4 METODOLOGIA

Para dar suporte à adequada ocupação e para contribuir com o Plano Diretor do novo *Campus* foi necessário estabelecer, avaliar e comparar diferentes cenários de ocupação urbana, além de ter tido início o monitoramento ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho, no interior do *Campus* 2.

O trabalho de laboratório foi realizado nas instalações do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas (NIBH) - EESC - USP, São Carlos (www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica), e com suporte do projeto do convênio FINEP-CT-HIDRO 01.02.00.86.

4.1 Caracterização da área de estudo – bacia do córrego do Mineirinho e o *Campus* 2

A área de estudo é a parte à montante da bacia do Mineirinho e possui área de aproximadamente 3,37 km^2 (Figura 8), apresenta urbanização próxima à cabeceira (nascentes), de dois afluentes que drenam as suas águas para o interior do *Campus* 2 da USP. No seu entorno, encontram-se pastagens, monocultura de cana-de-açúcar, regiões sem cobertura vegetal e uma ferrovia que circunda seu divisor de água. Acompanhando os cursos dos rios que formam essa bacia encontram-se regiões com poucos remanescentes florestais de mata ribeirinha, trechos com floresta paludosa e áreas alagadas com vegetação de pequeno porte (campo úmido).

O *Campus* 2 possui área aproximada de 100,00 ha e abrange em seu terreno 1.800 m do córrego do Mineirinho (pertencente à bacia do Rio Monjolinho), com percurso total de aproximadamente 4 km, quando desemboca no Rio Monjolinho. Sua principal nascente localiza-se fora da propriedade do

Campus 2, em bairro residencial próximo, denominado Santa Angelina. Há ainda, mais três nascentes que formam outros afluentes: uma localizada também nas imediações do *Campus* 2, no Bairro Santa Angelina, e, as outras duas, localizadas no interior da área do *Campus* 2 (Figura 9), sendo uma delas intermitente.

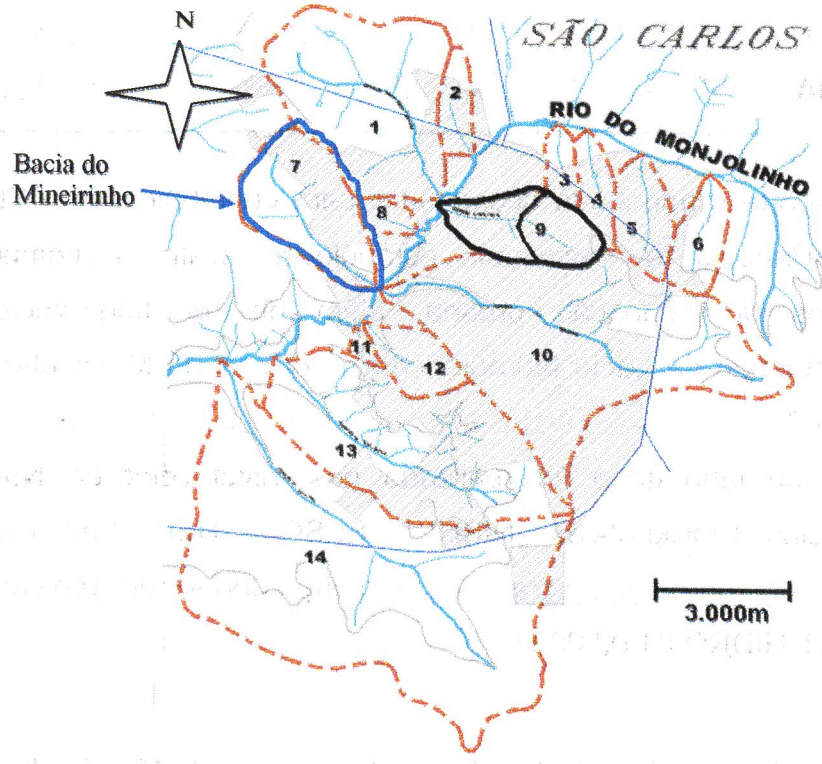

Figura 8: Parte à montante da bacia do córrego do Mineirinho, onde o *Campus* 2 da USP encontra-se em fase de implantação.

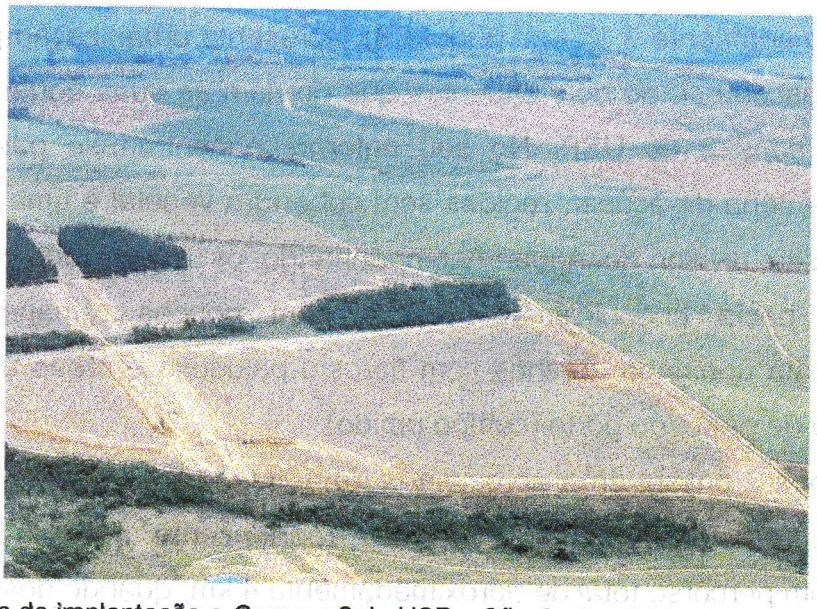

Figura 9: Área de implantação o *Campus* 2 da USP – São Carlos (2004).

Os solos na área são dos tipos latossolo vermelho amarelo (OLIVEIRA et al., 1982), profundo e distrófico, nos interflúvios, e hidromórficos, dos tipos gleissolo e organossolo (EMBRAPA, 1999), saturados de água temporária ou de forma permanente, no interior dos vales de drenagem abertos, com lençol freático próximo à superfície.

Com base nos projetos de implantação do *Campus* 2, estimou-se que até o ano 2006, pelo menos, 4 ha da área do *Campus* 2 (4 % da área total do novo *Campus*) sejam destinados à construções de vias e edificações. Constituirão, portanto, áreas impermeáveis. Além dessas edificações deverão ser construídos outros prédios, como sala de convenções, além de prédios do curso de química ambiental, física e eventuais cursos a serem criados no novo *Campus.*

Além disso, a bacia deverá ser amplamente urbanizada devido à especulação imobiliária, uma vez que diversas pessoas necessitarão de residência próxima ao *Campus* universitário.

4.2 Monitoramento ambiental das sub-bacias

4.2.1 Dados hidrológicos

Foi instalada estação climatológica para coleta de dados hidrológicos, como precipitação, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, radiação solar, temperatura, umidade do ar e do solo (Figura 10).

A estação foi obtida para que fosse possível a realização do monitoramento ambiental do *Campus* 2, conforme proposto por Benini e Tonissi (2003) e requisitado pelo Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN – São Carlos), firmado em Termo de Compromisso de Recuperação Ambiental (TCRA), em função do licenciamento para implantação do *Campus* 2.

As especificações dos equipamentos adquiridos estão descritas na Tabela 1.

A estação climatológica foi instalada próxima ao Centro de Apoio Técnico (CAT) do *Campus* 2 (Figura 11), por questões de segurança do

equipamento, e a uma distância superior a duas vezes a altura do prédio da CAT, conforme orientação técnica da Campbell do Brasil S.A., para que não houvesse interferência nos dados coletados.

Tabela 1: Especificações da estação climatológica, calhas Parshall e medidores de nível – equipamentos a serem instalados para o monitoramento ambiental do *Campus 2*.

1 (uma) **Estação Climatológica** com os seguintes equipamentos e sensores:

a) 1 *Datalogger*;
b) 1 Bateria recarregável com suporte;
c) 1 Painel Solar ;
d) 1 Regulador de Voltagem (SR12);
e) 1 Caixa, ambientalmente selada, metálica em aço inoxidável para instalação do *datalogger*, modems ópticos, sistema de alimentação e acessórios;
f) 1 *Software* capacitado para programação do *datalogger*, comunicação automática através de múltiplos sistemas - rádio, telefone, satélite -; geração automática de relatórios, visualização gráfica com atualização automática e auto-ajuda;
g) 1 Interface serial padrão RS232 opticamente isolada;
h) 1 Cabo de comunicação serial RS232;
i) 1 Sensor de velocidade (0 a 50 m/s) com limiar de partida de 0.5m/s e direção (0 a 360 graus) do Vento com limiar de partida de 0.8m/s a 10 graus e 1.8m/s a 5 graus, cabo de 10 m com proteção contra UV;
j) 1 Sensor de temperatura (-40 a +60 °C), tipo PRT e precisão de ± 0.8 C entre) C e 60 C, e Umidade Relativa do Ar (0 a 100 %), tipo capacitivo e precisão ± 3 % entre 10 e 90 % com cabo de 10 m com proteção contra UV;
k) 1 Abrigo Termométrico para sensor de temperatura e umidade (12 pratos);
l) 1 Sensor de radiação solar Global 3 metros de cabo , tipo fotodiodo, com erro < 5 % para ângulos de incidência de até 80 graus com proteção contra UV;
m) 1 Base de nivelamento com bolha de nível (CLF1) Sci-Tec / Kipp & Zonen para SP-LITE e PAR-LITE;
n) 1 Pluviômetro de Báscula, com resolução de 0.2 mm, com cabo de 15 metros com proteção contra UV., com elemento sensor duplo protegido por varistor 12 VDC e 0.5 Amp max, diâmetro do funil de 200 mm, capacidade de escoamento para intensidade de chuva até 700 mm/h, precisão de 3 % para intensidade de chuva até 500 mm/h;
o) 1 Base de nivelamento com tubo para pluviômetro;
p) 2 Sensores de umidade do solo com cabo de 15 metros com proteção contra UV;
q) 2 Sensores de temperatura solo com cabo de 15 metros tipo termistor, precisão de ± 0.1 C de 0 a 90 C com proteção contra UV;
r) 1 Sensor de pressão barométrica, faixa operacional 600 a 1060 mb, precisão de ± 2 mb de 0 a 40 C;
s) 1 Linígrafo de pressão submersível fabricado em material inoxidável, com cabo ventilado de 30 m e reforçado com fibra de Kevlar, compensado para temperatura de -2°C a 30°C, precisão de 0.1 % do fundo de escala;
t) 1 Rádio faixa 900 MHz;
u) 1 Antena omnidirecional: com 3 db de ganho.

2 (duas) **Estações de Dados Remotas**. com os seguintes equipamentos e sensores:

a) 1 *Datalogger*: 5 canais analógicos, dois canais de pulso, dois canais de excitação, duas portas de controle e rádio na faixa de 900 MHz;
b) 1 Antena omnidirecional: com 3 db de ganho;
c) 1 Painel Solar de 10 watt com suporte e cabo;
d) 1 Bateria recarregável 12 VDC-7Ah com suporte;
e) 1 Sensor de umidade do solo tipo reflectometro: precisão de 2 %;
f) 1 Sensor de temperatura solo com cabo de 15 metros tipo termistor, precisão de ± 0.1 C de 0 a 90 C com proteção contra UV.

2 (duas) **Calhas,** corpo em fibra de vidro, pré aferida, vazão 3,10 – 455,90 L/s.

2 (duas) **Calhas,** corpo em fibra de vidro, pré aferida, vazão 4,20 – 696,60 L/s.

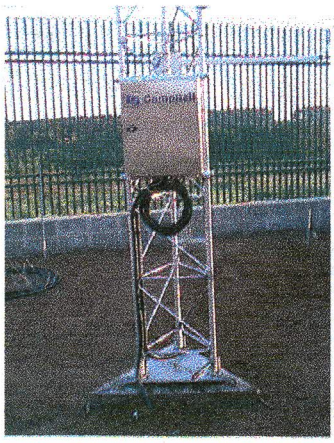

Figura 10: Estação climatológica (Campbell®) instalada no *Campus* 2, USP, São Carlos, SP.

Cabe ressaltar que um dos objetivos específicos desse trabalho foi iniciar o monitoramento ambiental do novo *Campus*. Assim, também foram adquiridos calhas Parshall e medidores de nível (Figura 12), para medir vazões do córrego do Mineirinho e seus afluentes, porém esses equipamentos deverão ser instalados pelo NIBH durante o ano de 2005/ 2006, para complementar o monitoramento ambiental.

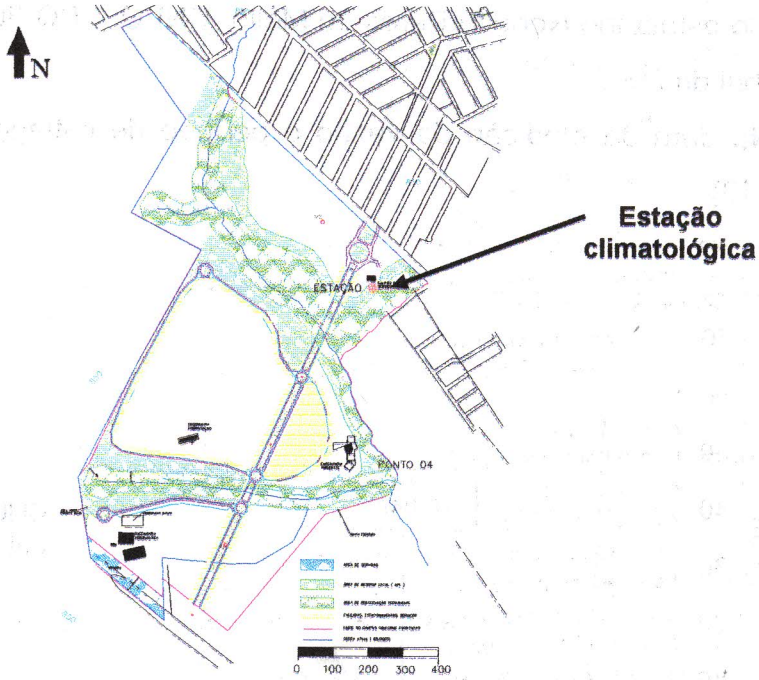

Figura 11: Local onde foi implantada a estação climatológica.

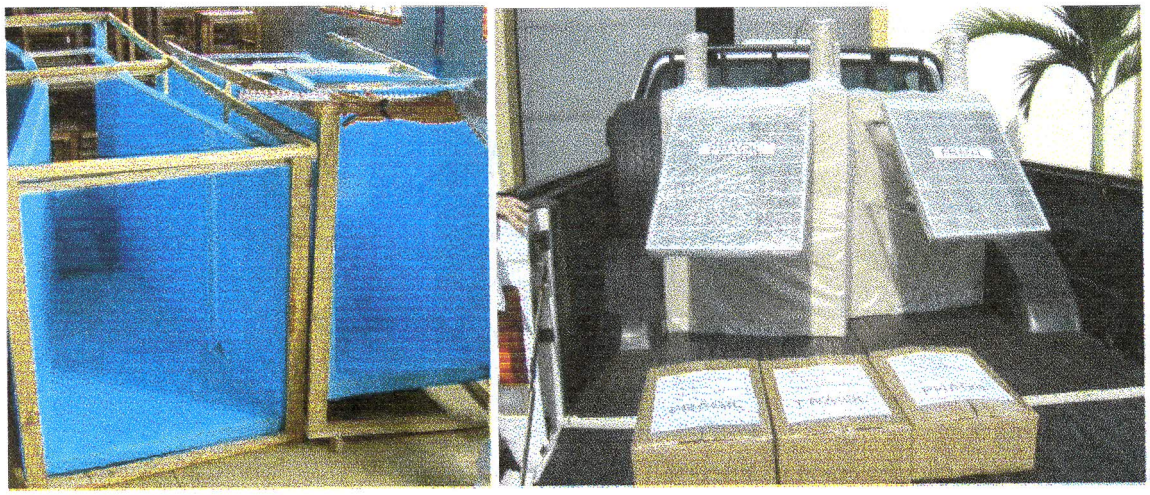

Figura 12: Calhas Parshall e medidores de nível adquiridos para o monitoramento ambiental do *Campus* 2.

Para a determinação da vazão no exutório de cada sub-bacia foi utilizado o método de medição com flutuadores, que consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um objeto flutuante, medindo o tempo necessário para que o mesmo se desloque em um trecho de rio de comprimento conhecido (SANTOS et al., 2001). As medições foram feitas com auxílio do estagiário Rodolfo Peres de Mello (CNPQ – PQ 301491/2003-8), em 18 de abril de 2005.

Na data da medição da vazão o período de estiagem era de 13 dias (Figura 13).

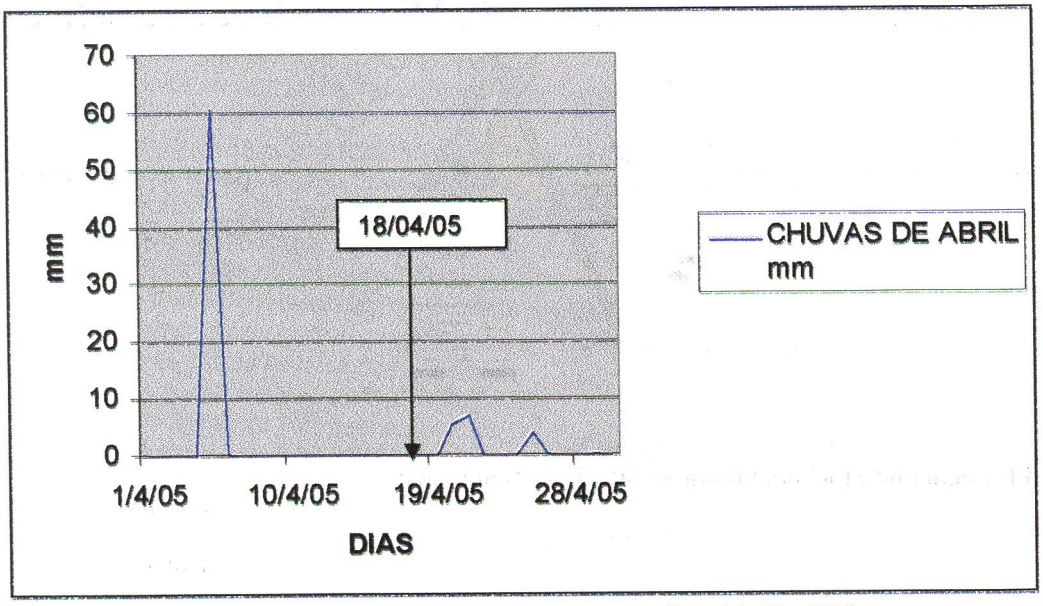

Figura 13: Período de estiagem durante as medidas de vazões (abril/ 2005)

4.2.2 Parâmetros limnológicos

Até o término deste trabalho foram realizadas três análises dos parâmetros limnológicos dos cursos d'água inseridos no *Campus* 2. As análises foram produzidas em laboratório por Rodolfo Mello e com apoio do projeto FINEP/EESC-USP/DAEE-SP 01.02.0086.00. Foram obtidos os seguintes parâmetros: pH, condutividade, nitrogênio total (NTK), fósforo total, *E. coli, Salmonela* sp. e demanda química de oxigênio (DQO).

As coletas foram realizadas durante o dia 12 do mês de janeiro (a), dia 24 do mês de fevereiro (b) e em 21 de abril de 2005 (c), em 4 pontos distintos nos exutórios das principais sub-bacias do córrego do Mineirinho (Figura 14). Os métodos utilizados para análise dos parâmetros estão descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Técnicas utilizadas para medição dos parâmetros limnológicos no *Campus* 2.

Parâmetros	Método/Referência
pH	Método potenciométrico (pH-metro)
Condutividade elétrica	Método do condutivímetro
Nitrogênio OrgânicoTotal (NTK)	Método titulométrico (GOLTERMAN et al., 1978)
Fósforo total (PT)	Método espectrofotométrico (APHA, 1995)
Demanda química de Oxigênio (DQO)	APHA, 1992
Salmonella sp.	Tubos seriados (SILVA & JUNQUEIRA, 1995)
E. coli	Tubos múltiplos (SILVA & JUNQUEIRA, 1995)

Tabela 3: Localização dos pontos de coleta d'água para análises limnológicas.

Ponto	Localização do ponto	Coordenadas UTM 23K
1	Exutório da sub-bacia 1b	0197344 7565126
2	Exutório da sub-bacia 3b	0197741 7564329
3	Exutório da sub-bacia 7b	0197759 7563892
4	Exutório final da bacia total (limite do *Campus* 2)	0197826 7563888

Na Tabela 3 estão detalhadas as coordenadas de localização dos pontos de coleta de água para análises limnológicas. A visualização dos pontos também é possível na Figura 14.

Quando a coleta de água 1 foi realizada, havia chovido 16,2 mm durante o dia anterior. Em relação à coleta 2, o período de estiagem era de 7 dias, ou seja, a última ocorrência de chuva havia sido em 17/02/2005 (10,2 mm durante o dia todo). No caso da coleta 3, o período de estiagem era superior a 5 dias.

4.2.3 Sub-bacias

O modelo IPH II, utilizado nas simulações, é um modelo concentrado. Para que a simulação hidrológica fosse possível, a parte montante da bacia do Mineirinho foi dividida em sub-bacias (Figura 14), de acordo com pontos de interesse (exutórios principais) e em função das áreas urbanas ou rurais, com uso da abordagem de bacias embutidas (MENDIONDO e TUCCI, 1997), e conforme recomenda o IPH-UFRGS-2004 .

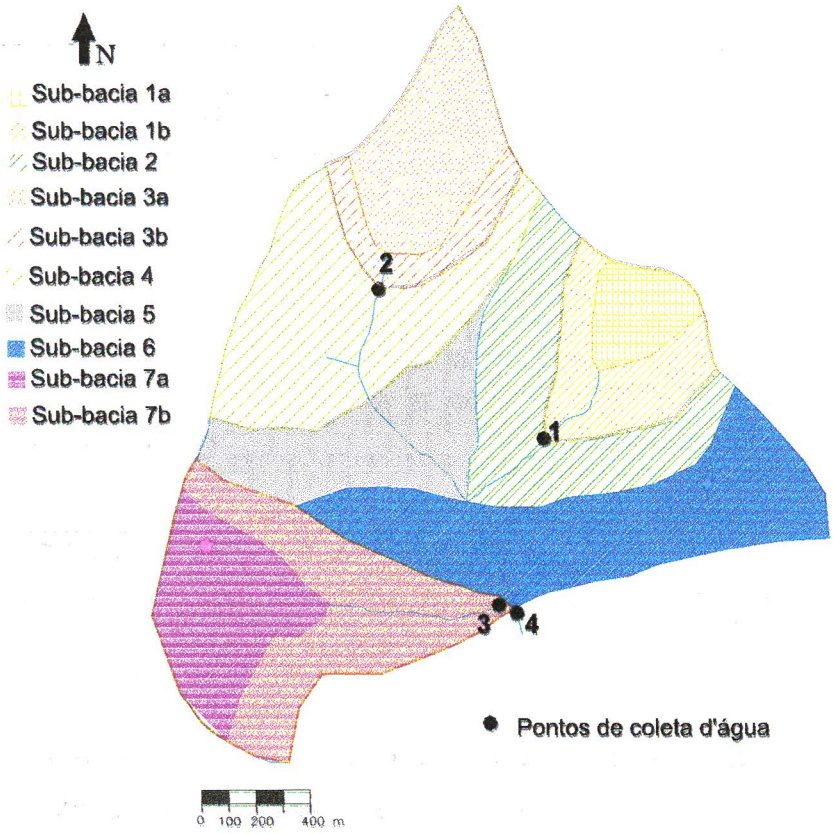

Figura 14: Sub-bacias inseridas na parte à montante da bacia do córrego do Mineirinho.

Para cada sub-bacia foi calculada área total (At), cota máxima (c_{max}), cota mínima (c_{min}), desnível (H) e o comprimento do talvegue (L). As cotas foram obtidas da própria base cartográfica digitalizada e o desnível (H) foi obtido da diferença entre a c_{max} e c_{min}. O talvegue (L) foi medido na própria base cartográfica digital com uso do *Software* AutoCAD® 2000.

As sub-bacias "a", ou seja, 1a, 3a e 7a, foram delimitas à montante da cabeceira de cada afluente, portanto, nestas bacias não ocorre a presença de corpos d'água.

4.3 Cenários ambientais

As simulações foram aplicadas em diferentes cenários ambientais (Tabela 4). Cenário pré-urbanização (1972), cenário atual (2000), cenário 20025 sem Plano Diretor e cenário 2025 com Plano Diretor. Após a obtenção dos diferentes cenários os mesmos foram comparados entre si.

Tabela 4: Cenários ambientais a serem estudados.

Cenário	Descrição
1- Pré-urbanização	Situação passada, com menor interferência antrópica e menor degradação ambiental (ano 1972).
2- Situação atual	Antes da implantação do novo *Campus* (ano 2000).
3- Pós Ocupação sem PD	Previsão da ocupação do *Campus* e aumento da urbanização sem a implantação de Plano Diretor (ano 2025).
4- Pós Ocupação com PD	Previsão da ocupação do *Campus* e aumento da urbanização com a implantação de Plano Diretor (ano 2025).

Para a obtenção dos diferentes cenários foi necessário caracterizar o uso e ocupação do solo da parte à montante da bacia do córrego do Mineirinho, para isso, foi necessária análise de fotos aéreas (fotointerpretação), tiradas durante os anos de 1972 e 2000, em escala 1: 30.000 (Figura 15), que

permitiram a elaboração de mapas através do uso do software AUTOCAD 2000®.

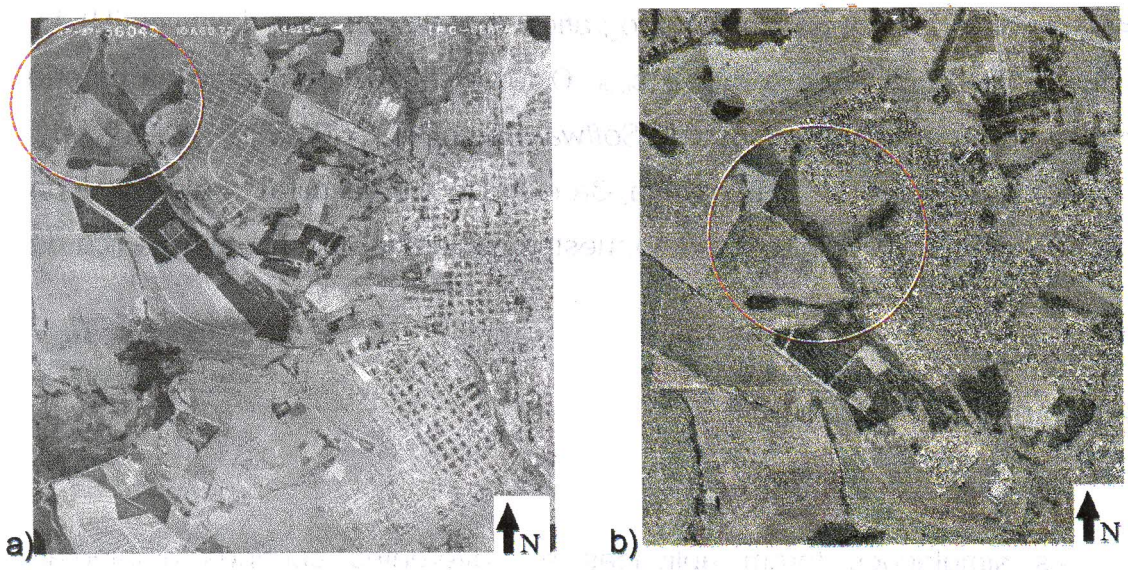

Figura 15: Fotografias aéreas e evolução da urbanização da bacia do córrego do Mineirinho nos anos de (a) 1972 e (b) 2000.

Dessa forma, foram gerados os cenários pré-urbanização (1972) e cenário atual (2000) antes da implantação do *Campus* 2.

A fotointerpretação (Figura 16) foi feita por meio da sobreposição das fotografias aéreas digitalizadas com os mapas digitais do *Campus* 2 e da bacia do Mineirinho, com uso do programa AutoCAD® 2000 e permitindo que situações visualizadas nas fotografias aéreas, como fragmentos florestais, áreas brejosas, traçado de córregos, áreas agrícolas, áreas urbanizadas, e outras situações, sejam transpostas para o mapa.

Os possíveis cenários foram obtidos para situações com e sem Plano Diretor de Ocupação, com e sem vegetação florestal na zona ripária e prevendo-se a impermeabilização das sub-bacias ao longo do tempo, seguindo diretrizes de ocupação previstas no Plano Diretor do Município de São Carlos (PMSC, 2004).

4.3.1 Cenário sem Plano Diretor

Foi estabelecido um cenário hipotético futurístico, para o ano 2025, sem Plano Diretor, prevendo-se uma ocupação desordenada, sem normas e diretrizes.

O crescimento urbano de forma desordenada, sem diretrizes de ocupação, para o cenário sem Plano Diretor, deverá ser evidenciado nos anos seguintes, ou seja, deverá ocorrer diminuição das áreas permeáveis e algumas alterações na cobertura vegetal, como a extinção das áreas voltadas á produção agrícola e área com presença de pinus.

Alguns remanescentes florestais não foram totalmente retirados deste cenário, pois se acredita que os mesmos só tenham sobrevivido devido ao fato de estarem em locais de difícil acesso de maquinários agrícolas e ocupação humana.

Além disso, deverá ocorrer implantação de áreas impermeáveis devido à construção do *Campus* 2.

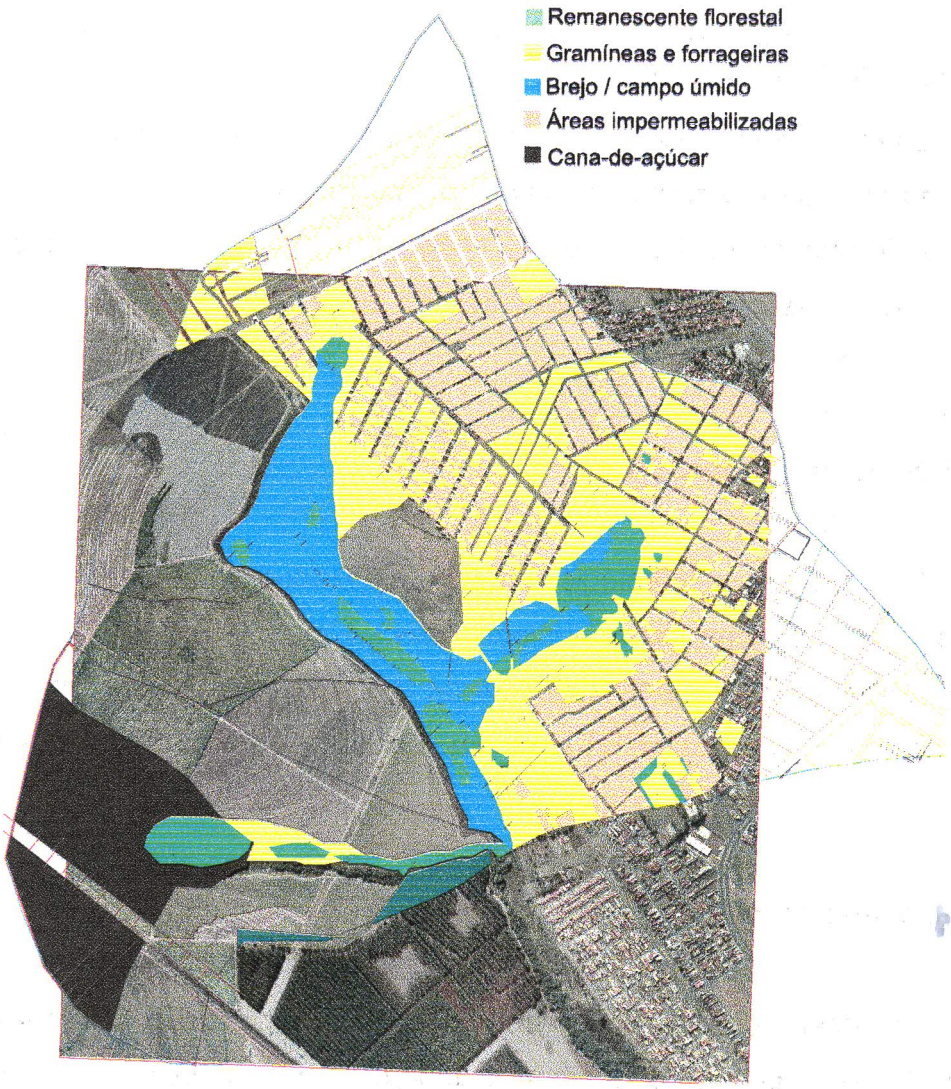

Figura 16 – Fotointerpretação, com uso de fotografia aérea de 2000e o programa AutoCAD® 2000.

4.3.2 Cenário com Plano Diretor

Criou-se um cenário hipotético, também para o ano 2025, com aplicação do Plano Diretor Municipal de São Carlos (PDMSC) de acordo com PMSC 2001, 2003 e 2004; e com aplicação do Plano Diretor de Ocupação (PDO) do *Campus* 2, baseado na restauração florestal proposta por Benini e Tonissi, 2003.

O PDMSC estipula o coeficiente de permeabilidade de 15 % nos novos lotes a serem implantados e o PDO prevê a restauração florestal no interior do *Campus* 2, de acordo com a legislação ambiental vigente (Lei Federal 4.771/65 – Código Florestal) e formação de corredores interligando os remanescentes florestais, conforme proposto por Benini & Tonissi (2003).

Cabe ressaltar que o artigo 159 do Projeto de Lei do PDMSC define o Coeficiente de Permeabilidade (CP) como a relação existente entre a área permeável e a área total do terreno. Porém, no PDMSC não é identificado quais coberturas do solo são consideradas permeáveis ou impermeáveis.

Este cenário também prevê a criação de novas áreas impermeáveis no interior do *Campus* devido à implantação do mesmo.

4.4 Simulação hidrológica

As simulações hidrológicas foram realizadas para todos os cenários, com uso do sistema computacional IPHS-1 para Windows, versão 2.11, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As simulações foram realizadas com o uso do modelo concentrado IPH II.

Os dados de precipitação utilizados foram os observados na estação climatológica do monitoramento ambiental instalada no *Campus* 2. Foram selecionados os 15 eventos que apresentaram maiores lâminas de precipitação (Tabela 5) ocorridos durante o período de 01 de novembro de 2004 a 31 de março de 2005. Os dados foram coletados e armazenados no Data Logger da estação climatológica de 5 em 5 minutos em eventos de 24 horas (288 intervalos de tempo).

4.4.1 Modelo IPH II

Para realizar as simulações hidrológicas no IPH II é necessário obter-se os parâmetros requisitados pelo modelo, que são:

Tabela 5: Eventos observados na bacia do Mineirinho utilizados para simulação no IPHS-1.

Evento	Data de ocorrência	Precipitação (mm)
*1	13-14 de novembro de 2004	52,0
*2	17-18 de novembro de 2004	89,0
*3	6-7 de dezembro de 2004	86,4
*4	10-11 de dezembro de 2004	60,0
*5	19-20 de dezembro de 2004	68,4
*6	26 de dezembro de 2004	32,2
**7	4-5 de janeiro de 2005	91,0
*8	6-7 de janeiro de 2005	43,6
*9	16-17 de janeiro de 2005	53,6
*10	19 de janeiro de 2005	45,2
*11	25-26 de janeiro de 2005	50,8
**12	27-28 de janeiro de 2005	88,2
*13	29-30 de janeiro de 2005	58,2
*14	26 de fevereiro de 2005	27,8
*15	17-18 de março de 2005	26,4

* Eventos observados de 5 em 5 minutos durante 24 h
** Eventos observados de 5 em 5 minutos durante 48 h

a) Parâmetros do módulo Bacia: Io, Ib, h, R_{max}, Aimp, Ks, Kb e XN, sendo os parâmetros Ks e XN utilizados na propagação do escoamento superficial (método Clark).

Io é a capacidade de infiltração quando a umidade é So, ou seja, o estado de umidade do solo quando inicia a percolação. No caso do modelo IPH II adota-se So = 0 (TUCCI, 1998). Para o presente trabalho, adotou-se Io = 203,2 mm/h (Tabela 6).

Ib é a capacidade de infiltração quando o solo está saturado e foi utilizado Ib = 12,7 mm/h (Tabela 6).

Cada tipo de solo representa diferente capacidade de produzir escoamento superficial, infiltração e permeabilidade, como os solos A, B, C e D (Tabela 7).

Tabela 6: Parâmetros da equação de Horton, utilizada pelo modelo IPH II.

* Tipo de solo	Io (mm/h)	Ib (mm/h)	k(s^{-1}) (10^{-3})		
			I	II	III
A	254,0	25,4	0,055 – 0,289	0,134 – 0,66	0,31 – 1,64
B	203,2	12,7	0,16 – 0,43	0,36 – 0,98	0,82 – 2,64
C	127,0	6,35	0,14 – 0,42	0,40 – 1,012	1,01 – 2,59
D	76,2	2,54	0,15 – 0,69	0,36 – 0,81	0,91 – 2,44

Umidade antecedente: I – 0 < P < 12,7 mm; II – 12,7 < P , 27,94 mm; III – P > 27,94 mm, onde P é a precipitação em mm.

* Tipos de solos definidos pelo Soil Conservation Service.

Fonte: (FITCH et al., 1976 apud TUCCI,1998).

Tabela 7: Tipos de solo de acordo com sua capacidade de escoamento superficial e infiltração.

Tipo de solo	Descrição
A	Solos de baixo escoamento superficial e alta infiltração; solos arenosos profundos com pouco silte e argila
B	Solos menos permeáveis do que o anterior; solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média
C	Solos que geram escoamento superior acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo parcela percentual de argila e pouco profundo
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundas com baixa capacidade de infiltração e maior proporção de escoamento superficial

Fonte: TUCCI, 2001

No caso da bacia do córrego do Mineirinho o solo utilizado foi o tipo de solo B (Tabela 7), por ser o mais próximo da realidade observada e conforme relatado por (Oliveira et al., 1982).

h = e^{-k} e **k** é um parâmetro que caracteriza o decaimento da curva exponencial de infiltração e depende das características do solo (TUCCI,

1998). Para o presente trabalho, foi obtida a média para a situação I (Tabela 6) onde adotou-se k = 0,09 (Δt = 5 min). Portanto h = 0,91.

Ks e **Kb** são respectivamente o tempo de retardo do escoamento superficial e o tempo de escoamento subterrâneo e foram utilizados os Ks e Kb médios (horas) observados por Souza e Mendiondo, (2005), durante aplicação em sub-bacias no município de São Carlos, SP (Tabela 8). Onde Ks = 3,1 h e Kb = 22,8 h.

Tabela 8: Valores de Ks e Kb

EVENTOS	Ks (min)	Kb (min)
EV -09/10/03	131,57	588,23
EV -11/10/03	128,20	588,23
EV -30/10/03	121,95	454,54
EV -06/11/03	333,33	2000,00
EV -13/11/03	208,33	1111,11
EV -17/11/03	151,51	1666,66
EV -01/12/03	136,98	3333,33
EV -04/12/03	142,85	1250,00
EV -09/12/03	163,93	1000,00
EV -20/12/03	95,23	3333,33
EV -22/12/03	256,41	2000,00
EV -23/12/03	384,61	1428,57
EV -31/12/03	156,25	588,23
EV -07/1/04	243,90	1000,00
EV -23/1/04	80,00	909,09
EV -28/1/04	142,85	384,61
EV -30/1/04	250,00	1666,66
MÉDIA	**183,99**	**1370,74**

Fonte: adaptado de SOUZA e MENDIONDO, 2005.

Aimp é a porcentagem de área impermeável na bacia. No presente estudo considerou-se como áreas permeáveis as que apresentam com cobertura vegetal (gramíneas/ pastagens, campo úmido, cultivos agrícolas e fragmentos florestais nativos e plantados).

R_{max} é a capacidade de retenção máxima da precipitação, varia de acordo com as características da bacia hidrográfica. Bacias com vegetação, com grande capacidade de retenção de precipitação devem ter valores altos de R_{max}. Crawford e Linsley (1996) apresentaram valores para a retenção em

razão da interceptação vegetal (Tabela 9). O R_{max} de cada sub-bacia foi calculado por meio de médias ponderadas das áreas impermeáveis.

Tabela 9: Valores do parâmetro R_{max}

Cobertura	Capacidade de Retenção Máxima (R_{max}) (mm)
Campo, prado	2,5
Floresta ou mata	3,75
Floresta ou mata densa	5,00

Fonte: adaptado de Crawford e Linsley (1996).

XN é a forma do histograma Tempo – Área, estimado conforme a Figura 17 (IPH-UFRGS-2004).

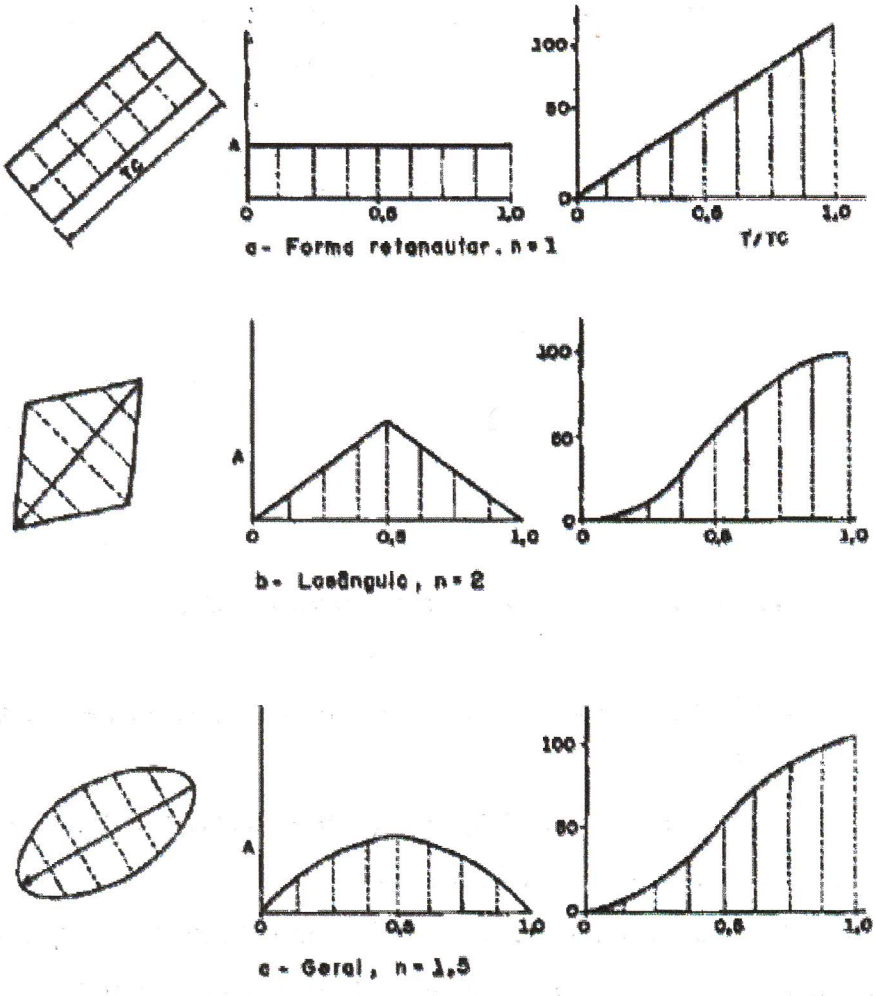

Figura 17: Forma do histograma tempo-área para diferentes valores do parâmetro XN
Fonte: IPH-UFRGS-2004

O tempo de concentração (t_c), necessário para determinar o Histograma tempo – área (HTA), de cada sub-bacia é calculado pelo próprio modelo que utiliza a equação de Kirpish:

$$t_c = 57.(\frac{L^3}{H})^{0,385} \qquad (5)$$

Onde:

L é o comprimento do talvegue (km)

H é o desnível da sub-bacia (m)

b) Parâmetros do módulo Rio: largura (l) e altura do canal (a), as cotas máximas (c_{max}), mínimas (c_{min}) e comprimento dos trechos d'água (c) dos trechos de córrego nas sub-bacias e a rugosidade de Manning (n).

A largura e altura do canal e foram obtidas em campo por meio de medições com trenas e níveis (Figura 18 e Figura 19).

Figura 18 e 19: Medição de altura e largura dos exutórios das sub-bacias.

c_{max}, c_{min} e c foram obtidos de forma similar ao descrito nas cotas das sub-bacias (item 4.2.3)

"**n**" é a rugosidade de Manning e foi estabelecida em função das relatadas por Crawford e Linsley (1996) (Tabela 10).

Nos cenários pré-urbanização (1972) foi determinado "n" = 0,20; no cenário atual (2000) "n" = 0,10 devido è diminuição da vegetação; no cenário

2025 sem Plano Diretor foi utilizado"n" = 0,05; e, por fim, no cenário 2025 com Plano Diretor foi utilizado "n" = 0,30 devido o aumento da vegetação ciliar.

Tabela 10: Valores de rugosidade de Manning para o canal.

Cobertura da bacia	n
Asfalto suave	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila Compacta	0,030
Pouca vegetação	0,200
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

Fonte: adaptado de Crawford e Linsley (1996).

4.6 Curvas de Permanência

Souza e Mendiondo (2005) relatam que as curvas de permanência podem ser consideradas como uma tradicional função hidrológica e por isso, as vazões delas extraídas têm um enfoque hidrológico. Os mesmos autores comentam que a curva de permanência fornece a porcentagem de tempo que uma dada vazão é igualada num período histórico definido.

Para avaliação dos riscos de enchente à jusante do córrego do Mineirinho, utilizou-se o método de curvas de permanência (VILELA e MATTOS, 1975), que consiste em ordenar de forma decrescente as vazões obtidas.

Assim, por meio do ordenamento decrescente das vazões obtidas nas simulações, para os dados observados de 5 em 5 minutos para os 15 eventos simulados, foram geradas curvas de permanência. Dessa forma, foi possível avaliar a probabilidade de ocorrência de inundações durante os eventos, conforme proposto por Mendiondo (2005).