:

- A mancha urbana atual foi obtida da imagem de satélite de maio/99;
- A relação dos loteamentos aprovados, suas áreas e centróides foram obtidos através de pesquisas realizadas nos arquivos da COMEC;
- Cada loteamento é representado no desenho por um círculo com área equivalente à do mesmo loteamento e centro com as mesmas coordenadas do centróide do loteamento; e

- A intercessão da mancha urbana com os círculos que representam os loteamentos, indica a parcela do loteamento que pode já ter sido implantada.

A análise dos dados e dos resultados obtidos conduziu às seguintes conclusões:

- Não há confiabilidade, pois os dados não são georeferenciados e não há garantia de que os loteamentos estão ou não implantados, nem se o serão dentro do horizonte do Plano Diretor de Drenagem; além disso, a COMEC não procede à atualização sistemática de seus arquivos ou de consistência dos dados em seu poder;
- A evolução da mancha urbana obtida não é compatível com o zoneamento da ocupação do solo na região, apresentando situações discrepantes tanto em localização como em densidades populacionais; e
- Novos loteamentos podem ter surgido a qualquer momento, sem que tenham sido registrados neste trabalho.

A partir dessas conclusões decidiu-se por adotar uma nova metodologia. Assim sendo, na segunda etapa do estudo, optou-se por uma adaptação do estudo desenvolvido no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu, Esse estudo adotou como base de projeção da população os valores obtidos no relatório Planejamento do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Curitiba e Região Metropolitana – Estudos Demográficos e de Demanda, desenvolvido para a Sanepar pela firma Proensi em maio/97. Complementada com as informações de outros planos existentes, foi elaborada a distribuição desta população no tempo e no espaço em função dos zoneamentos do uso do solo dos diversos municípios, e dos umbrais de urbanização.

Com base nestas considerações, adotou-se, diferentemente do critério constante no Termo de Referência, fundamentado somente nos loteamentos aprovados e ainda não implantados, um método urbanístico de análise de tendência para o estudo da evolução da mancha urbana, conforme apresentado a seguir.

## 6.2 ESTUDOS DESENVOLVIDOS

### 6.2.1 Dados Existentes

Os dados disponíveis e que serviram de subsídio para a execução dos estudos foram os seguintes:

- Distribuição da população atual por setores de abastecimento de água da Região Metropolitana, operados pela Sanepar;
- Arquivo eletrônico com relação de ligações de energia elétrica por categorias domiciliar, comercial e industrial, por coordenadas geográficas, em 1.999, da COPEL;
- Leis e mapeamentos de zoneamento e uso do solo dos municípios inseridos na bacia do Alto Iguaçu em vigor no segundo semestre do ano de 1999;

- Projeções das populações dos municípios da bacia do Alto Iguaçu, elaboradas no Planejamento do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Curitiba e Região Metropolitana – Estudos Demográficos e de Demanda, até o ano 2.020;
- Imagem de satélite SPOT, de 1.999;
- Mapeamento das áreas de proteção ambiental – APAs; e
- Mapa da evolução da ocupação urbana, elaborado pela COMEC, em 1.987.

## 6.2.2 Metodologia Desenvolvida

A metodologia empregada levou em conta os dados disponíveis e as especificidades da região, procurando identificar a real ocupação urbana e a sua evolução, conforme os seguintes passos básicos:

- Montagem de grelha georeferenciada com a distribuição geográfica das ligações elétricas, com base no arquivo da COPEL;
- Distribuição da população atual dos municípios com sistemas de abastecimento de água isolados, conforme a mancha urbana;
- Análise das tendências da evolução da malha urbana regional, com base em vetores de crescimento; e
- Distribuição das projeções da população da Bacia do Alto Iguaçu para o ano 2020, usando-se os resultados da distribuição atual e considerando as projeções existentes e os umbrais de urbanização.

O conceito de Umbral de Urbanização, diz respeito à capacidade de ocupação das distintas zonas urbanas, baseada em:

- Zonas: são as zonas constantes nas legislações municipais de uso do solo;
- Usos: foram denominados *usos dominantes*;
- Taxa de uso residencial: em todos os municípios estudados, o uso residencial é permitido ou permissível em praticamente todas as zonas urbanas; como o objetivo é mapear a distribuição da população, foram estabelecidas taxas de uso residencial para cada zona de forma hipotética com base em observações de comportamentos urbanos; a taxa de 50% para as áreas centrais baseou-se na vocação de cidades dormitórios dos municípios de regiões metropolitanas;
- Áreas de lotes mínimos: são os lotes mínimos por zona, definidos nas legislações municipais de uso do solo;
- Taxa de ocupação: percentual do terreno que pode ser ocupado pela projeção horizontal do pavimento térreo das edificações, definido nas legislações municipais de uso do solo;
- Número de pavimentos: definidos nas legislações municipais de uso do solo; para efeito do presente cálculo foram sempre considerados os números máximos de pavimentos;

- Área média domiciliar: foi estabelecido o padrão de 120 m<sup>2</sup> por domicílio;
- Coeficiente de aproveitamento: trata-se do multiplicador definido nas legislações municipais, aplicável à área do terreno para a definição da área máxima computável a ser construída por lote urbano; e
- Índice de habitantes por domicílio: obtido no Estudo da População dos Municípios da Bacia do Alto Iguaçu, na tabela de projeção do índice habitantes por domicílio.

As análises dos indicadores supra, conduzem às seguintes definições, onde:

- Área máxima construída por lote: cálculo executado através da aplicação do coeficiente de aproveitamento à área do lote;
- Área máxima construída por lote de uso residencial: cálculo executado aplicando a taxa de uso residencial área máxima construída por lote;
- Número de lotes por hectare: cálculo executado tomando por base a área do lote mínimo definido pela legislação de uso do solo;
- Número de domicílios por lote: cálculo executado tomando por base a área domiciliar de 120 m<sup>2</sup>;
- Densidade populacional: cálculo executado tomando por base o índice de habitantes por domicílio e o número de domicílios por lote; e
- Umbral de urbanização: o umbral de urbanização expresso em tabela é o resultado da aplicação da densidade habitacional por lote à quadra, considerada um hectare.

Os umbrais de urbanização, ou as capacidades máximas de ocupação das zonas urbanas, de acordo com as leis de uso do solo dos municípios da bacia do Alto Iguaçu, foram calculados e apresentados no Plano de Despoluição Hídrica para a Bacia do Alto Iguaçu elaborado pela CH2M HILL, concluído e aprovado pela SUDERHSA em 2001, levando em consideração os seguintes elementos:

- Dados fornecidos pela legislação, como: definição e delimitação das zonas, usos permitidos, lotes mínimos, taxas de ocupação, número de pavimentos e coeficiente de aproveitamento;
- Equivalências entre áreas líquidas e zonas urbanas, sendo que as áreas líquidas se referem às áreas efetivamente ocupadas pelos lotes, isto é, são áreas urbanas exceto as áreas públicas de uso comum (praças, ruas, etc);
- Percentuais definidos por critério de uso predominante; e
- Índice de habitantes por domicílio.

Assim, os umbrais de urbanização constituem-se no resultado da aplicação da densidade demográfica por lote à quadra, considerada neste trabalho com tamanho de um hectare. Um hectare foi também o tamanho adotado para o pixel na interpretação e classificação da imagem de satélite.



Toda a metodologia, critérios e parâmetros utilizados complementarmente para a geração dos desenhos e respectivas informações numéricas foram apresentados no relatório intermediário “Avaliação da Capacidade do Sistema de Drenagem Atual” - M03-01. Um fluxograma desta metodologia é apresentada em anexo deste relatório.

### **6.2.3 Distribuição Demográfica**

O mapa de evolução urbana elaborado pela COMEC em 1987 apresenta vetores de tendências de ocupação urbana dos municípios que, em função de uma série de intervenções físicas, como a construção das rodovias de contorno e mecanismos legais que criaram APAs, UTPs e usos do solo específicos, foram redirecionados.

Assim, a evolução da malha urbana regional está firmemente direcionada pelos eixos rodoviários em seu crescimento extra-município de Curitiba. Por outro lado, estão também presentes vetores de crescimento, nas franjas do município pólo, de uma certa forma induzida pelo sistema viário de segunda hierarquia em relação às rodovias.

O Plano de Despoluição Hídrica para a Bacia do Alto Iguaçu apresenta a análise, em cada área urbana municipal, das atuais tendências da evolução da malha, que direcionaram a distribuição populacional contida nas projeções populacionais do presente trabalho na bacia do Alto Iguaçu.

### **6.2.4 Distribuição da População Urbana**

Com base no cálculo das projeções globais e suas distribuições proporcionais conforme metodologia citada, foi consolidada a distribuição da População Urbana.

## **6.3 RESULTADOS OBTIDOS**

### **6.3.1 Densidade Demográfica**

A metodologia adotada, e citada anteriormente, conduziu ao Mapa de “Densidade Demográfica Atual”, apresentado no item 7, onde foi feita a distribuição da população urbana da Bacia do Alto Iguaçu a partir da grelha de domicílios com ligações elétricas da Copel para 1999, aplicando o índice de habitantes por domicílio e generalizada proporcionalmente para a projeção populacional.

Da mesma forma, obteve-se o Mapa “Densidade Demográfica para o Ano de 2020”, também apresentado no item 7, onde são considerados com o mesmo significado para efeitos populacionais os cenários tendencial (situação prevista sem a implantação de medidas de controle) e dirigido (situação prevista com a implantação de medidas de controle).

O Quadro 6.1 apresenta numericamente os resultados obtidos.

### **6.3.2 Índices de Impermeabilização**

O estudo de cheias em áreas urbanas procura definir uma correlação entre densidade populacional e área impermeável. Tucci (1998) apresenta uma curva média que procura

representar essa relação. Neste trabalho essa curva foi equacionada de forma simplificada, levando à seguinte expressão:

$AI = 0,57.D - 8$ , para  $14 < D < 128$  hab/ha; e

$AI = 65$ , para  $D = 128$  hab/ha

onde AI é a parcela de área impermeável da bacia em %, e D é a densidade populacional da bacia em hab./ha.

Os dados digitais apresentados no item 7, indicam os índices de impermeabilização atual e para o ano 2020 nas áreas urbanas dos municípios abrangidos por este estudo. Os resultados numéricos são apresentados no Quadro 6.1.

### 6.3.3 Relação entre CN e Índices de Impermeabilização das Áreas Urbanizadas

O CN é um parâmetro adimensional que regula a separação do escoamento, ou seja, o volume da precipitação que infiltra no terreno. A partir do conhecimento do volume infiltrado obtém-se a precipitação efetiva disponível para escoamento superficial. Assim o parâmetro CN é função das características do solo relacionadas com os processos de infiltração, tais como, a sua permeabilidade e as condições de ocupação da bacia. As impermeabilizações do solo provocadas pelo processo de urbanização diminuem as taxas de infiltração, aumentando conseqüentemente o volume de escoamento superficial.

Para a determinação da relação entre CN e índice de impermeabilização na RMC, partiu-se de um CN conhecido. Este valor foi determinado por Tucci para a bacia que contribui para a estação fluviométrica do Prado Velho, situada no Rio Belém (cf. *Modelos Hidrológicos*, Tucci, Carlos E. M., Editora Universidade, 1.998).

Analisando-se uma série de dados de precipitações e vazões, o trabalho do Prof. Tucci conclui que o CN médio para esta bacia é igual a 87.

Conforme a metodologia adotada, o CN de uma área de determinado uso de solo, é calculado por uma equação onde são ponderados os valores de CN correspondentes ao padrão de uso (ou cobertura vegetal) com as porcentagens dos grupos hidrológicos de solo presentes nesta área:

$$CN = (CN_A \times A\% + CN_B \times B\% + CN_C \times C\% + CN_D \times D\% + CN_E \times E\%)/100$$

onde:

A, B, C, D e E são os grupos hidrológicos de solo

CN<sub>A</sub>, CN<sub>B</sub>, ... são os CNs correspondentes à cada grupo hidrológico de solo para a cobertura ou uso da área

A%, B%, ... são as porcentagens de cada grupo hidrológico de solo presente nesta área

$$A\% + B\% + C\% + D\% + E\% = 100$$

Para uma área totalmente impermeabilizada, o CN independe da tipologia hidrológica do solo e é igual a 98. Portanto, considerando-se que toda área urbanizada possui uma parcela impermeável, AI%, a equação de CN assume a seguinte forma:

equação 1

$$CN_{AU} = (CN_{AI} \times AI\% + CN_A \times A\% + CN_B \times B\% + CN_C \times C\% + CN_D \times D\% + CN_E \times E\%)/100$$

onde:

$$CN_{AI} = 98$$

$$CN_{AU} = \text{CN da área urbanizada}$$

$$AI\% = \text{porcentagem de área impermeável}$$

$$AI\% + A\% + B\% + C\% + D\% + E\% = 100$$

Para a área de contribuição da Estação do Prado Velho, na bacia do Belém, fazendo  $CN = 87$  e  $CN_{AI} = 98$ , conhecendo-se A%, B%, C%, D% e E%, foram feitas diversas simulações até que se obtivesse um conjunto  $\{CN_A, CN_B, CN_C, CN_D, CN_E\}$  tabelado que satisfizesse a equação 1.

Para este trabalho foi utilizada a tabela de CNs apresentada no trabalho *Tentativa de Avaliação de Escoamento Superficial de Acordo com o Solo e seu Recobrimento Vegetal* de Setzer & La Laina Porto, publicado na Revista DAEE em 1.979.

Nesta tabela, o conjunto de CNs que satisfaz a equação, corresponde à classe *estradas de terra em boa situação hidrológica de infiltração*, onde:  $CN_A = 74$ ,  $CN_B = 80$ ,  $CN_C = 86$ ,  $CN_D = 90$  e  $CN_E = 92$ .

Portanto adotou-se para as parcelas não impermeáveis das áreas urbanizadas o conjunto de CNs acima e, para as parcelas impermeáveis, CN igual a 98.

Definido o conjunto de CNs aplicado às áreas urbanizadas, com as porcentagens dos grupos hidrológicos de solo presentes nestas áreas, o CN global ponderado é calculado pela equação 1, com a qual é possível obter a relação entre área impermeável e CN.

Para determinar o CN de cada bacia estudada é feita uma segunda ponderação onde são consideradas as áreas urbanizadas e as áreas não urbanizadas:

$$CN_B = (CN_{AU} \times AU\% + CN_{AN} \times AN\%)/100 \quad \text{onde:}$$

$$CN_B = \text{CN da bacia}$$

$$CN_{AU} = \text{CN da área urbanizada, obtida pela equação (1)}$$

$$AU\% = \text{porcentagem de área urbanizada}$$

$$AN\% = \text{porcentagem de área não urbanizada}$$

$$CN_{AN} = \text{CN da área não urbanizada obtido conforme metodologia apresentada no item 5.1 deste relatório.}$$

Os resultados para cada bacia são apresentados no Quadro 6.1. O Gráfico 6.1 apresenta a evolução da impermeabilização e o Gráfico 6.2 apresenta a evolução dos CNs.

#### **6.3.4 Conclusões**

Os resultados apresentados, considerando as tendências estudadas de ocupação do solo, permitem concluir que haverá um incremento muito pequeno nos CNs, devido à urbanização. Isto se deve às características dos solos nas regiões ainda sujeitas à ocupação, com CNs maiores, e à ocupação atual que, se concentrando em áreas com CNs menores, já os impermeabilizaram. Nos arquivos entregues no item 7, podem ser visualizadas estas situações.

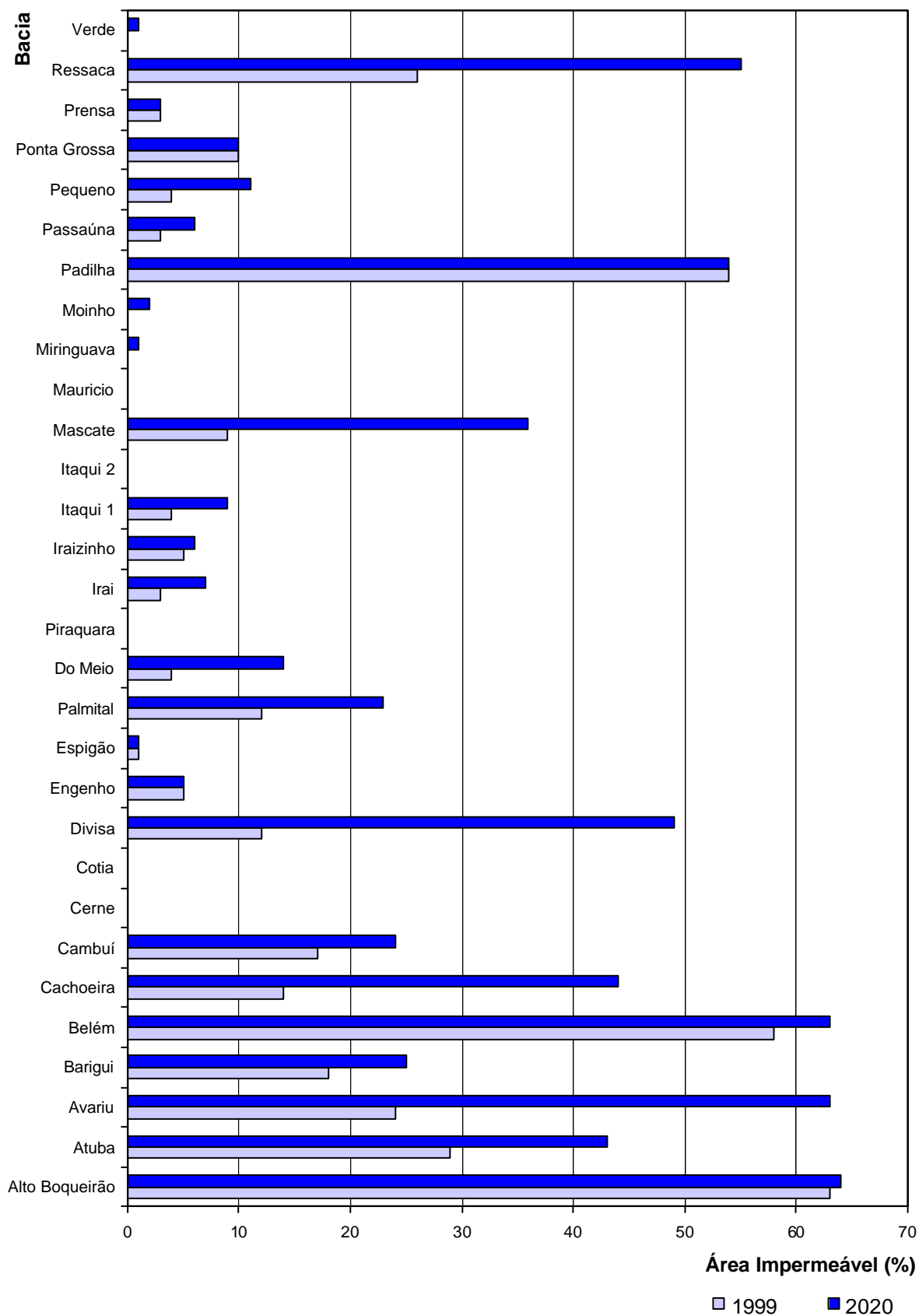
Esta constatação também permite concluir que os estudos para a implantação das Medidas de Controle praticamente independem da futura urbanização da Bacia do Alto Iguaçu.

Quadro 6.1 Evolução das densidades demográficas, áreas impermeáveis e CNs

Bacia	Ano 1.999			Ano 2.020			
	Densidade demográfica média (hab./ha)	Área impermeável (%)	CN ponderado	Densidade demográfica média (hab./ha)	Área impermeável (%)	CN ponderado	
Alto Boqueirão	63	28,2	88	64	28,4	89	
Atuba	29	8,8	83	43	16,7	86	
Avariu	24	5,6	82	63	28,0	88	
Barigui	18	2,4	80	25	6,1	82	
Belém	58	25,3	88	63	27,9	89	
Cachoeira	14	0,0	81	44	17,1	84	
Cambuí	17	1,7	78	24	5,6	82	
Cerne	0	0,0	74	0	0,0	74	
Cotia	0	0,0	75	0	0,0	75	
Divisa	12	0,0	80	49	19,7	83	
Engenho	5	0,0	76	5	0,0	76	
Espigão	1	0,0	76	1	0,0	76	
Irai	Palmital	12	0,0	79	23	5,4	81
	Do Meio	4	0,0	79	14	0,0	81
	Piraquara	0	0,0	74	0	0,0	74
	Irai	3	0,0	76	7	0,0	77
	Iraizinho	5	0,0	75	6	0,0	76
Itaqui 1	4	0,0	76	9	0,0	77	
Itaqui 2	0	0,0	78	0	0,0	78	
Mascate	9	0,0	79	36	12,8	82	
Mauricio	0	0,0	84	0	0,0	84	
Miringuava	0	0,0	74	1	0,0	74	
Moinho	0	0,0	78	2	0,0	78	
Padilha	54	22,8	86	54	22,8	87	
Passaúna	3	0,0	78	6	0,0	79	
Pequeno	4	0,0	74	11	0,0	75	
Ponta Grossa	10	0,0	78	10	0,0	79	
Prensa	3	0,0	76	3	0,0	77	
Ressaca	26	7,0	74	55	23,5	75	
Verde	0	0,0	77	1	0,0	78	

Fonte: CH2M HILL

**Figura 6.1**  
Evolução dos Índices de Impermeabilização



**Figura 6.2**  
Evolução dos CN



## 7 ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS DIGITAL

---

O banco de dados digital consiste de arquivos eletrônicos produzidos no decorrer da produção do Plano, como resultado da aplicação da metodologia descrita neste relatório. Na produção deste material, além da metodologia aqui descrita, foi também utilizada a tecnologia de SIG (Sistema de Informações Geográficas) através do aplicativo SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas fornecido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Esta tecnologia permite que dados sejam espacialmente posicionados conforme um sistema de coordenadas conhecidas, possibilitando assim a manipulação destes dados através de técnicas específicas de geoprocessamento.

Neste banco de dados digital são fornecidos os arquivos eletrônicos produzidos no SPRING, porém em formatos específicos para a sua integração ao SIGRH – Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos que a SUDERHSA está atualmente desenvolvendo.

Para o trabalho desenvolvido o sistema SPRING foi originalmente configurado no sistema de coordenadas UTM com datum Córrego Alegre. Este sistema de coordenadas é utilizado pela cartografia oficial da região metropolitana de Curitiba fornecida pela COMEC – Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba que foi a cartografia inicialmente adotada para o trabalho no Plano. Os trabalhos produzidos desde então foram referenciados a este sistema de coordenadas. Entretanto o SIGRH adota o sistema de coordenadas UTM com datum SAD-69, o que implicou na necessidade de transformação dos dados do Plano do datum Córrego Alegre para o datum SAD-69.

Todos os dados digitais fornecidos estão referenciados ao sistema de coordenadas UTM e datum SAD-69. A seguir segue uma breve descrição dos dados digitais e os seus respectivos formatos. A figura 7.1 mostra a árvore de diretórios em que estão organizados os arquivos.

- **Limites de Bacias e Sub-Bacias:** Estes dados são resultado da metodologia descrita no item 3.3 deste relatório. Foram estruturados como modelo cadastral conforme a estrutura de modelo de dados do SPRING. Cada sub-bacia é representada por um polígono com topologia conectado com um registro (ou linha) num banco de dados. Neste banco de dados foram definidos quatro atributos (ou colunas) em formato número real. Estes atributos são CN99, CN2020, DENS99 e DENS2020 que correspondem respectivamente a média por sub-bacia do parâmetro CN para o ano de 1999, a média por sub-bacia da projeção do parâmetro CN para o ano de 2020, a média por sub-bacia da densidade populacional para o ano de 1999 e a média por sub-bacia da projeção da densidade populacional para o ano de 2020. Estes dados são fornecidos em formato shapefile da ESRI, compatível com o SIGRH da SUDERHSA.
- **Tipologia de Solos Hidrológicos:** Estes dados são resultado da metodologia descrita no item 4 deste relatório. Foram estruturados como modelo temático conforme a estrutura de modelo de dados do SPRING. Cada área correspondente a um tipo de solo é representada por um polígono com topologia, classificado conforme a classe de solo a que ele pertence. As classes de solos criadas correspondem àquelas da coluna “Número do tipo de solo” na tabela 4.1. Estes dados são fornecidos em formato shapefile da ESRI, compatível com o SIGRH da SUDERHSA.

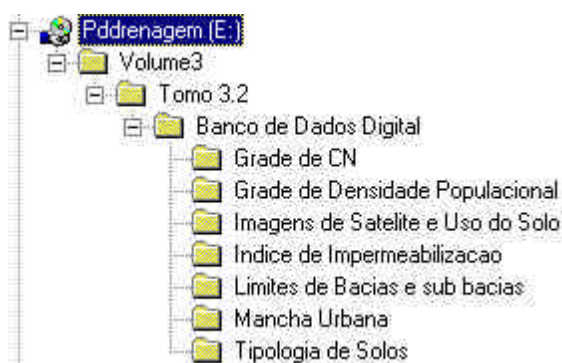


- **Grade numérica de CN, Imagem Bruta e Imagem Classificada de Satélite:** Estes dados são resultado da metodologia descrita no item 5 deste relatório. Neste caso temos dois tipos de modelos de dados conforme a estrutura do SPRING. A grade numérica de CN pertence ao modelo MNT e as imagens bruta e classificada de satélite pertencem ao modelo imagem. A grade numérica de CN é uma matriz com resolução de 20 metros por 20 metros com valores numéricos no formato número real. A imagem bruta foi obtida do satélite SPOT XS em maio de 1999 com 4 bandas espectrais e resolução de 20 metros por 20 metros. A grade é fornecida no formato ungenerate do ArcINFO da ESRI e as imagens em GeoTIFF, compatíveis com o SIGRH da SUDERHSA.
- **Grade numérica de Densidade Populacional e Índices de Impermeabilização:** Estes dados são resultado da metodologia descrita no item 6 deste relatório. Neste caso temos dois tipos de modelos de dados conforme a estrutura do SPRING. A grade numérica de Densidade Populacional pertence ao modelo MNT e os Índices de Impermeabilização foram estruturados como modelo temático. Para ambos os dados são apresentados os resultados para o ano de 1999 e a projeção destes dados para o ano de 2020. A grade numérica de Densidade Populacional é uma matriz com resolução de 100 metros por 100 metros com valores numéricos no formato número real. Os Índices de Impermeabilização foram obtidos com a aplicação da metodologia descrita no item 6.3.2 deste relatório. As classes de índice de impermeabilização criadas foram : 0 a 20 %, 20 a 30%, 30 a 40 %, 40 a 50 %, 50 a 60 % e acima de 60 %. A grade é fornecida no formato ungenerate do ArcINFO da ESRI e os índices de impermeabilização são fornecidos em formato shapefile da ESRI.
- **Mancha Urbana:** Estes dados são resultado da metodologia descrita no item 6 deste relatório. Foram estruturados como modelo imagem conforme a estrutura de modelo de dados do SPRING. São apresentadas as manchas para o ano de 1999 e a projeção desta para o ano de 2020. As imagens têm resolução de 100 m por 100 m e são fornecidas em formato GeoTIFF, compatíveis com o SIGRH da SUDERHSA.

**Figura 7.1**

Árvore de diretórios do banco de dados digital

*O banco de dados contém 32 arquivos com um total de 428 MB*





## **ANEXO 1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

## ANEXO 1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- BIGARELLA, J.J. & R. SALAMUNI 1967. Geologia do Pré-devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná. Bol. Paranaense de Geociências, p. 23-25. Curitiba 1967.
- CARRAZZA, A. N. & MONTEIRO, F. L. 1993. Mapeamento 1:25.000 da região de Rio Branco do Sul/PR. Trabalho de Graduação. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 1993.
- CHOW, V.T., 1982. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill International Book Company.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 1989. Programa de levantamentos geológicos básicos Escala 1:50.000. Folhas de Curitiba, Piraquara, Araucária, Mandirituba, São José dos Pinhais, Campo Largo e Contenda. 1989
- FELIPE, R.S. et alli. 1999. Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba. Anais do Simpósio sobre as características geológicas e geotécnicas da Formação Guabirotuba. ABMS - Núcleo Paraná/ ABAS/ ABGE, setembro de 1999.
- FIORI, A. P. 1992. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui – PR. Boletim do Instituto de Geociências. Série Científica, v. 23, p. 55-74, 1992.
- FIORI, A. P. 1994. Evolução geológica da bacia do Açungui. Boletim Paranaense de Geologia. n. 42, p. 7-27.
- FIORI, A. P.; GASPAR. 1993. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, Sul do Brasil. Boletim do Instituto de Geociências. Série Científica, v. 24, p. 1-19, 1993.
- FIORI, A.P. 1990. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. São Paulo, 1990. Tese de Livre-Docência. IG-USP, SP. 261p.
- FIORI, A.P. et al. 1987. Compartimentação tectônica do Grupo Açungui a norte de Curitiba. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA (1987 : Curitiba). Atas. Curitiba, SBG. v. 1, p. 183-196.
- FIORI, A.P.; SALAMUNI, E.; FASSBINDER, E. 1987. Geologia da região de Bateias - Bocaiúva do Sul. Atas do III Simp. Sul- Brasileiro de Geologia, Curitiba, vol.2. págs.773-787.
- FRENDRICH, R.; FREITAS C.O.A., 1989. Estudo de Chuvas Intensas do Estado do Paraná, ISAM-PUC.
- GERMANO, A., TUCCI, C.E.M. e SILVEIRA, A.L.L. 1998. Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas Bacia Urbanas Brasileiras.
- HOLTZ, 1966. Precipitações máximas Pluviais de 1 a 6 dias de duração. publ. n.25 CEHPAR.
- IAPAR - FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 1981. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Escala 1:600.000. Convênio no. 12/76 - Governo do Estado do Paraná/ IAPAR/ EMBRAPA/ SUDESUL.

KEIFER, C. J. e CHU, H. H. (1957): Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. Journal of the Hydraulics Division, 83, HY5, p. 1332-1/1332-25.

MELLO, A.J.Q, 1973. Rios e Chuvas do Brasil: Novos Métodos e Tabelas de Hidrologia.

NASCIMENTO, N. A.; CHAMECKI, P. R.; NETO, L. R.; MERCURI, A. 1994. Estudo paramétrico preliminar dos solos sedimentares característicos da Bacia de Curitiba, por. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, v. 4, p. 1277 – 1284, Foz do Iguaçu, 1994;

PARIGOT DE SOUZA, P.V. 1959. Canalização do Riacho Belém em Curitiba. Sanevia. Boletim Técnico, N.21, p.31-55.

PFASTETTER, 1959. Chuvas Intensas no Brasil. Rio de Janeiro. DNOS

SALAZAR Jr., O et all. 1994. Mapeamento geológico-geotécnico da região do Alto Iguaçu. Volume I e anexos. Convênio de Cooperação Técnica entre SEOU-COMEC e SETI-MINEROPAR: Programa de Geologia Aplicada ao Planejamento na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 1994.

SANTOS, L.M.F. e BERTOL, O. J. Estudo da Infiltrabilidade e da Disponibilidade de Água dos Principais Solos do Karst – Paraná.. EMATER.

SALKAUSKAS, C. 1981. Contribuição ao Dimensionamento Hidráulico de Canais Trapezoidais e Canais de Contorno Fechado. Departamento de Água e Energia Elétrica, São Paulo.

SETZER, J. e PORTO, R.L. 1979. Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. Boletim Técnico do DAEE, São Paulo, 2(2) : 82-135, mai/ago1979.

SIEDLECKI, K. e FIORI, A.P. Comportamento geotécnico do solo residual da Formação Guabirotuba (PR) à interação com soluções contaminantes. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9. ABGE, São Pedro, 1999;

SILVEIRA, A.L.L. 1996. Contribution a l'Etude Hydrologique d'un Bassin Sémi-Urbanisé dans le Brésil Subtropical - Bassin de l'Arroio Dilúvio à Porto Alegre. Université Montpellier II. Tese de Doutorado. 240p.

THEODOROVICZ, A., THEODOROVICZ, A.M.G. E CANTARINO, S.C. 1998. Atlas Geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Subsídios ao Planejamento Territorial. Projeto Curitiba/ Programa Informações para Gestão Territorial - GATE/ CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL / Superintendência Regional de São Paulo - SUREG-SP: Escala 1:150.000, 1998.

TUCCI, C.E.M., ZAMANILLO, E.A. e PASINATO, H.D., 1989. Sistema de Simulação Precipitação-Vazão IPHS1. IPH/UFRGS.

TUCCI, C.E.M. et all. 1995. Drenagem Urbana. ABRH/Editora da Universidade UFRGS, Porto Alegre.

TUCCI, C.E.M. et all. 1998. Modelos Hidrológicos. ABRH/Editora da Universidade UFRGS, Porto Alegre

U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. 1975. Hydrology guide for use in watershed planning, National Engineering Handbook, 1975.

EIA/RIMA's consultados no Instituto Ambiental do Paraná – IAP:

Barragem do Iraí (Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR).

Exploração do Aquífero Karst, elaborado pelo Consórcio Dalcon Engenharia/ Proensi - Projeto e Engenharia de Sistemas Ltda. (Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR).

Aterro de Resíduos Classe I da CAVO. Elaborado pela Ambiterra.

Distrito Industrial de São José dos Pinhais (Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR).

## **ANEXO 2 – FLUXOGRAMAS METODOLÓGICOS**

---

## ANEXO 2 – FLUXOGRAMAS METODOLÓGICOS

### MÉTODO DO SCS – SEQUÊNCIA DE CÁLCULO

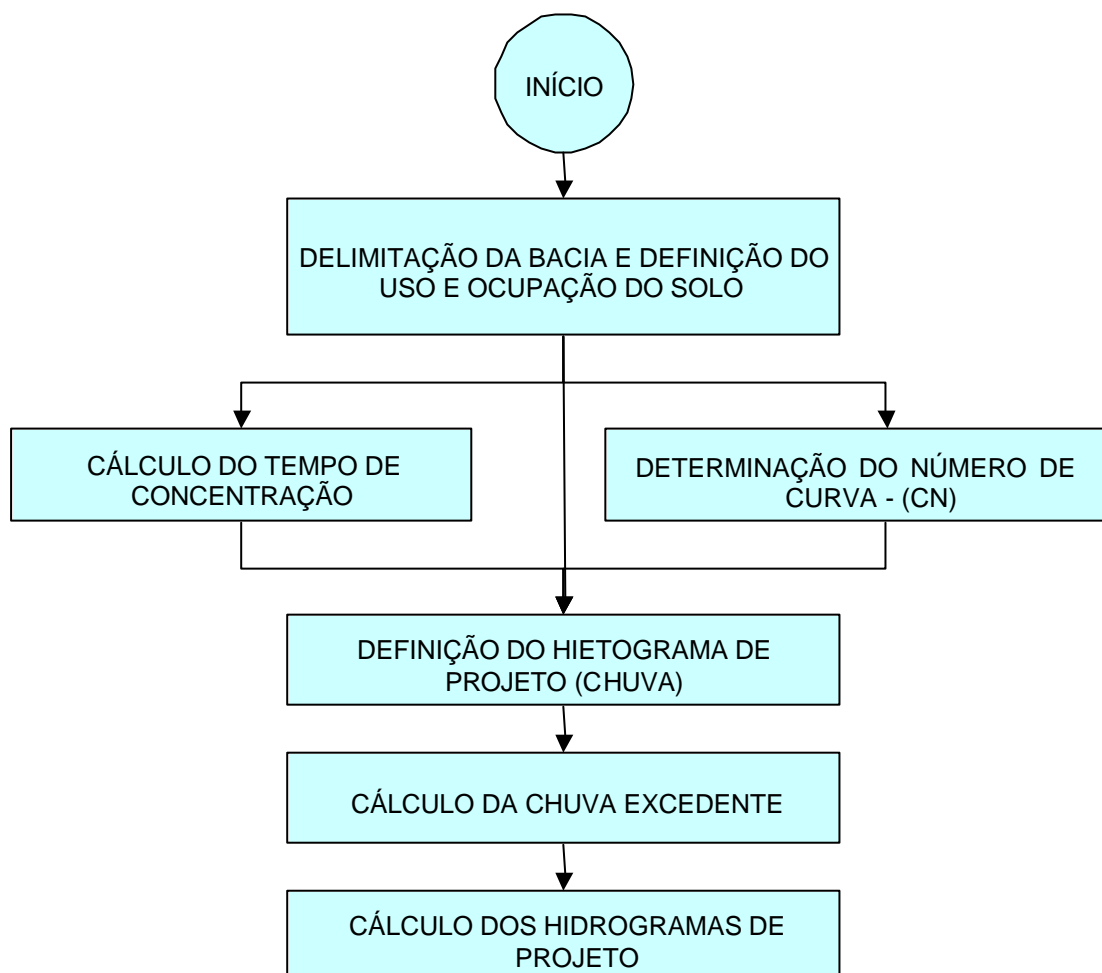
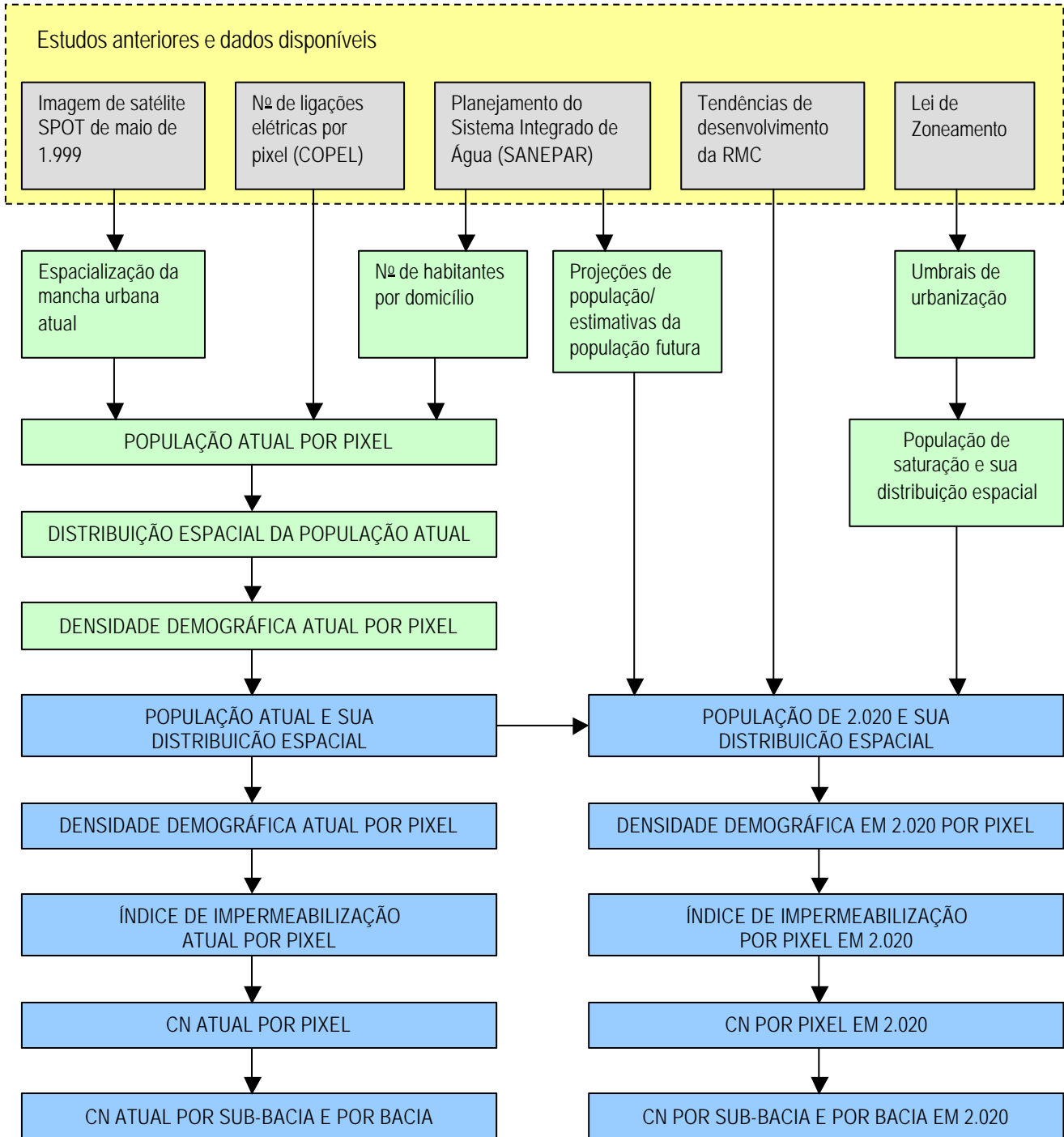


Figura 1 - Método do SCS - Seqüência de Cálculo.



# ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA E ESPACIALIZAÇÃO DO PARÂMETRO CN



## **ANEXO 3 – ATIVIDADES PARA MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

---

## **ANEXO 3 – ATIVIDADES PARA A MODELAGEM HIDROLÓGICA**

---

### **1 PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA**

- Localização das barragens existentes e projetadas:
  - Identificar e compilar os dados das barragens para futura inserção no modelo hidrológico.
- Formatação da base do SIGRH:
  - Reunir todos os elementos cartográficos para cada bacia hidrográfica num único arquivo eletrônico.
- Geração de grade de altimetria:
  - Gerar o Modelo Numérico de Terreno para cada bacia estudada.
- Revisão da macrodrenagem:
  - Definição dos trechos de macrodrenagem para futura discretização da bacia hidrográfica.
- Discretização da bacia:
  - Segmentação da bacia de modo a discretizar os trechos importantes da macrodrenagem.
- Inspeção/Relatório de Campo:
  - Levantar em campo as travessias e singularidades da rede de drenagem.

### **2 PREPARAÇÃO DAS MCs PARA MODELAGEM**

- Pré-dimensionamento das áreas das MCs:
  - A partir de informações da base cartográfica e/ou fotos aéreas, selecionar o máximo de locais disponíveis pra implantação de MCs e determinar as áreas destes locais.
- Inspeções de campo dos locais das MCs:
  - Inspecionar os locais selecionados para verificar a real possibilidade de se implantar a MC.
- Modelo matemático para cada tipo de MC:
  - A partir da inspeção do local definir se a MC será central ou lateral.

### 3 HIDROLOGIA

- Curvas de desempenho das barragens:
  - Preparar as curvas de cota x vazão e cota x volume para as barragens existentes e projetadas para a inserção no modelo hidrológico.

O modelo CABO calcula os hidrogramas nas seções de controle à partir de informações tais como CN da bacia e Tempo de concentração.

### 4 MODELAGEM DAS LIs – CENÁRIOS ATUAL E TENDENCIAL

- Topologia da rede de drenagem:
  - Produção das seções transversais nos locais determinados pelo modelador a partir do Modelo Numérico de Terreno e levantamentos de campo.
- Análise da consistência dos dados de entrada:
  - Checar a consistência dos dados produzidos antes de entrar no modelo.
- Alimentação do modelo hidrológico:
  - A partir dos dados introduzidos o CABO calcula os hidrogramas nas seções de controle para o cenário atual e tendencial e períodos de retorno considerados.
  - Quando no cenário tendencial são previstas implantações de obras, como por exemplo reservatórios, é necessário informar ao modelo CABO as curvas cota x vazão e cota x volume de projeto e assim calcular os hidrogramas das seções levando em consideração essas obras.
  - A partir dos hidrogramas são identificadas as vazões máximas na seção para os cenários atual e tendencial e para os períodos de retorno considerados.
  - Com dados das seções transversais próximas e declividade do rio, obtenho a curva chave (cota x vazão) das seções de controle.
  - Com a curva chave e vazões máximas, obtidos do hidrograma gerado pelo CABO, nas seções de controle obtemos as cotas de inundação para os diversos cenários.
- Geração das Linhas de Inundação com Spring:
  - As cotas de inundação obtidas são introduzidos no Spring.
  - Rodar o módulo de manchas de inundação do Spring.
- Análise da consistência dos resultados:
  - Analisar os resultados para certificar se não ocorreram incoerências devidos as erros na montagem da topologia.

## 5 MODELAGEM DAS LIs – CENÁRIO DIRIGIDO

- Simulações hidrológicas com as MCs:

A partir das simulações do cenário tendencial e a proposição de medidas de controle (MC) é obtido o cenário dirigido.

Para modelagem do cenário dirigido é necessário informar ao modelo CABC as curvas cota x vazão (e cota x volume, no caso dos reservatório) das MCs propostas e assim calcular os hidrogramas das seções levando em consideração essas medidas.

Fazer ajustes nas MCs de modo a funcionarem de acordo com o planejado.

A partir dos hidrogramas são identificadas as vazões máximas na seção para os cenários atual e tendencial e para os períodos de retorno considerados.

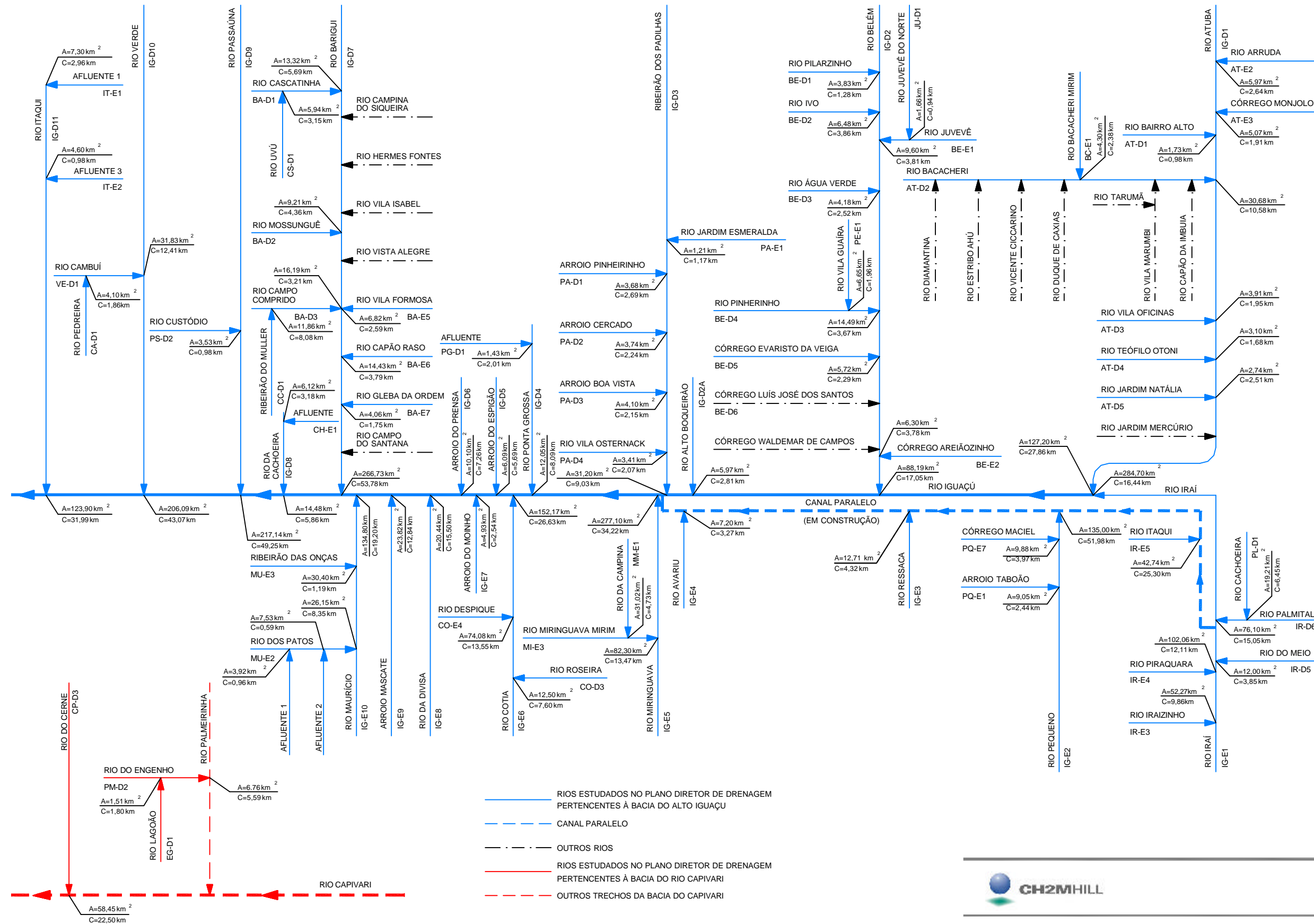
Com dados das seções transversais próximas e declividade do rio, obtenho a curva chave (cota x vazão) das seções de controle.

Com a curva chave e vazões máximas, obtidos do hidrograma gerado pelo CABC, nas seções de controle obtemos as cotas de inundação para os diversos cenários.

- Geração das Linhas de Inundação com Spring:
  - Rodar o módulo de manchas de inundação do Spring.
- Identificação das áreas de preservação:
  - Identificar, através das manchas do cenário dirigido, quais serão as áreas de várzeas a serem preservadas da ocupação urbana.

**ANEXO 4 – DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA DE  
MACRODRENAGEM DA BACIA DO ALTO IGUAÇU - DESENHO IL02**

---



**DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM**