

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

**Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do
Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos
Estados Unidos**

ADERSON SARTORI

Campinas, SP
2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do
Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos
Estados Unidos

ADERSON SARTORI

Orientador: Prof. Dr. ABEL MAIA GENOVEZ

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Campinas, SP
2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sartori, Aderson
Sa77a Avaliação da classificação hidrológica do solo para a
determinação do excesso de chuva do método do serviço
de conservação do solo dos Estados Unidos / Aderson
Sartori. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Abel Maia Genovez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Infiltração. 2. Escoamento. 3. Solos- Conservação.
4. Hidrologia. I. Genovez, Abel Maia. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do
Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos
Estados Unidos

ADERSON SARTORI

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Abel Maia Genovez
Presidente e Orientador/FEC-UNICAMP

Prof. Dr. Valter Hernandez
FEC-UNICAMP

Prof. Dr. Francisco Lombardi Neto
IAC

Campinas, 20 de fevereiro de 2004.

Aos meus pais, João Elias e Ana Maria pelo
exemplo e dedicação,
a minha irmã pelo apoio recebido,
Dedico.

Agradecimentos

A Deus, pela vida com saúde.

Ao Dr. Abel Maia Genovez, pela amizade, apoio e orientação.

Ao Dr. Francisco Lombardi Neto, pela amizade, apoio e colaboração.

Ao Eng. Paulino Naoki Kamachi, pelo emprego e oportunidade de estudar.

Aos engenheiros Luiz Roberto Moretti, Cecília Cristina Jorge de Carvalho e Gré de Araújo Lobo, do Departamento de Águas e Energia Elétrica, pela colaboração com os dados hidrológicos.

Aos colegas de trabalho pelo apoio moral e incentivo.

Aos colegas da Unicamp pela amizade e auxílio no dia a dia da universidade.

Aos meus pais, João Elias e Ana Maria pelos esforços realizados para minha formação humana e profissional.

A minha irmã Débora pela ajuda com as tarefas do dia a dia.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Tabelas	ix
Lista de Figuras	xii
Lista de Abreviaturas e Símbolos	xviii
Resumo.....	xxiii
1 - Introdução	1
1.1. - Objetivos.....	4
2 - Revisão Bibliográfica	5
2.1. - escoamento Superficial	5
2.1.1. - O hidrograma e suas características	6
2.1.2. - Separação dos escoamentos	8
2.1.3. - O hidrograma unitário	11
2.1.4. - Obtenção do hidrograma unitário a partir de precipitações isoladas	12
2.1.5. - Hidrograma unitário representativo da bacia	18
2.2. - Modelo Chuva-Vazão do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos ...	19
2.2.1. - Método do número da curva de escoamento superficial ou método do CN	19
2.2.1.1 - Classificação hidrológica do solo	26
2.2.2. - Hidrograma unitário adimensional do SCS	40
2.2.3. - Procedimento para se obter o hietograma da chuva excedente e o hidrograma de projeto	44
2.3. - Métodos para determinar o CN a partir de dados de campo	47
2.3.1. - Método “P/S > 0,46” proposto por Hawkins et al. (1985)	49
2.3.2. - Metodologia proposta por Hjelmfelt (1991)	54

2.3.3. - Otimização utilizada por Silva (1996)	56
3 - Material e Método.....	58
3.1. - Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins.....	58
3.2. - Mapa topográfico.....	60
3.3. - Mapa de solos.....	61
3.4. - Mapa de uso ou cobertura da terra.....	65
3.5. - Dados hidrológicos.....	66
3.6. - Dados de precipitação e escoamento proveniente de sistemas coletores.....	67
3.7. - Características físicas da bacia.....	69
3.8. - Determinação do hidrograma de escoamento superficial, hietograma da chuva observada, chuva total excedente e o hidrograma unitário médio.....	70
3.9. - Aplicação do método do SCS com as diferentes classificações hidrológicas do solo	72
3.10. - Determinação do CN a partir de dados de campo	73
4 - Resultados e discussão	74
4.1 - Hidrograma unitário médio observado	74
4.2 - Composição do CN médio	80
4.3 - Simulações do escoamento superficial	89
4.4 - Comparação dos hidrogramas unitários do SCS com o hidrograma unitário médio observado.....	98
4.5 - Precipitações totais excedentes calculadas a partir das precipitações observadas	101
4.6 - CN obtido a partir de dados de campo.....	103
5 – Conclusão e Recomendação	112
Anexo A: Características dos Hidrogramas de Escoamento Superficial Obtidos nas Simulações A, B, C, D, E e F	114
Anexo B: Hidrogramas Calculados na Simulação F e Observados.....	118
Anexo C: Curvas de escoamento superficial, CN, para diversos tipos de cobertura e manejo agrícola	124
Anexo D: Classificação Hidrológica do Solo e tabela do CN para usos agrícolas	147
Bibliografia	155
Abstract	161

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 : Limites propostos por Sherman para a duração unitária da precipitação excedente.....	16
Tabela 2.2 : Limites da precipitação para a estimativa das condições de umidade antecedente.....	25
Tabela 2.3 : Taxas mínimas de infiltração utilizadas para identificar o grupo hidrológico dos solos.....	28
Tabela 2.4a : Número da curva de escoamento para campos áridos e semiáridos dos EUA ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente).....	28
Tabela 2.4b : Número da curva de escoamento para terras agrícolas cultivadas ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente).....	29
Tabela 2.4c : Número da curva de escoamento para áreas urbanas ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente).....	30
Tabela 2.4d : Número da curva de escoamento para outros usos agrícolas ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente).....	31
Tabela 2.5 : Correspondência entre os números da curva de escoamento para as três condições de umidade antecedente.....	32
Tabela 2.6 : Grupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência e erosão.....	35
Tabela 2.7 : Composição porcentual proposta para os diferentes grupos de solos em cada um dos litotipos ocorrentes na bacia do Alto Tietê.....	36
Tabela 2.8 : Infiltração média de água nos horizontes A, E e B, e a espessura do horizonte A	38
Tabela 2.9 : Velocidade básica de infiltração (VIB) em mm/h para os diferentes tipos de solos e métodos.....	39

Tabela 2.10	: Relações para o cálculo do hidrograma curvilíneo do SCS e de sua curva de massa.....	40
Tabela 2.11	: Probabilidade do escoamento para P/S	51
Tabela 2.12	: Volume relativo da precipitação.....	52
Tabela 3.1	: Nome das cartas do IGC utilizadas.....	60
Tabela 3.2	: Correspondência entre a nomenclatura anteriormente utilizada pela Comissão de Solos e Semidetalhados e a nomenclatura do atual SBCS (Embrapa, 1999).....	63
Tabela 3.3	: Coordenadas Geográficas e UTM dos postos de monitoramento hidrológico	66
Tabela 3.4	: Coeficiente de redução de vazão do vertedor.....	67
Tabela 3.5	: Principais características físicas da MHRM.....	70
Tabela 4.1	: Características dos hidrogramas observados.....	75
Tabela 4.2	: Classificação das unidades de solo levantadas no mapa semidetalhado.....	83
Tabela 4.3	: Classificação das unidades de solo levantadas no mapa detalhado.....	84
Tabela 4.4	: Composição do CN para a associação de mais de uma unidade taxonômica simples adotando a condição hidrológica média para as unidades de solos do levantamento na escala semidetalhada 1:100.000.....	85
Tabela 4.5	: Composição do CN para a condição II de umidade antecedente segundo a classificação de Lombardi Neto et al. (1989) adotando condições hidrológicas médias e o mapa de solo na escala semidetalhada.....	87
Tabela 4.6	: Relação entre as características dos hidrogramas unitários do SCS com o hidrograma unitário médio observado na Microbacia do Ribeirão dos Marins.....	98
Tabela 4.7	: Precipitações totais excedentes observadas e simuladas aplicando o método do CN com as diferentes classificações.....	102
Tabela 4.8	: CN obtido com o algoritmo usado por Silva (1996) para os dados do complexo hidrológico descoberto de Campinas.....	103
Tabela 4.9	: Resultados obtidos das análises dos dados das estações experimentais do IAC com a metodologia de Hawkins et al. (1985), otimização adaptada de Silva (1996) e pela média.....	105
Tabela A1	: Resultados da Simulação A.....	115
Tabela A2	: Resultados da Simulação B.....	115
Tabela A3	: Resultados da Simulação C.....	116
Tabela A4	: Resultados da Simulação D.....	116
Tabela A5	: Resultados da Simulação E.....	117

Tabela A6	: Resultados da Simulação F.....	117
Tabela D1	: Classificação hidrológica do solo para as condições brasileiras.....	148
Tabela D2	: Enquadramento das atuais classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo.....	149
Tabela D3	: Correspondência entre os grupos hidrológicos do solo com as nomenclaturas antiga e atual utilizada em levantamentos pedológicos para perfis representativos dos grandes grupos encontrados no Estado de São Paulo.....	150
Tabela D4	: Número da curva de escoamento superficial para usos agrícolas ($I_a = 0,2.S$, condição II de umidade antecedente e condição hidrológica superficial média).....	153

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 : Características do hidrograma.....	7
Figura 2.2 : Separação dos escoamentos superficial e básico.....	9
Figura 2.3 : Representação da integral do volume do escoamento superficial.....	14
Figura 2.4 : Determinação da duração da chuva unitária.....	15
Figura 2.5 : Determinação da curva-S a partir do hidrograma unitário.....	17
Figura 2.6 : Determinação de um hidrograma unitário pelo método da curva-S.....	17
Figura 2.7 : Separação da chuva do escoamento direto (Q), perda inicial (I_a) e retenção efetiva (F).....	20
Figura 2.8 : Diagrama esquemático da curva de massa da relação entre a precipitação (P), escoamento direto (Q), perda inicial (I_a) e retenção efetiva (F).....	21
Figura 2.9 : Gráfico para obtenção do volume de escoamento superficial em função da precipitação e do número da curva de escoamento superficial ($I_a = 0,2 \times S$ e Condição II de umidade antecedente).....	24
Figura 2.10 : Curva esquemática das taxas de infiltração relativas dos grupos hidrológicos do solo.....	27
Figura 2.11 : Hidrograma Unitário Curvilíneo Adimensional e o Hidrograma Unitário Triangular Equivalente.....	41
Figura 2.12 : Relações padronizadas entre precipitação e escoamento sobre o armazenamento potencial padrão para a AMC II.....	50
Figura 3.1 : Localização da Bacia do Ribeirão dos Marins.....	59
Figura 3.2 : Topografia e delimitação da área da MHRM.....	61
Figura 3.3 : Mapa de solos Semidetalhado da MHRM.....	62
Figura 3.4 : Mapa de solos detalhado da MHRM.....	64

Figura 3.5	: Mapa de cobertura da terra.....	65
Figura 4.1	: Obtenção do HU de 30 minutos.....	76
Figura 4.2	: Obtenção do HU de 45 minutos.....	76
Figura 4.3	: Obtenção do HU de 105 minutos.....	77
Figura 4.4	: Determinação do HU de 15 minutos a partir da curva-S de 30 minutos.....	78
Figura 4.5	: Determinação do HU de 15 minutos a partir da curva-S de 45 minutos.....	78
Figura 4.6	: Determinação do HU de 15 minutos a partir da curva-S de 105 minutos.....	79
Figura 4.7	: Obtenção do HU médio observado de 15 minutos.....	79
Figura 4.8	: Simulação A. Evento 03 - hidrogramas simulados e observado.....	92
Figura 4.9	: Simulação B. Evento 03 - hidrogramas simulados e observado.....	92
Figura 4.10	: Simulação A. Evento 10 - hidrogramas simulados e observado.....	93
Figura 4.11	: Simulação B. Evento 10 - hidrogramas simulados e observado.....	93
Figura 4.12	: Comparação entre os hidrogramas unitários do SCS definidos para $t_c = 1,88$ horas com o HU médio observado para D igual a 15 minutos.....	99
Figura 4.13	: Comparação entre os hidrogramas unitários do SCS definidos para $t_c = 2,62$ horas com o HU médio observado para D igual a 15 minutos.....	99
Figura 4.14	: Comparação entre o HU médio observado e os HU's do SCS definidos a partir do tempo de pico do HU médio observado.....	101
Figura 4.15	: CN determinado com aplicação da metodologia de Hawkins et al. (1985) aos eventos do complexo descoberto, de Campinas. Período de dados 1979 a 1985.....	108
Figura 4.16	: CN determinado com aplicação da otimização adaptada de Silva (1996) aos eventos do complexo descoberto, de Campinas. Período de dados 1979 a 1985.....	109
Figura 4.17	: Curvas do CN para a MHRM, estimadas com as diferentes classificações hidrológicas, e com a metodologia de Hawkins et al. (1985) e da otimização adaptada de Silva (1996).....	109
Figura B1	: Evento 1 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 3/1/1999	119
Figura B2	: Evento 2 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 13/1/1999.....	119
Figura B3	: Evento 3 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 15/1/1999.....	119
Figura B4	: Evento 4 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 2/2/1999.....	119
Figura B5	: Evento 5 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 12/2/1999.....	120

Figura B6	: Evento 6 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 25/2/1999.....	120
Figura B7	: Evento 7 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 1/3/1999.....	120
Figura B8	: Evento 8 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 11/3/1999.....	120
Figura B9	: Evento 9 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 13/12/1999.....	121
Figura B10	: Evento 10 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 7/1/2000.....	121
Figura B11	: Evento 11 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 15/9/2000.....	121
Figura B12	: Evento 12 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 27/12/2000.....	121
Figura B13	: Evento 13 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 25/1/2001.....	122
Figura B14	: Evento 14 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 29/1/2001.....	122
Figura B15	: Evento 15a – Hidrogramas Simulados e Observado dia 10/3/2001.....	122
Figura B16	: Evento 15b – Hidrogramas Simulados e Observado dia 10/3/2001.....	122
Figura B17	: Evento 16 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 29/11/2001.....	123
Figura B18	: Evento 17 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 9/1/2002.....	123
Figura B19	: Evento 18 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 1/2/2002.....	123
Figura B20	: Evento 19 – Hidrogramas Simulados e Observado dia 9/2/2002.....	123
Figura C1a	: CN determinado para solo sem cultura, com 250 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	125
Figura C1b	: CN determinado para solo sem cultura, com 250 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	125
Figura C2a	: CN determinado para solo sem cultura, com 8000 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	126
Figura C2b	: CN determinado para solo sem cultura, com 8000 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	126
Figura C3a	: CN determinado para cultura do milho, preparo convencional e cultivos mecânicos. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	127
Figura C3b	: CN determinado para cultura do milho, preparo convencional e cultivos mecânicos. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	127
Figura C4a	: CN determinado para cultura do milho, plantio direto. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)...	128

Figura C4b	:CN determinado para cultura do milho, plantio direto. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)....	128
Figura C5a	:CN determinado para cultura do milho, preparo com grade pesada e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	129
Figura C5b	:CN determinado para cultura do milho, preparo com grade pesada e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	129
Figura C6a	:CN determinado para cultura do milho, plantio direto e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	130
Figura C6b	:CN determinado para cultura do milho, plantio direto e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	130
Figura C7a	:CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais queimados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	131
Figura C7b	:CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais queimados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	131
Figura C8a	:CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	132
Figura C8b	:CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	132
Figura C9a	:CN determinado para cultura do milho, plantio em contorno com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	133
Figura C9b	:CN determinado para cultura do milho, plantio em contorno com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	133
Figura C10a	:CN determinado para cultura do milho, plantio em contorno com restos culturais na superfície. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	134
Figura C10b	:CN determinado para cultura do milho, plantio em contorno com restos culturais na superfície. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	134
Figura C11a	:CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados/trigo convencional plantio morro abaixo, com restos	

incorporados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	135
Figura C11b : CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados/trigo convencional plantio morro abaixo, com restos incorporados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	135
Figura C12a : CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados/trigo convencional plantio morro abaixo, com restos queimados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	136
Figura C12b : CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados/trigo convencional plantio morro abaixo, com restos queimados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	136
Figura C13a : CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos na superfície/trigo plantio direto morro abaixo, com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	137
Figura C13b : CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos na superfície/trigo plantio direto morro abaixo, com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	137
Figura C14a : CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos incorporados/trigo convencional plantio morro abaixo com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	138
Figura C14b : CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos incorporados/trigo convencional plantio morro abaixo com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996).....	138
Figura C15a : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 1.º ano. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	139
Figura C15b : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 1.º ano. Otimização adaptada de Silva (1996).....	139
Figura C16a : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 2.º e 3.º anos. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	140
Figura C16b : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 2.º e 3.º anos. Otimização adaptada de Silva (1996).....	140
Figura C17a : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do período. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	141

Figura C17b : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do período. Otimização adaptada de Silva (1996).....	141
Figura C18a : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 1.º ano. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	142
Figura C18b : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 1.º ano. Otimização adaptada de Silva (1996).....	142
Figura C19a : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 2.º, 3.º etc ... anos. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	143
Figura C19b : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 2.º, 3.º etc ... anos. Otimização adaptada de Silva (1996).....	143
Figura C20a : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do período. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	144
Figura C20b : CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do período. Otimização adaptada de Silva (1996).....	144
Figura C21a : CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	145
Figura C21b : CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Campinas. Dados do período. Otimização adaptada de Silva (1996).....	145
Figura C22a : CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Mococa. Metodologia de Hawkins et al. (1985).....	146
Figura C22b : CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Mococa. Dados do período. Otimização adaptada de Silva (1996).....	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<i>A</i>	: área da bacia de drenagem
<i>A-E-Bt-C</i> ou <i>A-Bt-C</i>	: seqüência de horizontes num perfil de solo, característico de algumas classes
<i>AMC</i>	: condição de umidade antecedente
<i>AMC I</i>	: condição I de umidade antecedente
<i>AMC II</i>	: condição II de umidade antecedente
<i>AMC III</i>	: condição III de umidade antecedente
<i>C</i>	: curva de nível
<i>C&T</i>	: curva de nível e terraceamento
<i>C&T+CR</i>	: curva de nível e terraceamento com resíduo de colheita
<i>C+CR</i>	: curva de nível com resíduo de colheita
<i>Ca</i>	: culturas anuais
<i>CN</i>	: número da curva de escoamento superficial para a condição II de umidade antecedente
<i>CN_I</i>	: número da curva de escoamento superficial para a condição I de umidade antecedente
<i>CN_{III}</i>	: número da curva de escoamento superficial para a condição III de umidade antecedente
<i>Cp</i>	: culturas perenes
<i>CR</i>	: cobertura com resíduo de colheitas
<i>Ct</i>	: culturas temporárias
<i>CTH</i>	: Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo
<i>D</i>	: duração da chuva excedente para se obter o hidrograma unitário para uma bacia qualquer
<i>DAEE</i>	: Departamento de Águas e Energia Elétrica
Δq	: diferença entre vazões do método da Curva-S
dq/dt	: taxa de variação da vazão com o tempo
dt	: intervalo de tempo infinitesimal
Δt	: intervalo de tempo discretizado
<i>e</i>	: base do logaritmo neperiano
<i>Embrapa</i>	: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

F	: retenção efetiva ou diferença potencial real entre a precipitação e a precipitação excedente
f	: coeficiente de redução de vazão
$F(\dots)$: função objetivo
H	: diferença de cotas entre o ponto mais afastado da bacia e o exutório
H_j	: cota do nível d'água a jusante do vertedor
H_m	: cota do nível d'água a montante do vertedor
HU	: hidrograma unitário
HUC-SCS	: hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS
HUT-SCS	: hidrograma unitário triangular adimensional do SCS
I	: intensidade pluviométrica
I_a	: abstração inicial ou perdas iniciais
IAC	: Instituto Agrônomo de Campinas
IGC	: Instituto Geográfico e Cartográfico
I_m	: intensidade pluviométrica média na bacia
k	: constante da curva de depleção
K	: constante adotada pelo SCS para o cálculo da vazão de pico
K_c	: coeficiente de compacidade da bacia
λ	: constante de proporcionalidade da abstração inicial em relação a retenção potencial máxima
L	: comprimento do talvegue principal da bacia
\ln	: logaritmo neperiano
MC	: meridiano central
MHRM	: Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins (área de estudo)
N	: número de dados
N^*	: plantio em nível ou contorno
NRCS	: Serviço de Conservação dos Recursos Naturais
P	: Precipitação
P_b	: perímetro da bacia
pC Afm	: Grupo dos Filitos
pC Agg	: Grupo das Intrusões Graníticas
pC Amg	: Grupo dos Migmatitos e Gnaisses
pC Amx	: Grupo dos Micaxistos
Q	: precipitação excedente, chuva excedente ou excesso de chuva, ou volume de escoamento superficial
q ou $q(t)$: vazão no tempo t
q_0	: vazão no tempo t_0
Qa	: Grupo dos Sedimentos Aluvionares
Q_a	: volume acumulado do hidrograma unitário adimensional curvilíneo do SCS
Q_{cal}	: precipitação excedente calculada
Q_{LOM}	: precipitação total excedente determinada com a classificação de Lombardi Neto et al. (1989)

Q_{obs}	: precipitação excedente observada
q_p	: vazão de pico
q_{pcal}	: vazão de pico calculada
q_{pHU}	: vazão de pico do hidrograma unitário médio observado
q_{pobs}	: vazão de pico observada
q_{pSCS}	: vazão de pico do hidrograma unitário de SCS
Q_{SCS}	: precipitação total excedente determinada com a classificação hidrológica do SCS
R^2	: coeficiente de determinação
RCI	: resíduo cultural incorporado
RCS	: resíduo cultural na superfície
RCSI	: resíduo cultural semi-incorporado
Σ	: somatório
S	: diferença potencial máxima entre a precipitação e a precipitação excedente; retenção potencial máxima para a condição II de umidade antecedente
s	: submergência
S'	: declividade do talvegue principal
S_2	: declividade equivalente do talvegue principal
S_{cal}	: retenção potencial máxima calculada
SCS	: Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América
S_I	: diferença potencial máxima entre a precipitação e a precipitação excedente; retenção potencial máxima para a condição I de umidade antecedente
S_{III}	: diferença potencial máxima entre a precipitação e a precipitação excedente; retenção potencial máxima para a condição III de umidade antecedente
S_m	: declividade média da bacia
SR	: linha reta
SR+CR	: linha reta com resíduo de colheita
SRC	: sem resíduo cultural
t	: tempo
t_0	: tempo em que cessa o escoamento superficial
t_b	: tempo de base
t_{bcal}	: tempo de base calculado
t_{bHU}	: tempo de base do hidrograma unitário médio observado
t_{bHUC}	: tempo de base do hidrograma unitário curvilíneo do SCS
t_{bHUT}	: tempo de base do hidrograma unitário triangular do SCS
t_{bobs}	: tempo de base observado
t_c	: tempo de concentração
t_l	: tempo de retardamento
t_o	: duração da chuva unitária para se obter o hidrograma unitário pelo método da Curva-S
t_p	: tempo de pico

t_{pcal}	: tempo de pico calculado
t_{pHU}	: tempo de pico do hidrograma unitário médio observado
t_{pobs}	: tempo de pico observado
t_{pSCS}	: tempo de pico do hidrograma unitário do SCS
TQa	: Grupo dos Sedimentos Terciários
t_r	: tempo de recessão
$U(t)$: ordenada do hidrograma unitário no tempo t
USBR	: U. S. Bureau of Reclamation
USDA	: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América
UTM	: Projeção Universal Transversa de Mercator (Satélite Sad-69)
V_{TES}	: volume total escoado superficialmente
V_{TEScal}	: volume total escoado superficialmente calculado
V_{TESobs}	: volume total escoado superficialmente observado
\int	: integral

RESUMO

O conhecimento do volume e distribuição do escoamento superficial é fundamental para auxiliar na tomada de decisão direcionada para o controle da erosão rural e urbana, controle das inundações e projetos de engenharia hidráulica ou relacionada ao planejamento dos recursos hídricos. O método do Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), atualmente Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS), permite estimar a parcela da precipitação que resulta no escoamento superficial e também seu volume e distribuição no tempo. Ele tem como principal variável o número da curva de escoamento superficial (*CN*) que é estimado com base nas informações do solo e cobertura da terra. Neste trabalho foram analisadas e comparadas às classificações hidrológicas do solo usando a classificação do SCS, baseada nos solos dos Estados Unidos, e uma classificação baseada nas características dos solos brasileiros, proposta por Lombardi Neto et al (1989). Os hidrogramas de escoamento superficial e as precipitações excedentes, obtidos da aplicação do método do SCS com as duas classificações hidrológicas do solo, foram comparados com os observados. Esse procedimento foi aplicado a 20 eventos (hidrogramas de escoamento superficial e suas correspondentes precipitações) observados na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins, Piracicaba, São Paulo, Brasil, com área de 21,87 km². Das comparações efetuadas observou-se que os resultados obtidos com a classificação baseada nas características dos solos brasileiros foram condizentes com a realidade, enquanto que os obtidos com a classificação do SCS foram subestimados em 90 % dos eventos. Como uma complementação, determinou-se também o *CN* para algumas culturas sob diferentes tipos de manejo agrícola para duas unidades de solos, ambas de textura argilosa. O *CN* foi obtido aplicando duas metodologias, a de Hawkins et al. (1985) e a da otimização adaptada de Silva (1996). A metodologia de Hawkins et al. (1985) não apresentou bons resultados quando o efeito do manejo

proporciona uma melhora das condições de infiltração enquanto que os obtidos com a otimização adaptada de Silva (1996) representaram a tendência média dos dados e as melhoras proporcionadas pelo manejo. Verificou-se também que os resultados obtidos com a otimização adaptada de Silva (1996) foram coerentes com aqueles dados em tabelas padronizadas do *CN* para os grupos hidrológicos do solo A e B, deixando claro que os solos analisados têm comportamento diferenciado daqueles para onde o método foi desenvolvido. Este trabalho apresenta, também, uma proposta para a classificação hidrológica das unidades de solo representativas do Estado de São Paulo e uma adaptação da tabela do *CN* para usos agrícolas.

1. INTRODUÇÃO

O escoamento superficial é uma das fases do ciclo hidrológico e seu estudo é de grande importância devido ao dimensionamento de obras de engenharia e manejo agrícola. Sua quantificação é uma tarefa complexa e dependente de vários fatores, os quais são agregados a parâmetros ou variáveis em modelos de chuva-vazão.

Os modelos são muito úteis graças, entre outras coisas, a sua flexibilidade em prever comportamentos futuros ocasionados por alterações de ocupação do solo e também num país como o Brasil, pela escassez de dados fluviométricos, principalmente em pequenas bacias as quais se encontram em crescente processo de exploração.

No estudo de enxurradas e/ou enchentes máximas, uma falha na estimativa desses volumes pode acarretar grandes prejuízos. Uma vez superdimensionado tem-se o desperdício de capital e se subdimensionado leva a grandes prejuízos com a falha da estrutura e em muitos casos coloca em risco a saúde ou até vidas humanas. No entanto, o escoamento sempre existiu, mas o homem o desafia, aterram grotas, canalizam córregos, fazem plantios agrícolas sem pensar num manejo adequado, extraem argilas de várzeas ou até mesmo de nascentes para a indústria cerâmica, sem avaliar os efeitos que estas mudanças acarretarão no escoamento. Como consequência aumentam as erosões rurais e surgem as erosões urbanas principalmente em loteamentos, agravam-se as inundações nas cidades e o assoreamento de grotas, córregos, rios e lagos, provocando a morte de nascentes, reduzindo a capacidade dos lagos e diminuindo a capacidade de transporte líquido dos canais intensificando as inundações. Porém isso vem mudando devido à escassez dos recursos hídricos, tornando-se fundamental o conhecimento do volume e distribuição do escoamento que é um parâmetro de entrada na tomada de decisão.

Para tanto, existem vários modelos, mas um mundialmente utilizado na prática da engenharia e com um número razoável de informações disponíveis, é o método do Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), que atualmente chama-se Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS). Inicialmente desenvolvido para uso em áreas agrícolas, atualmente tem sido objeto de estudo, desenvolvimento e aplicação também em áreas urbanas. Este modelo está subdividido em duas partes: 1.^a - estima a partir de informações do tipo, uso e umidade antecedente do solo, o número da curva de escoamento superficial (*CN*) e com este a parcela da precipitação que resultará em escoamento direto, conhecida como precipitação excedente, excesso de precipitação ou precipitação efetiva; 2.^a - estima a distribuição e o volume do escoamento (hidrograma) de uma determinada área de drenagem conhecida a precipitação excedente.

A metodologia original do SCS reúne os solos dos Estados Unidos em quatro grandes grupos, conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo a cada um deles atribuído uma letra, A, B, C e D, nesta mesma ordem, representando o acréscimo do escoamento superficial e conseqüentemente a diminuição da taxa de infiltração de um grupo para outro.

A preocupação em adaptar o método as características dos solos brasileiros teve início em 1979, com a publicação do trabalho de Setzer e Porto (1979), no qual propunham cinco classes hidrológicas do solo para o Estado de São Paulo. Posteriormente em 1989, foi apresentada por Lombardi Neto et al. (1989), usando quatro classes de solos, uma nova abordagem para o enquadramento dos solos, no estudo sobre cálculo de espaçamento entre terraços. Mais recentemente, em 2001, Kutner et al. (2001) apresentaram uma classificação alternativa para a bacia do Alto Tietê com quatro grupos hidrológicos para os diversos litotipos nela ocorrentes.

A classificação de Lombardi Neto et al. (1989) foi embasada em mapas pedológicos existentes para o Estado de São Paulo, os quais são utilizados para identificar e classificar uma área de drenagem segundo o grupo hidrológico do solo, tornando-a mais prática quando comparada com as outras duas, também propostas para o Estado de São Paulo. Essa classificação é muito semelhante no processo de desenvolvimento à elaborada pelo SCS, sendo também baseada nas informações das características dos perfis de solos registrados em mapas

pedológicos, porém a classificação de Lombardi Neto et al. (1989) inclui alguns solos arenosos no grupo D (alto potencial de escoamento) e alguns solos argilosos no grupo A (baixo potencial de escoamento).

Neste trabalho são analisadas as classificações hidrológicas do solo proposta por Lombardi Neto et al. (1989) e a original do SCS, comparando os resultados obtidos da aplicação da metodologia do SCS, utilizando as duas classificações hidrológicas do solo, com dados observados numa microbacia hidrográfica. São também analisadas, duas metodologias para o cálculo do *CN*, permitindo obtê-lo para duas unidades de solo argiloso sob diferentes tipos de manejo agrícola a partir de dados de chuva e enxurrada, medidos diariamente em talhões experimentais.

Este estudo propõe uma tabela com a classificação hidrológica do solo para as unidades de solo representativas do Estado de São Paulo, baseando-se nos trabalhos de Lombardi Neto et al. (1989) e Oliveira (1999a) e outra apresentando uma adaptação da tabela do *CN* dada pelo SCS para usos agrícolas, baseando-se no presente trabalho e nos trabalhos de Silva (1996) e Lombardi Neto (Não publicado).

Para a realização deste estudo foram utilizados dados hidrológicos de uma microbacia hidrográfica e de talhões experimentais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), e também dados de 37 perfis de solo representativos dos grandes grupos encontrados no Estado de São Paulo. A microbacia é dotada de postos de medição de vazão e precipitação, de mapas de solo e de cobertura da terra, a qual está localizada próxima a cidade de Piracicaba, sendo denominada de Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins, com área aproximada de 21,87 km² a montante do posto fluviométrico 4D-006. Dos talhões experimentais do IAC, situados sobre duas unidades de solo argiloso, foram fornecidos pelo Dr. Lombardi Neto dados diários de chuva e enxurrada para diferentes tipos de cultura e manejo do solo, resultados de experimentos realizados pelo IAC em dois locais do Estado de São Paulo, situados no município de Campinas e de Mococa.

1.1. Objetivos

Os objetivos deste estudo são:

- ✓ analisar a classificação hidrológica do solo proposta por Lombardi Neto et al. (1989), comparando-a com a original do método do SCS;
- ✓ comparar o escoamento superficial direto dos hidrogramas medidos e simulados aplicando a metodologia do SCS com as duas classificações hidrológicas do solo, indicadas no item anterior;
- ✓ comparar as vazões de pico observadas e simuladas com os hidrogramas unitário triangular do SCS e unitário médio observado;
- ✓ avaliar a metodologia de cálculo do *CN* e obtê-lo para dois tipos de solo sob diferentes tipos de cobertura e manejo agrícola;
- ✓ propor uma tabela com a classificação hidrológica do solo para as unidades de solos representativas do Estado de São Paulo e também propor uma adaptação da tabela do *CN* para usos agrícolas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica da base conceitual relevante para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente são apresentados alguns conceitos sobre escoamento superficial, hidrograma e hidrograma unitário. Posteriormente é apresentado o modelo chuva-vazão do SCS, mostrando sua formulação e metodologia de cálculo, porém, com maior ênfase à classificação hidrológica do solo. Por fim, encontram-se algumas críticas e metodologias para se determinar o *CN* a partir de dados de campo, resultados de experimentos de alguns pesquisadores.

2.1. ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial ou enxurrada é a parte da água que circula sobre a superfície do solo, escorrendo para as depressões do terreno e canalículos que vão se juntando até formarem os pequenos cursos d'água, os quais conduzem essas águas para os pequenos e grandes rios. Quantitativamente, o escoamento superficial é definido pelo histórico das vazões medidas em determinada seção.

A água que dá origem ao escoamento superficial é proveniente das chuvas e também do degelo da neve em alguns países. Quando a água precipitada excede a capacidade de infiltração do solo, enchendo as pequenas depressões, inicia-se o escoamento superficial.

2.1.1. O hidrograma e suas características

O hidrograma, fluviograma ou hidrógrafa é a seqüência de vazões medidas ao longo de um período de tempo de observação, na seqüência cronológica da ocorrência. A onda de cheia em dada seção representada pelo hidrograma é composta pela superposição de quatro tipos de afluxos:

- a. escoamento superficial: parcela da água de chuva que caminha sobre a superfície do solo até atingir o leito de drenagem. Ele só ocorre quando a precipitação excede a capacidade de infiltração dos solos;
- b. escoamento subsuperficial: parcela da chuva que infiltrou no solo e escoou logo abaixo da superfície do solo, com velocidade bem menor que a do escoamento superficial, e atinge o curso d'água um pouco mais lentamente;
- c. escoamento básico ou subterrâneo: é o escoamento proveniente da contribuição do lençol subterrâneo. Este é influenciado pela infiltração e percolação da água de chuva que contribui para a elevação do nível do lençol, sendo este acréscimo despejado no curso d'água na forma de escoamento básico.
- d. Precipitação direta sobre a calha do rio.

A forma do hidrograma depende de vários fatores, sendo os principais: relevo, cobertura da bacia, duração e distribuição da chuva na área e no tempo, as condições do solo, modificações artificiais no rio e o próprio rio (Tucci, 2000). Num hidrograma pode haver mais de um pico, sendo esses associados à ocorrência de dois ou mais períodos de chuva separados por períodos de pouca ou nenhuma precipitação (Wilken, 1978).

A figura 2.1 mostra, esquematicamente, um hidrograma de cheia. O ramo ascendente representa o andamento da cheia e o ramo descendente a retirada da água armazenada no leito do curso d'água durante o período da cheia. O ponto A representa o início da cheia, ou seja, o início da ascensão das vazões devido à contribuição do escoamento superficial. Este por sua vez continua crescendo, tendo seu cume no ponto E (vazão de pico). A partir deste ponto, ocorre a

recessão do escoamento superficial até encontrar o ponto C, a partir do qual a vazão é apenas alimentada pelo lençol d'água subterrâneo.

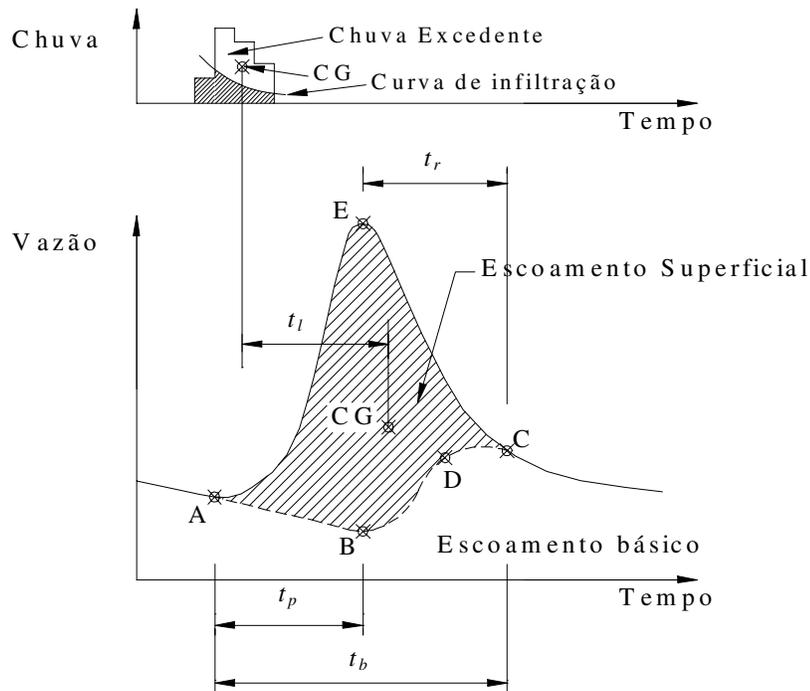


Figura 2.1: Características do hidrograma

Os valores de tempo utilizados para caracterizar o hidrograma são definidos (Fig. 2.1):

- tempo de retardamento t_l : é definido como o intervalo de tempo entre o centro de gravidade da precipitação excedente e o centro de gravidade do hidrograma. Para hidrogramas unitários simplificados, o tempo de retardamento é definido como o tempo entre o centro de gravidade da precipitação excedente e o pico do hidrograma (Pfafstetter, 1976);
- tempo de pico ou de ponta t_p : é o tempo entre o instante em que a vazão começa a crescer (ponto A) até o pico do hidrograma (ponto E) (Pfafstetter, 1976);
- tempo de recessão t_r : é o tempo necessário, após o pico, para cessar o escoamento superficial (Tucci, 2000);
- tempo de base t_b : é o tempo entre o instante em que a vazão começa a crescer (ponto A) e o fim do período de escoamento superficial (ponto C) (Pfafstetter, 1976).

2.1.2. Separação dos escoamentos

Pela dificuldade de se conseguir separar os escoamentos superficial e subsuperficial, e devido a parcela que precipita diretamente sobre o canal ser pequena, costuma-se considerar que o escoamento total do hidrograma é composto de apenas duas contribuições: o escoamento superficial e o escoamento básico (Wilken, 1978). Nessa consideração, o escoamento superficial engloba o escoamento subsuperficial e a contribuição direta da precipitação sobre o canal (Pinto et al., 1976).

A variação de vazão que existe no escoamento subterrâneo é de ordem de grandeza muito menor que a do escoamento superficial (Wilken, 1978). Isso torna evidente que as águas superficiais, pela sua maior velocidade de escoamento, preponderam na formação das enchentes, enquanto que a contribuição subterrânea pouco se altera, em consequência de grandes precipitações (Pinto et al., 1976). Assim, fica claro que as duas grandezas estão sujeitas a leis diferentes, havendo a necessidade de separar essas grandezas de modo que seja possível analisar independentemente o hidrograma de escoamento superficial.

Após o efeito provocado pelo escoamento superficial nas vazões de um rio, estas são mantidas pela contribuição subterrânea. Com o passar dos dias, sem que ocorra precipitação suficiente para a recarga do lençol subterrâneo, o escoamento básico vai diminuindo, segundo uma lei típica. Essa variação logo após as chuvas ou durante estiagens prolongadas recebe o nome de curva de depleção, a qual a partir de sua lei típica pode ser ajustada para um certo número de dados fluviométricos.

A lei típica de ajuste da curva de depleção pode ser deduzida, considerando a hipótese: “a variação com o tempo da vazão do lençol subterrâneo é proporcional à própria vazão do escoamento básico” (Villela e Mattos, 1975). Assim:

$$\frac{dq}{dt} = -k \cdot q \quad (2.1)$$

sendo k uma constante para o particular lençol subterrâneo e q a vazão função do tempo t .

Integrando ambos os termos da equação 2.1, obtém-se:

$$\int_{q_0}^q \frac{dq}{q} = \int_{t_0}^t -k \cdot dt \quad (2.2)$$

$$\ln \frac{q}{q_0} = -k \cdot (t - t_0) \quad (2.3)$$

sendo q_0 é a vazão no ponto C da figura 2.1, e origem da contagem dos tempos ($t = t_0$).

Portanto, a equação da curva de depleção é:

$$\ln q = -k \cdot (t - t_0) + \ln q_0 \quad (2.4)$$

ou

$$q = q_0 \cdot e^{-k \cdot (t - t_0)} \quad (2.5)$$

A figura 2.2 mostra, um método gráfico simples e aceito pela comunidade científica para a separação do escoamento básico do escoamento superficial.

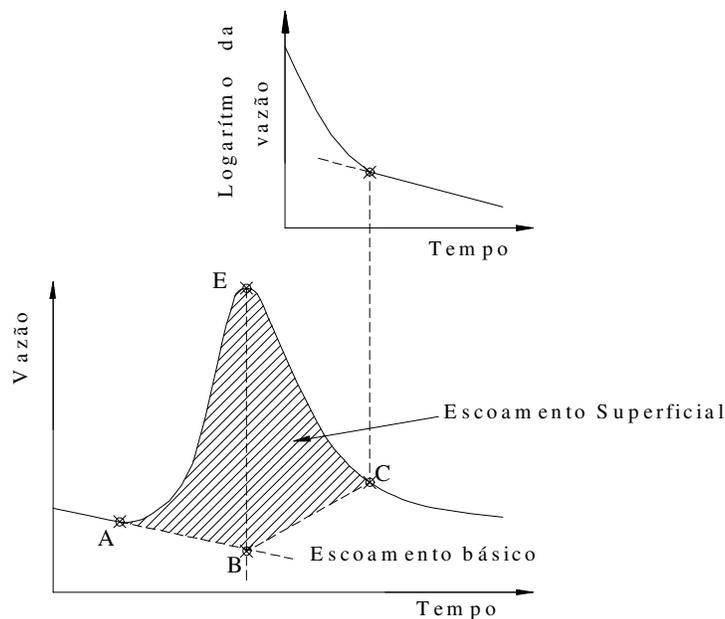


Figura 2.2: Separação dos escoamentos superficial e básico

O procedimento para separar esses dois escoamentos está descrito abaixo (Linsley e Franzini, 1978):

1. A partir do ponto A, prolonga-se à curva de depleção do escoamento anterior até encontrar o ponto B, numa vertical passando pelo pico (ponto E);
2. Traça-se uma reta do ponto B ao ponto C.

A linha ABC define o limite entre o escoamento superficial (acima dela) e subterrâneo (abaixo dela). Para determinar o ponto C, existem vários métodos, sendo os mais utilizados:

- a. Fórmula empírica (Linsley e Franzini, 1978).

$$t_r = 0,8266 \cdot A^{0,2} \quad (2.6)$$

sendo A a área de drenagem da bacia em km^2 e t_r o tempo de recessão em dias.

- b. Curva de depleção ou curva depletiva.

Este método usa a equação 2.4 ou 2.5 para determinar o ponto de término do escoamento superficial (ponto C). Seu procedimento é aceito pela comunidade científica.

Como o escoamento básico segue uma lei exponencial (equação 2.5), a plotagem das vazões numa escala semilogarítmica (vazão na escala logarítmica – ver figura 2.2) tenderá para uma reta. A mudança substancial da declividade da reta de depleção caracteriza o ponto C.

Sempre que houver dúvida quanto ao tempo exato do escoamento superficial, a adoção de valores inferiores proporciona resultados com maior grau de segurança, pois a extensão da base do hidrograma de escoamento superficial tem influência direta nas ordenadas do hidrograma unitário resultante, e um aumento da mesma provoca uma redução nas vazões de ponta do hidrograma unitário (Genovez, 1982).

O procedimento para se determinar a curva de depleção é (McCuen, 1989):

1. Desenharam-se as recessões dos períodos de eventos observados numa escala semilogarítmica (vazões na escala logarítmica) em papel transparente;
2. Num papel semilogarítmico, desenha-se a recessão com os menores valores de vazão;
3. Posiciona-se a recessão desenhada no papel transparente com vazões maiores que a anterior e menores que das recessões restantes, de modo que a curva visível se estenda ao longo de uma reta coincidente com a recessão do primeiro evento desenhado;
4. Continua-se o processo usando sucessivamente as recessões com maiores valores de vazão até que todos os eventos sejam desenhados;
5. Constrói-se a curva de depleção que se estende por meio das recessões dos eventos observados e ajusta-se a equação da depleção (equação 2.4) a ser utilizada para determinar o ponto C para os eventos selecionados. A constante k poderá ser determinada usando dois pontos da curva de depleção, pois na escala semilogarítmica ela representa o coeficiente angular desta curva.

Definido o ponto C, determinar-se o hidrograma de escoamento superficial subtraindo as vazões totais das vazões do escoamento básico definidas pela linha ABC (figura 2.2). A partir do hidrograma de escoamento superficial, pode-se obter o hidrograma unitário e a precipitação excedente. Esta é a parcela da precipitação que não se perdeu por interceptação, armazenamento em depressões e infiltração no solo, transformando-se em escoamento superficial.

2.1.3. O hidrograma unitário

O método do hidrograma unitário, apresentado por Sherman (1932), baseia-se primeiramente em determinadas propriedades do hidrograma de escoamento superficial (Pinto et al., 1976).

O hidrograma unitário é o hidrograma resultante de uma precipitação excedente unitária (1 mm, 1 cm ou 1 pol.) uniformemente distribuída sobre a bacia hidrográfica com intensidade constante durante um período específico de tempo. Assim, o hidrograma unitário terá um volume unitário, ou seja, uma unidade de precipitação excedente vezes a área da bacia de drenagem.

Os três princípios básicos da teoria do hidrograma unitário, definidos por Sherman (1932) se referem às chuvas de intensidades e distribuições constantes, e somente ao escoamento superficial. Estes princípios são (Pinto et al., 1976; Wilken, 1978):

- *Constância do tempo de base.* Numa dada bacia hidrográfica, a duração do escoamento superficial é constante para chuvas de mesma duração.
- *Proporcionalidade das vazões.* Duas chuvas de igual duração, ocorrendo numa mesma bacia, produzindo diferentes volumes de escoamento superficial, resultam em hidrogramas cujas ordenadas em tempos correspondentes, são proporcionais aos volumes escoados.
- *Interdependência dos deflúvios simultâneos.* A distribuição, no tempo, do escoamento superficial de uma determinada precipitação, independe do escoamento provocado por precipitações anteriores.

Pelos princípios enunciados, conclui-se que o hidrograma unitário é uma constante da bacia hidrográfica, o qual reflete as características da mesma na seção considerada.

2.1.4. Obtenção do hidrograma unitário a partir de precipitações isoladas

Primeiramente é necessário reunir registros das precipitações e vazões correspondendo ao mesmo período de tempo, medidos no interior da bacia hidrográfica. Uma orientação para seleção dos dados, é sugerida em forma de critérios por Wilken (1978):

- chuvas que ocorreram individualmente;

- chuvas que tenham distribuição uniforme no tempo, isto é, precipitação uniforme durante o período de excesso da chuva;
- chuvas que tenham distribuição uniforme no espaço.

Segundo o mesmo autor, estas restrições limitam o tamanho da bacia a ser estudada pelo método do hidrograma unitário, chegando num limite superior da ordem de 2.500 km².

A metodologia para se obter o hidrograma unitário pode ser resumida nos seguintes passos:

1º. passo: Calcula-se o volume da água precipitada sobre a bacia

A altura média da precipitação na área da bacia deverá ser obtida pelo método de Thissen ou das Isoietas.

2º. passo: Separa-se os escoamentos

Conforme descrito no item 2.1.2.

3º. passo: Calcula-se o volume total escoado superficialmente

Após a separação dos escoamentos, a área sob a curva que define o hidrograma de escoamento superficial, representa o volume total do escoamento superficial. Matematicamente:

$$V_{TES} = \int_{t=0}^{t_b} q(t) \cdot dt \quad (2.7)$$

sendo V_{TES} o volume total escoado superficialmente, $q(t)$ a ordenada do hidrograma no tempo t , como pode ser observado na figura 2.3.

Essa integral pode ser discretizada, forma na qual é usada para o cálculo do volume total escoado superficialmente:

$$V_{TES} = \sum_{t=0}^{t_b} q(t) \cdot \Delta t \quad (2.8)$$

sendo Δt o intervalo de tempo discretizado.

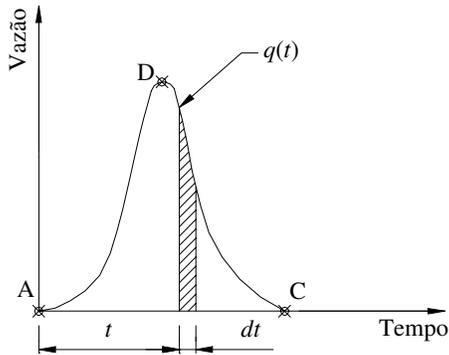


Figura 2.3: Representação da integral do volume do escoamento superficial

4º. passo: Determina-se a precipitação excedente

Esta é obtida pela simples divisão do V_{TES} pela área da bacia de drenagem.

$$Q = \sum_{t=0}^{t_b} \frac{q(t) \cdot \Delta t}{A} \quad (2.9)$$

sendo Q a precipitação excedente, $q(t)$ a ordenada do hidrograma, Δt o intervalo de tempo discretizado e A a área da bacia.

Em outras palavras, a precipitação excedente é a relação entre o volume total escoado superficialmente sobre a bacia e a área da bacia.

Para se obter Q em mm, usando $q(t)$ em m^3/s , Δt em minutos e a A em km^2 , a equação 2.9 deve ser multiplicada pela constante de conversão 6/100. Assim:

$$Q = \frac{6}{100} \cdot \frac{1}{A} \cdot \sum_{t=0}^{t_b} q(t) \cdot \Delta t \quad (2.10)$$

5º. Passo: Reduz o hidrograma de escoamento superficial ao volume unitário

Pela definição do hidrograma unitário, tem-se que o volume da precipitação excedente é igual à unidade e o volume escoado superficialmente é o volume unitário da precipitação excedente vezes a área da bacia. Portanto, para reduzir o hidrograma de escoamento superficial

ao hidrograma unitário, basta dividir as ordenadas do hidrograma observado pela precipitação excedente, ou seja:

$$U(t) = \frac{q(t)}{Q} \quad (2.11)$$

sendo $U(t)$ é a ordenada do hidrograma unitário no tempo t , $q(t)$ a ordenada do hidrograma de escoamento superficial observado e Q a precipitação excedente observada.

6°. Passo: Determina-se a duração da chuva excedente D que resultou o hidrograma unitário

Um método comumente usado é o do índice ϕ de infiltração. Este método assume uma taxa de infiltração constante desde o início da precipitação até o término da enchente. Este índice, segundo Chow (1964), é determinado por uma linha horizontal no hietograma da precipitação de tal forma que a área do hietograma acima desta linha seja igual à precipitação excedente. A duração da chuva excedente D será igual ao intervalo de tempo entre o início e fim da precipitação excedente, conforme mostra a figura 2.4.

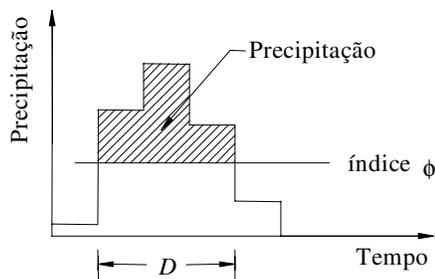


Figura 2.4: Determinação da duração da chuva excedente

Vários autores recomendam a adoção da duração da chuva excedente para o estudo do hidrograma unitário, de modo que as variações da precipitação no período da duração da chuva excedente não afetem materialmente a precisão do método (Linsley e Franzini, 1978). Os valores limites recomendados por Sherman (1932), definidos em função da área da bacia estão na tabela 2.1. Para Pfafstetter (1976) a duração da chuva excedente, deve ser escolhida entre 1/4 e 1/6 do tempo de pico, de tal forma que se obtenha um hidrograma unitário que permita determinar com

boa precisão, o hidrograma resultante de chuvas de maior duração e de intensidade variável, sem que seja muito pequeno, aumentando inutilmente o trabalho de cálculo.

Tabela 2.1: Limites propostos por Sherman para a duração da chuva excedente

Área da bacia em km ²	Duração Unitário em horas
> 2600	12 a 24
260 a 2600	6, 8 ou 12
50	2
< 50	1/3 a 1/4 de t_c

Fonte: Genovez, 2001.

Linsley e Franzini (1978), recomendam que a duração da chuva unitária seja da ordem de 1/4 do tempo de retardamento da bacia. Genovez (1991), em sua revisão bibliográfica apresenta diversas equações propostas por diversos pesquisadores para se obter a duração da chuva excedente. Das equações apresentadas, adotou para uso em seu trabalho a equação 2.12 (Viessman et al., 1975 citado por Genovez, 1991). Segundo ele, esta equação satisfaz a maioria das outras equações, pois apresenta um dos menores valores para D .

$$D = 0,133 \cdot t_c \quad (2.12)$$

sendo D a duração da chuva excedente e t_c o tempo de concentração da bacia.

Muitas vezes, há a necessidade de se obter o hidrograma unitário para uma duração diferente da duração da chuva excedente D obtida através de hidrogramas observados. Contudo, um método geral para a derivação do hidrograma unitário para outras durações, baseia-se no princípio da superposição. Este método é conhecido como método da hidrógrafa-S ou curva-S, primeiramente proposto por Morgan e Hulinghors (Chow, 1964).

A curva-S é um hidrograma produzido por uma precipitação excedente de intensidade constante e duração infinita. Essa curva é obtida pela soma das infinitas séries do hidrograma unitário definido para D unidades de tempo, com cada hidrograma unitário deslocado dessa duração (Figura 2.5).

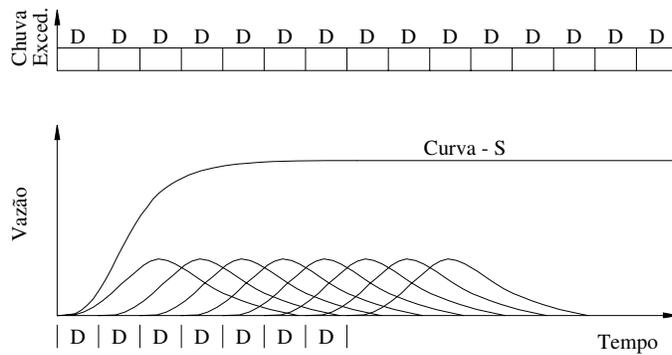


Figura 2.5: Determinação da curva-S a partir do hidrograma unitário

Uma vez construída a curva-S, o hidrograma unitário para uma duração diferente t_0 , pode ser obtido através do procedimento indicado na figura 2.6.

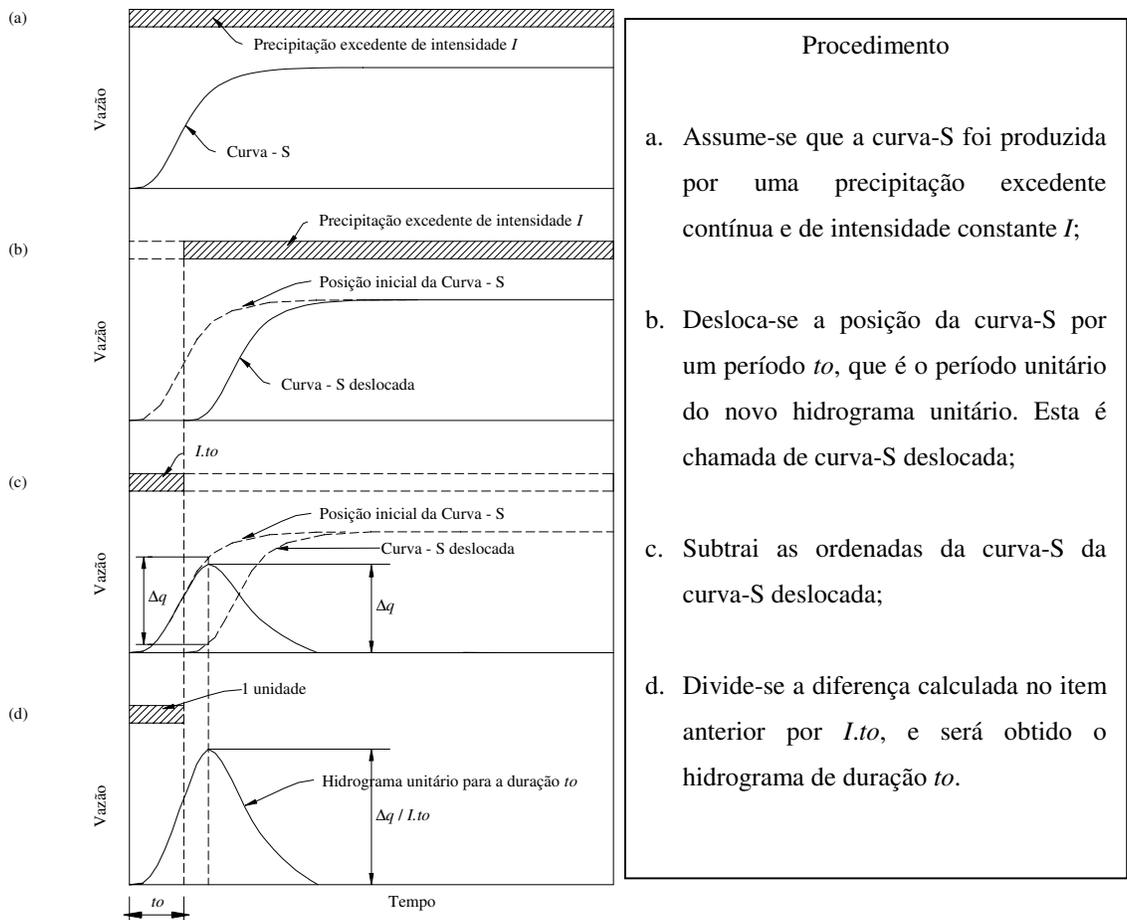


Figura 2.6: Determinação de um hidrograma unitário pelo método da curva-S

Fonte: Adaptado de Chow, 1964.

2.1.5. Hidrograma unitário representativo da bacia

Para se obter o hidrograma unitário representativo de uma bacia, não é suficiente apenas um hidrograma, é preciso encontrar vários hidrogramas resultantes de chuvas simples e de mesma duração. Isso é necessário devido a variação no tempo e espaço de chuvas de mesma duração, além das condições da bacia.

A duração da chuva excedente D deve ser escolhida com base na duração da chuva excedente previamente adotada para a bacia em estudo. Linsley e Franzini (1978), mostram que uma tolerância de até 25% quanto a duração adotada para o hidrograma unitário é aceitável. Segundo Wilken (1978), podem ser feitas modificações para ajustar as durações dos hidrogramas unitários através do método da curva-S.

Existem dois métodos para sintetizar o hidrograma unitário: um consiste em posicionar os hidrogramas unitários com base na origem e outro com base nos picos. O primeiro tende a reduzir o pico das vazões e o segundo tende a reduzir o tempo de base aumentando o pico (Tucci, 2000).

Obtido os diversos hidrogramas unitários para os diferentes eventos selecionados (no mínimo 5, segundo Wilken, 1978) e agrupados em um dos dois métodos citados, a escolha do hidrograma unitário final não deve ser feita pelo simples cálculo das médias dos valores encontrados, mas deve ser obtido graficamente, de modo que o hidrograma adotado seja aparentemente o mais representativo do conjunto e com um volume unitário (Pinto et al., 1976). Este será o hidrograma unitário representativo da bacia de drenagem para a duração da chuva excedente D adotada.

2.2. MODELO CHUVA-VAZÃO DO SERVIÇO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DOS ESTADOS UNIDOS

2.2.1. Método do número da curva de escoamento superficial ou método do CN

O método do número da curva de escoamento superficial ou simplesmente método do CN permite estimar a precipitação excedente resultante de uma determinada chuva para uma área conhecida de drenagem. Desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), sua primeira publicação data de 1954. Originalmente foi desenvolvido para áreas rurais e com o passar do tempo tem sido objeto de estudos, os quais contribuíram e ainda contribuem para seu aprimoramento, incluindo aplicações em bacias urbanas. Durante esse período o método se difundiu, ganhou credibilidade e tornou-se muito popular, sendo utilizado em outros países. No entanto, a aplicação do método em áreas superiores a 250 km², sem subdividi-las não é recomendado (Ponce e Hawkins, 1996).

A popularidade do método está ligada diretamente a sua simplicidade, dependendo apenas de três variáveis: precipitação, umidade antecedente do solo e do complexo hidrológico solo-cobertura.

A precipitação excedente total é determinada pela equação (USBR, 1977):

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad \text{para } P > 0,2 \cdot S \quad (2.13)$$

sendo: Q a precipitação excedente total, em mm; P a precipitação total, em mm; S a diferença potencial máxima entre P e Q , em mm, na hora em que começa a chuva.

A equação 2.13 é obtida partindo da seguinte proporcionalidade:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad (2.14)$$

sendo F a retenção efetiva (atual) ou diferença potencial real entre P e Q ; S é o potencial máximo de retenção, ou seja, a quantia de armazenamento disponível para reter a precipitação. A relação F/S é a proporção do armazenamento disponível que é preenchido com a água da chuva, ou seja, é a relação entre o volume infiltrado e a capacidade máxima de infiltração e Q/P representa a proporção da precipitação que escoará superficialmente.

Isolando Q em 2.14 e substituindo F por $(P - Q)$ obtém-se:

$$Q = \frac{P^2}{P + S} \quad (2.15)$$

Esta equação é válida apenas quando existe a possibilidade de escoamento sempre que chover. Em condições reais podemos ter $P > 0$ e $Q = 0$, sendo necessário o uso de uma abstração ou perda inicial I_a , a ser deduzida da precipitação conforme mostrado na figura 2.7.

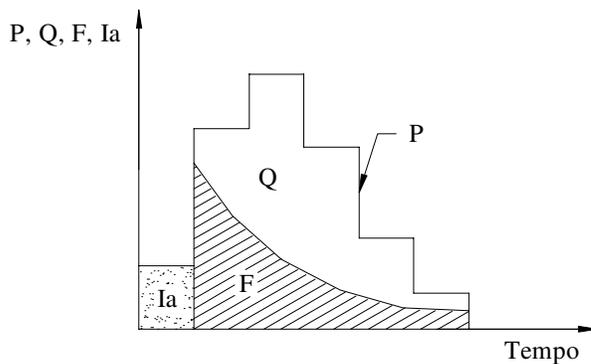


Figura 2.7: Separação da chuva do escoamento direto (Q), perda inicial (I_a) e retenção efetiva (F) (McCuen, 1989)

Com a condição de que I_a não pode ser maior que P , a equação 2.14 fica:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (2.16)$$

Como $F = P - Q$, agora sob a nova condição a retenção real será:

$$F = (P - I_a) - Q \quad (2.17)$$

Substituindo 2.17 em 2.16 tem-se:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2.18)$$

Na figura 2.8 é mostrada a relação entre as variáveis da equação 2.18.

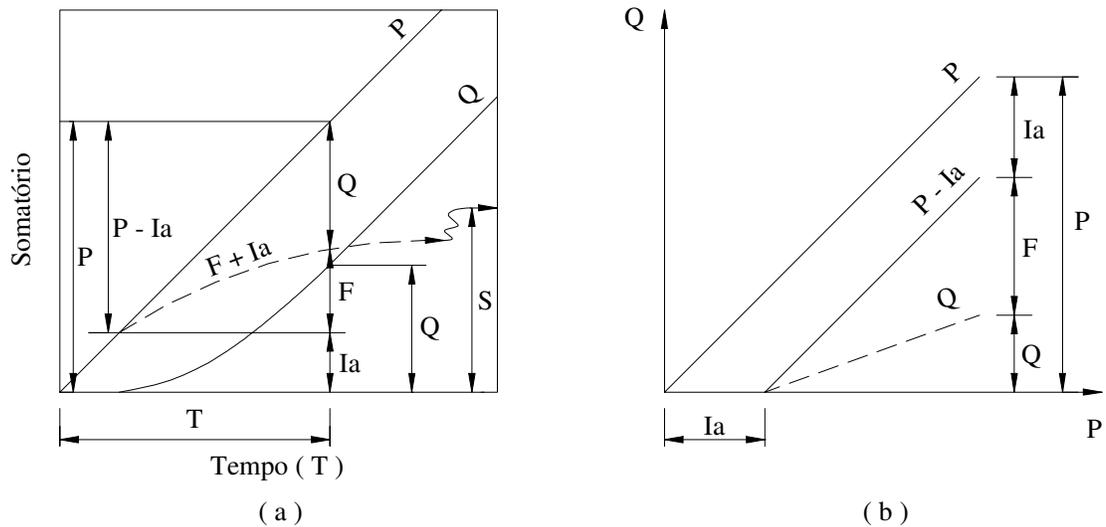


Figura 2.18: Diagrama esquemático da curva de massa da relação entre a precipitação (P), escoamento direto (Q), perda inicial (I_a) e retenção efetiva (F).

O SCS propôs uma relação linear entre as variáveis S e I_a , visando tornar mais simples a equação 2.18. Assim, estabeleceu que:

$$I_a = \lambda \cdot S \quad (2.19)$$

sendo λ uma constante de proporcionalidade da abstração inicial em relação a retenção potencial máxima.

Ponce e Hawkins (1996) comentam que para justificar a equação 2.19 o SCS utilizou dados obtidos de diversas pequenas bacias hidrográficas dos Estados Unidos, dos quais em 50 % dos pares de valores encontraram λ variando de 0,095 a 0,38. Citam também que valores variando de $0,0 \leq \lambda \leq 0,3$ têm sido documentado em diversos estudos realizados para vários locais dos Estados Unidos.

O SCS adotou um valor médio $\lambda = 0,2$ que é o padrão do método recomendado para projeto, portanto:

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (2.20)$$

Na figura 2.7, observa-se que I_a é igual a precipitação que ocorre antes do início do escoamento superficial. Fisicamente I_a representa a interceptação, infiltração e retenção superficial. Refinamentos na equação 2.20 não são recomendados porque os dados para representar I_a em função dessas três variáveis raramente são conhecidos e pela mesma razão não se recomenda fazer modificações no coeficiente $\lambda = 0,2$ (USBR,1977).

Substituindo 2.20 em 2.18 obtém-se a equação 2.13 para o computo da precipitação excedente, reescrita abaixo.

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad \text{para } P > 0,2 \cdot S \quad (2.13)$$

Baseado em gráficos do escoamento superficial direto Q em função da precipitação P , para bacias hidrográficas naturais, observou-se que com o aumento de P , Q aproxima-se de P . Os mesmos dados demonstraram que $(P - Q)$ se aproxima de uma constante enquanto P continua aumentando, ou seja, $P - Q = F + I_a$ tendem a S enquanto P cresce. Isso pode ser observado na Figura 2.8a. Contudo, torna-se evidente que a constante S é a diferença potencial máxima entre P e Q que pode ocorrer para uma determinada chuva e condições da bacia. A diferença $P - Q$ que ocorre durante a chuva é limitada pela água armazenada no solo ou pela taxa de infiltração com o aumento de P . Fica claro então que o potencial máximo de retenção S é função da capacidade do solo armazenar água (em depressão, interceptação e subsuperfície) e da intensidade de infiltração.

Para o cálculo do escoamento direto Q a partir de uma conhecida precipitação P , há necessidade de uma estimativa média para a variável desconhecida S . Com este propósito, visando uma aplicação mais prática da equação 2.13, foi elaborado pelo SCS o número da curva de escoamento superficial, o CN . Este parâmetro adimensional representa os efeitos da combinação do grupo hidrológico do solo com o tipo de cobertura e tratamento da terra sobre o escoamento superficial. Estas curvas foram numeradas de 0 a 100 e S está relacionado ao CN por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.21)$$

Resolvendo a equação 2.21 para CN tem-se:

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (2.22)$$

Para ambas as equações 2.21 e 2.22, S é dado em mm e CN é adimensional. Observa-se que para $CN = 0$ tem-se uma representação teórica de S tendendo ao infinito, em outras palavras, toda a precipitação seria absorvida e não haveria escoamento. Para $CN = 100$, S será nula e não haverá infiltração resultando toda precipitação em escoamento direto. Estas são as condições teóricas extremas do método do CN , como pode ser observado na figura 2.9, a qual representa a solução da equação 2.13.

Substituindo a equação 2.21 na equação 2.13 tem-se a equação 2.23.

$$Q = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50,8 \right)^2}{P + \frac{20320}{CN} - 203,2} \quad \text{para } P > \frac{5080}{CN} - 50,8 \quad (2.23)$$

sendo que Q e P estão em mm.

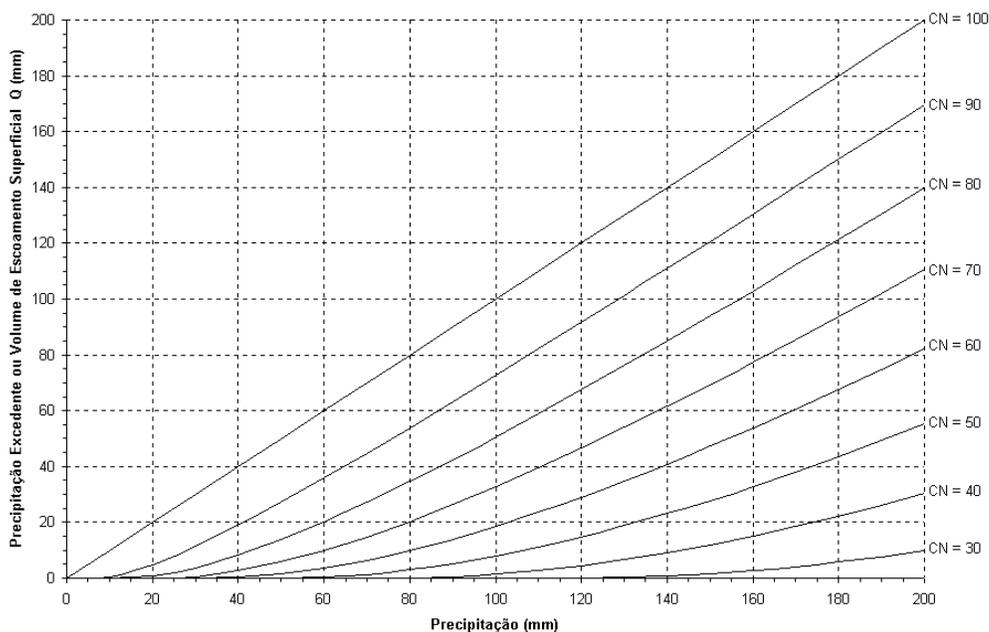


Figura 2.9: Gráfico para obtenção do volume de escoamento superficial em função da precipitação e do número da curva de escoamento superficial ($I_a = 0,2 \cdot S$ e Condição II de umidade antecedente).

Os valores de CN encontram-se tabelados de acordo com a combinação do grupo hidrológico do solo com o tipo de cobertura e tratamento da terra, ambos associados a uma condição de umidade antecedente da bacia.

O CN representa uma curva média de infiltração que separa a parte da precipitação que escoará superficialmente. Uma dispersão natural dos pontos em torno da curva média foi

interpretada pela medida da variabilidade natural da umidade do solo e associado a relação chuva-escoamento. A condição de umidade antecedente foi usada como um parâmetro representativo dessa variabilidade (Ponce e Hawkins, 1996). Dessa forma a variabilidade do *CN* depende do volume precipitado num período de 5 a 30 dias antecedente a uma determinada chuva, a qual é denominada de “Precipitação Antecedente” (USBR, 1977). Tendo em vista tal fato, o SCS definiu três condições de umidade antecedente do solo, as quais são:

Condição I: Condição em que os solos de uma bacia hidrográfica estão secos, mas não ao ponto de murchamento das plantas, é quando se ara ou cultiva bem o solo.

Condição II: É o caso em que os solos encontram-se na “umidade ideal”, isto é, nas condições que precederam a ocorrência de uma enchente máxima anual em numerosas bacias hidrográficas.

Condição III: Condição em que os solos se apresentam quase saturados, quando da ocorrência de chuvas fortes ou fracas e baixas temperaturas durante 5 dias anteriores a uma determinada precipitação.

As condições de umidade antecedente podem ser identificadas a partir dos limites sazonais da precipitação estabelecidos para ambas. Esses limites constam na tabela 2.2 e são obtidos num período mínimo de cinco dias antecedentes.

Tabela 2.2: Limites da precipitação para a estimativa das condições de umidade antecedente

Condições de Umidade Antecedente	Precipitação acumulada nos 5 dias antecedentes em mm	
	Estação Seca	Estação Úmida
I	menor que 13	menor que 36
II	13 a 28	36 a 53
III	maior que 28	maior que 53

Fonte: McCuen, 1989.

2.2.1.1. Classificação hidrológica do solo

Os solos podem ser classificados de acordo com suas propriedades hidrológicas se considerado independentemente da cobertura e da declividade da bacia (Ogrosky e Mockus, 1964). As características de cada grupo hidrológico definido pelo SCS são (Ogrosky e Mockus, 1964; Mockus, 1972; *TR-55, 1986):

Grupo A: Compreende os solos com baixo potencial de escoamento, contendo alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Estes solos têm uma alta taxa de transmissão de água (*taxa mínima de infiltração: > 7,62 mm/h).

Grupo B: Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Estes solos possuem uma moderada taxa de transmissão de água (*taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h).

Grupo C: Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Estes solos têm uma baixa taxa de transmissão de água (*taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h).

Grupo D: Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com uma grande permanência do lençol freático, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Estes solos têm uma taxa muito baixa de transmissão de água (*taxa mínima de infiltração: 0-1,27 mm/h).

Segundo USBR (1977), os grupos foram baseados na premissa de que os solos com perfis com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica,

estrutura e grau de expansão quando saturado) responderão de forma semelhante a uma chuva de longa duração e intensidade apreciável. Para isso supôs-se que os solos têm uma cobertura mínima de vegetação (solo nu). Esse recurso foi adotado para se evitar a conversão dos resultados de infiltração determinados com as diferentes técnicas de medição (simuladores de chuva e infiltrômetros).

Conforme descrito em USBR (1977), baseando-se no conhecimento dos especialistas de solos sobre as características dos perfis, formaram uma série com os principais solos do país e seus elementos foram determinados através de estudos nas bacias hidrográficas. Quando foram dispostos em sua ordem correta (conforme a taxa mínima de infiltração ou condutividade hidráulica aparente do solo), a série iniciou-se com as argilas compactas com potencial de infiltração praticamente nulo estendendo-se aos solos de grandes intensidades de infiltração como os siltes bem graduados e profundos e/ou as areias profundas. A curva esquemática da distribuição da taxa de infiltração da série está representada na figura 2.10, na qual as linhas tracejadas representam a possível variação (25% acima e abaixo da linha média) de um determinado solo, pela profundidade, estrutura ou textura.

Segundo McCuen (1989), os grupos hidrológicos dos solos podem ser identificados usando três caminhos: características dos solos, levantamento de solos locais ou pela taxa mínima de infiltração. As taxas mínimas de infiltração são apresentadas na tabela 2.3.

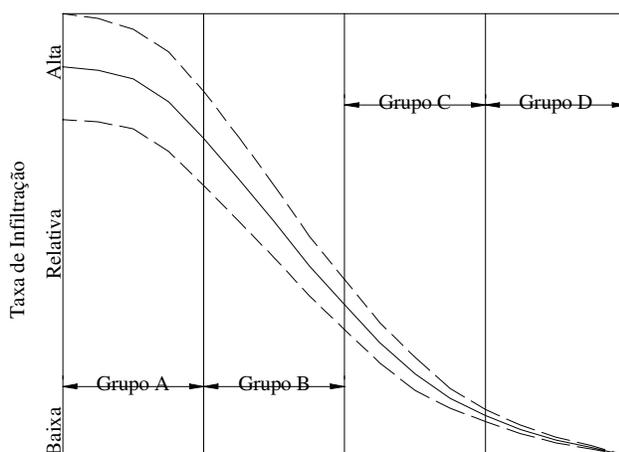


Figura 2.10: Curva esquemática das taxas de infiltração relativas dos grupos hidrológicos do solo (USBR, 1977)

Tabela 2.3: Taxas mínimas de infiltração utilizadas para identificar o grupo hidrológico dos solos

Grupo Hidrológico dos Solos	Taxa mínima de infiltração em mm/h
A	7,62 - 11,43
B	3,81 - 7,62
C	1,27 - 3,81
D	0,00 - 1,27

Fonte: McCuen (1989).

Nos Estados Unidos o grupo hidrológico de solo pode ser identificado através de mapas pedológicos dos municípios elaborados pelo SCS, os quais fornecem uma descrição detalhada dos solos e sua localização (Machado, 2002).

Nas tabelas 2.4a, 2.4b, 2.4c e 2.4d são apresentados os números da curva de escoamento superficial para os complexos hidrológicos solo-cobertura, condição II de umidade antecedente da bacia e $I_a = 0,2 \cdot S$.

Tabela 2.4a: Número da curva de escoamento para campos áridos e semiáridos dos EUA ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente)

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos			
Tipo de cobertura	Condição hidrológica	A	B	C	D
Herbaceos - mistura de gramíneas, ervas e pequeno cultivo de arbustos, sendo estes em menor quantidade	má		80	87	93
	média		71	81	89
	boa		62	74	85
Carvalho e choupo - mistura de carvalho, choupo, mogno, bordo, e outros arbustos	má		66	74	79
	média		48	57	63
	boa		30	41	48
Pinheiro, Zimbro ou ambos; gramíneas em menor quantidade	má		75	85	89
	média		58	73	80
	boa		41	61	71
Artemísias com gramíneas em menor quantidade	má		67	80	85
	média		51	63	70
	boa		35	47	55
Arbustos do deserto	má	63	77	85	88
	média	55	72	81	86
	boa	49	68	79	84

Fonte: Rawls et al., 1996.

Tabela 2.4b: Número da curva de escoamento para terras agrícolas cultivadas ($I_a = 0,25$ e Condição II de umidade antecedente)

Descrição da cobertura			Número da curva para os grupos			
Tipo de cobertura	Tipo de manejo do solo ¹	Condição hidrológica	A	B	C	D
Terra arada	Solo exposto	---	77	86	91	94
	CR	má	76	85	90	93
		boa	74	83	88	90
Plantios em linha	SR	má	72	81	88	91
		boa	67	78	85	89
	SR + CR	má	71	80	87	90
		boa	64	75	82	85
	C	má	70	79	84	88
		boa	65	75	82	86
	C + CR	má	69	78	83	87
		boa	64	74	81	85
	C & T	má	66	74	80	82
		boa	62	71	78	81
	C & T + CR	má	65	73	79	81
		boa	61	70	77	80
Pequenos grãos ou cereais	SR	má	65	76	84	88
		boa	63	75	83	87
	SR + CR	má	64	75	83	86
		boa	60	72	80	84
	C	má	63	74	82	85
		boa	61	73	81	84
	C + CR	má	62	73	81	84
		boa	60	72	80	83
	C & T	má	61	72	79	82
		boa	59	70	78	81
	C & T + CR	má	60	71	78	81
		boa	58	69	77	80
Semeação densa de leguminosas ou dos pastos em rodízio	SR	má	66	77	85	89
		boa	58	72	81	85
	C	má	64	75	83	85
		boa	55	69	78	83
	C & T	má	63	73	80	83
		boa	51	67	76	80

¹ Cobertura com resíduos de colheita, aplicada somente se o resíduo está em no mínimo 5% da superfície por todo o ano.

CR: cobertura com resíduo de colheita; SR: linha reta; SR + CR: linha reta com resíduo de colheita; C: curva de nível; C + CR: curva de nível com resíduos de colheita; C & T: curva de nível e terraceamento; C & T + CR: curva de nível e terraceamento com resíduos de colheitas.

Fonte: Rawls et al., 1996.

Tabela 2.4c: Número da curva de escoamento para áreas urbanas ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente)

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos hidrológicos dos solos			
Tipo de cobertura e condição hidrológica	Porcentagem média da área impermeável	A	B	C	D
		<i>1 - Áreas urbanas desenvolvidas</i>			
1.1. Espaço aberto (gramados, parques, campos de golf, cemitérios, etc):					
- Condição ruim (cobertura com grama < 50%)		68	79	86	89
- Condição média (cobertura com grama 50 a 75%)		49	69	79	84
- Condição boa (cobertura com grama > 75%)		39	61	74	80
1.2. Áreas Impermeáveis:					
- Lotes de estacionamentos pavimentados, telhados, estradas, etc.		98	98	98	98
1.3. Ruas e rodovias:					
- Pavimentadas com calçadas, guias e galeria de drenagem		98	98	98	98
- Pavimentadas com abertura de valas ou fossos para drenos		83	89	92	93
- Pedregulhadas		76	85	89	91
- De terra		72	82	87	89
1.4. Áreas urbanas no deserto (meio oeste dos EUA):					
- Paisagem natural do deserto (somente áreas permeáveis)		63	77	85	88
- Paisagem artificial do deserto (barreiras de ervas impermeáveis, arbustos do deserto com 25 a 50 mm de material em decomposição com areia ou pedregulho na borda do caule)		96	96	96	96
1.5. Zonas urbanas:					
- Comerciais e escritórios	85%	89	92	94	95
- Industriais	72%	81	88	91	93
- Residenciais pela média do tamanho dos lotes:					
- 500 m ² ou menor	65%	77	85	90	92
- 1000 m ²	38%	61	75	83	87
- 1300 m ²	30%	57	72	81	86
- 2000 m ²	25%	54	70	80	85
- 4000 m ²	20%	51	68	79	84
- 8000 m ²	12%	46	65	77	82
2 - Áreas urbanas em desenvolvimento:					
- Áreas mudadas recentemente (somente áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

Fonte: Rawls et al., 1996.

Tabela 2.4d: Número da curva de escoamento para outros usos agrícolas ($I_a = 0,2S$ e Condição II de umidade antecedente)

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos			
Tipo de cobertura	Condição hidrológica	A	B	C	D
Pastagem, pastos, ou campos de pastagem (forragem contínua para patoração)	má	68	79	86	89
	média	49	69	79	84
	boa	39	61	74	80
Campinas ou prados (gramíneas contínuas, protegidas da pastoração e destinadas geralmente a meda de feno)	---	30	58	71	78
Capoeira (mistura de arbustos com ervas e gramas sendo os arbustos em maior quantidade)	má	48	67	77	83
	média	35	56	70	77
	boa	30	48	65	73
Reflorestamento - combinação de gramas e pomares ou árvores (CN computado para 50% de bosques e 50% de pastagem)	má	57	73	82	86
	média	43	65	76	82
	boa	32	58	72	79
Reflorestamento	má	45	66	77	83
	média	36	60	73	79
	boa	30	55	70	77
Fazendas e chácaras (construções, travessas, e lotes)	---	59	74	82	86

Fonte: Rawls et al., 1996.

Conforme mencionado, o número da curva apresentado nas tabelas 2.4 é um valor obtido para as condições médias correspondendo à condição II de umidade antecedente. Muitas vezes, pode-se desejar aplicar o método para outras condições, sendo necessário converter o *CN* da condição II para uma das outras duas. A tabela 2.5 traz esta conversão elaborada pelo SCS.

Hawkins et al. (1985) desenvolveram correlações entre a retenção potencial máxima para as condições I e III (S_I e S_{III}) e a retenção potencial máxima para a condição II (S), obtendo as relações $S_I/S = 2,281$ e $S_{III}/S = 0,427$. Neste trabalho determinaram equações que correlacionam o *CN* da condição II com as demais condições, as quais são válidas para o intervalo $50 \leq CN \leq 95$:

$$CN_I = \frac{CN}{2,281 - 0,01281 \cdot CN} \quad (2.24)$$

$$CN_{III} = \frac{CN}{0,427 + 0,00573 \cdot CN} \quad (2.25)$$

Tabela 2.5: Correspondência entre os números da curva de escoamento para as três condições de umidade antecedente

Condição II	Condição I	Condição III	Condição II	Condição I	Condição III	Condição II	Condição I	Condição III
100	100	100	74	55	88	48	29	68
99	97	100	73	54	87	47	28	67
98	94	99	72	53	86	46	27	66
97	91	99	71	52	86	45	26	65
96	89	99	70	51	85	44	25	64
95	87	98	69	50	84	43	25	63
94	85	98	68	48	84	42	24	62
93	83	98	67	47	83	41	23	61
92	81	97	66	46	82	40	22	60
91	80	97	65	45	82	39	21	59
90	78	96	64	44	81	38	21	58
89	76	96	63	43	80	37	20	57
88	75	95	62	42	79	36	19	56
87	73	95	61	41	78	35	18	55
86	72	94	60	40	78	34	18	54
85	70	94	59	39	77	33	17	53
84	68	93	58	38	76	32	16	52
83	67	93	57	37	75	31	16	51
82	66	92	56	36	75	30	15	50
81	64	92	55	35	74			
80	63	91	54	34	73	25	12	43
79	62	91	53	33	72	20	9	37
78	60	90	52	32	71	15	6	30
77	59	89	51	31	70	10	4	22
76	58	88	50	31	70	5	2	13
75	57	88	49	30	69	0	0	0

Fonte: Prakash et al., 1996.

Alternativamente, as equações 2.24 e 2.25 podem ser usadas para a conversão do CN nas condições I (CN_I) e III (CN_{III}) de umidade antecedente.

No Brasil, existem algumas informações a respeito da classificação hidrológica dos solos, sendo estas elaboradas principalmente para o Estado de São Paulo. Neste contexto, Setzer e Porto (1979) aproveitando a idéia do SCS, propuseram sob o ponto de vista de formação geológica cinco grupos hidrológicos de solo conforme sua natureza física e tipo de perfil.

Baseando-se em estudos pedológicos havidos para todas as formações geológicas existentes do Estado de São Paulo e em fotografias aéreas, enquadraram os 41 tipos de solos registrados naquela época em doze zonas ecológicas, as quais refletem o clima e a geologia, e portanto a topografia e as possibilidades agrícolas (Setzer e Porto, 1979). A definição de cada grupo hidrológico da classificação proposta é:

Grupo A: Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%; não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.

Grupo B: Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.

Grupo C: Solos barrentos com teor de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que no grupo B mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

Grupo D: Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Grupo E: Solos barrentos como C, mas com camada argilosa impermeável ou com pedras. Ou sem tal camada, mas o teor de argila supera 40%. No caso de terras roxas este teor pode subir a 60% (no caso D 45%).

Lombardi Neto et al. (1989) baseando-se no trabalho de Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo (Brasil, 1960), estabeleceram quatro grupos de solos de acordo com suas qualidades e características, visando sua aplicação em práticas conservacionistas, principalmente terraços. Os solos do Estado de São Paulo foram enquadrados nestes grupos levando em consideração a profundidade, permeabilidade, textura da camada superficial e subsuperficial, e a relação textural da argila entre os horizontes A e B.

As características dos quatro grupos hidrológicos de solos definidos por Lombardi Neto et al. (1989) são:

Grupo A: Incluem solos com alta taxa de infiltração, mesmo quando completamente molhados e com alto grau de resistência e de tolerância a erosão. Eles normalmente são profundos ou muito profundos, porosos com baixo gradiente textural, menor que 1,20, de textura média, argilosa ou mesmo muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil, resultando em solos bem drenados ou excessivamente drenados. A permeabilidade das camadas superficial/subsuperficial, segundo Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1983), deve ser rápida tanto na camada superficial como na subsuperficial (1/1) ou pelo menos moderada na camada superficial e rápida na subsuperficial (2/1) porém a textura da camada não deve ser arenosa.

Grupo B: Compreendem os solos com moderada taxa de infiltração, mesmo quando completamente molhados ou com alta taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão. São normalmente profundos, com relação textural entre 1,20 a 1,50. A permeabilidade das camadas superficial/subsuperficial, segundo Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1983), deve ser rápida/moderada (1/2) ou rápida/rápida (1/1), neste último caso só quando o horizonte A é arenoso. A drenagem do perfil é boa ou moderada.

Grupo C: Enquadram-se os solos com baixa taxa de infiltração mesmo quando completamente molhados, com baixa resistência e tolerância a erosão. São normalmente profundos ou moderadamente profundos, com relação textural maior que 1,5, comumente apresentando relação textural abrupta. A permeabilidade das camadas superficial/subsuperficial, segundo Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1983), deve ser lenta/moderada (3/2), lenta/rápida (3/1) ou rápida/moderada (1/2).

Grupo D: Possuem solos com taxa de infiltração muito baixa, mesmo quando completamente molhados, e muito baixa resistência e tolerância à erosão. São normalmente rasos e/ou permeáveis ou então com mudança textural abrupta aliada à

argila de alta atividade (Ta) ou ainda com camada de impedimento à infiltração de água (piçarra, fragipã, etc.). A permeabilidade das camadas superficial/subsuperficial, segundo Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1983), são lenta/lenta (3/3), moderada/lenta (2/3), rápida/lenta (1/3).

De maneira resumida, as características de cada grupo hidrológico do solo proposto por Lombardi Neto et al. (1989) encontram-se na tabela 2.6.

Tabela 2.6: Grupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência e erosão.

Grupo	Grupo de Resistência à erosão	Principais Características				Grandes Grupos de Solos ⁽⁴⁾
		Profundidade	Permeabilidade	Textura	Razão Textural ⁽¹⁾	
A	alto	muito profundo (>2m) ou profundo (1 a 2m)	rápida/rápida moderada/rápida	média/média muito argilosa/muito argilosa argilosa/argilosa	< 1,2	LR, LE, LV, LVr, LVt, LH, LEa, e LVa
B	moderado	profundo (1 a 2m)	rápida/rápida rápida/moderada moderada/moderada	arenosa/arenosa arenosa/média arenosa/argilosa média/argilosa argilosa/muito argilosa	1,2 a 1,5	LJ, LVP, PV, PVL, Pln, TE, PVI _s , R, RPV, RLV, LEa ⁽³⁾ , e LVa ⁽³⁾
C	baixo	profundo (1 a 2m) moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m)	lenta/rápida lenta/moderada rápida/moderada	arenosa/média ⁽²⁾ média/ argilosa ⁽²⁾ arenosa/argilosa arenosa/muito argilosa	> 1,5	Pml, PVp, PVI _s , Pc e M
D	muito baixo	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0m) ou raso (0,25 a 0,50m)	rápida, moderada ou lenta sobre lenta	muito variável	muito variável	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac e PVp (rasos)

⁽¹⁾ Média da porcentagem de argila do horizonte B (excluindo B3) sobre média da porcentagem de argila de todo horizonte A.

⁽²⁾ Somente com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B.

⁽³⁾ Somente aqueles com horizonte A arenoso.

⁽⁴⁾ Legenda de Brasil, 1960.

Fonte: Lombardi Neto et al., 1989.

Kutner et al. (2001), encontraram dificuldades para classificar hidrológicamente uma área de drenagem em função de sua constituição pedológica, quando da necessidade de fornecer uma avaliação do CN a ser aplicado na simulação hidrológica das áreas ainda permeáveis da bacia do Alto Tietê, dentro do programa PDMAT – Plano diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê. Como solução alternativa, propuseram uma classificação hidrológica em função dos

diferentes litotipos ocorrentes na bacia e para tanto, basearam-se nos sistemas de classificação hidrológica do solo proposto pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e proposto por Setzer e Porto (1979).

Segundo Kutner et al. (2001), cada litotipo gera um solo típico e característico, principalmente quanto à textura, mas as características de cada litotipo e o processo de intemperismo geram solos para esses litotipos que constituem de misturas dos diversos grupos hidrológicos mencionados nos sistemas classificatórios, ou seja, o solo de cada litotipo é constituído pela mistura dos vários grupos hidrológicos do solo. A classificação proposta encontra-se na forma de composição percentual para os diferentes grupos hidrológicos do solo encontrados em cada litotipo, conforme tabela 2.7. Para a aplicação dessa metodologia, os autores recomendam as tabelas usuais do *CN* (ver tabelas 2.4a, 2.4b, 2.4c e 2.4d) por não haver tabelas específicas para esta classificação.

Tabela 2.7: Composição percentual proposta para os diferentes grupos de solos em cada um dos litotipos ocorrentes na bacia do Alto Tietê.

Litotipo	Solos			
	A	B	C	D
1 - Grupo dos Sedimentos Aluvionares (Qa)	15	25	30	30
2 - Grupo dos Sedimentos Terciários (TQa)	10	15	40	35
3 - Grupo das Intrusões Graníticas (pC Agg)	15	45	15	25
4 - Grupo dos Micaxistos (pC Amx)	5	10	35	50
5 - Grupo dos Filitos (pC Afm)	---	---	50	50
6 - Grupo dos Migmatitos e Gnaisses (pC Amg)	15	35	25	25

Fonte: Kutner et al., 2001.

Das três classificações apresentadas para o Estado de São Paulo (Setzer e Porto, 1979; Lombardi Neto et al., 1989; Kutner et al., 2001), a de maior praticidade é a proposta por Lombardi Neto et al. (1989). Além de ser muito parecida no processo de desenvolvimento com a original proposta pelo SCS, a classificação é direta como a original, bastando localizar a bacia sobre um mapa pedológico para se determinar às classes hidrológicas que nela ocorrem.

No trabalho de Setzer e Porto (1979), primeiramente deve-se encontrar em que zona ecológica encontra-se a bacia para posteriormente escolher quais os tipos de solos pertencem a ela. Porém, cada tipo de solo possui uma porcentagem média de cada grupo hidrológico. Segundo

Genovez (1991), mesmo que se consulte um mapa geológico para se determinar que área de cada tipo de solo ocupa na bacia, surge a dificuldade de se associar cada tipo de solo a um grupo hidrológico. Assim, parece não fazer muito sentido o uso das tabelas de *CN* para o complexo solo-uso da terra com esse trabalho, já que não se conhece a posição e o limite da área influência de cada grupo hidrológico dentro da bacia, pois o cruzamento entre solo e uso da terra é a base fundamental para se estimar o *CN*.

A classificação proposta por Kutner et al. (2001), foi elaborada apenas para a bacia do Alto Tietê, localizada a montante do reservatório de Pirapora e acredita-se que a maior dificuldade em estender esta classificação seja a determinação das porcentagens dos grupos hidrológicos dos solos para cada litotipo.

A classificação proposta por Lombardi Neto et al. (1989) é um pouco polêmica perante os hidrologistas, pelo simples fato de classificar algumas unidades de solos argilosos nos grupos A (baixo escoamento superficial) e B, e algumas unidades de solos arenosos nos grupos C e D (alto escoamento superficial), sendo que na classificação original do SCS os solos arenosos estão nos grupos A e B, e os solos argilosos estão no grupo D.

Segundo a classificação proposta por Lombardi Neto et al. (1989), a classe de solos argilosos inclusos no grupo A é a dos LATOSSOLOS, a qual cobre a maior parte do Estado de São Paulo e tem como características principais (Salomão e Antunes, 1998; Oliveira, 1999a):

- são solos profundos, encontrados em relevos pouco movimentados, com declives inferiores a 5%;
- são solos constituídos de óxidos de ferro, óxidos de alumínio e argila de baixa atividade (argilominerais do grupo 1:1);
- excepcional porosidade total, sendo comuns valores de 50 a 60% mesmo nos mais argilosos;
- possuem grande permeabilidade, a qual está associada a sua grande porosidade;
- apresentam no conjunto baixa erodibilidade e baixo potencial de escoamento superficial.

Os solos arenosos incluídos no grupo D, encontrados no Estado de São Paulo, em sua maioria, possuem a seqüência de horizontes A-E-Bt-C ou A-Bt-C, sendo os horizontes A e E de textura arenosa ou média e o Bt de textura mais argilosa, com relação textural entre os horizontes A e Bt se caracterizando como abrupta. A infiltração no horizonte A é maior ou muito maior que no horizonte B, o que intensifica o escoamento superficial e o processo erosivo devido à saturação hídrica deste horizonte. Segundo Bertolani (1998) citado por Bertolani e Vieira (2001), esta saturação decorre principalmente do aumento do teor de argila em profundidade e da conseqüente redução da macroporosidade no horizonte Bt, reduzindo a velocidade de infiltração nesse horizonte.

Bertolani e Vieira (2001), visando estudar a variabilidade espacial da taxa de infiltração média da água em solo saturado e a espessura do horizonte A, utilizando um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico abrupto, obtiveram os resultados mostrados na tabela 2.8 para três tipos de usos. Segundo os autores, as taxas de infiltração semelhantes nos horizontes A e E para a mata/capoeira e para pastagem, indicam que o comportamento da infiltração da água nos horizontes A e E, sob pastagem, assemelha-se ao dos solos em condições naturais.

Tabela 2.8: Infiltração média de água nos horizontes A, E e B, e a espessura do horizonte A

Uso	Espessura do horizonte A (cm)	Infiltração média de água no solo (mm/h) ¹		
		A	E	B
café	44,6	217,9	70,1	20,5
mata/capoeira	71,3	407,5	133,8	50,9
pasto	46,6	426,5	236,2	48,1

¹ A infiltração foi medida utilizando um permeâmetro de carga constante modelo IAC.

Fonte: Bertolani e Vieira, 2001.

Os resultados da tabela 2.8 evidenciam a importância da cobertura vegetal sobre a manutenção do horizonte superficial, em solos com transição abrupta e com baixos teores de argila em superfície (Bertolani e Vieira, 2001).

Pott (2001), utilizando três unidades de solos (LATOSSOLO VERMELHO eutrófico típico textura argilosa, LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média e

ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico típico textura arenosa/média) e quatro tipos de equipamentos, determinou a velocidade básica de infiltração VIB (taxa de infiltração em solo saturado). Os resultados são apresentados na tabela 2.9.

Tabela 2.9: Velocidade básica de infiltração (VIB) em mm/h para os diferentes tipos de solos e métodos

Métodos/Equipamentos	Latossolo textura argilosa¹	Latossolo textura média²	Argissolo textura arenosa/média³
Infiltrômetro de aspersão	61,2	85,8	61,4
Permeâmetro - modelo IAC	170,9	129,6	112,2
Infiltrômetro de tensão	175,6	200,4	72,8
Infiltrômetro de pressão	442,2	211,6	185,2

¹ Campinas, SP; ² Campos Novos Paulista, SP; ³ Pindorama, SP

Fonte: Pott, 2001.

Na tabela 2.9, exceto para o infiltrômetro de aspersão (simulador de chuva), ambos os Latossolos, de textura argilosa e de textura média, apresentaram taxas de infiltração maiores do que o Argissolo. Isso está diretamente associado à porosidade desses dois solos, que foi cerca de 17% e 12 % , respectivamente, maior que a porosidade do Argissolo (Pott, 2001).

A baixa taxa de infiltração registrada pelo método do infiltrômetro de aspersão, está diretamente ligada a desagregação do solo provocada pelo impacto das gotas d'água que incidem diretamente sobre eles, deixando a evidência de que este método é governado pelos teores de silte e areia grossa e pela cobertura do solo (Pott, 2001).

Pelo exposto, do ponto de vista de abrangência prática (controle de erosão e cômputo do escoamento superficial), a classificação baseada nas características pedológicas dos solos é a que prevalece, como pode ser observado pela vasta aplicação do método do *CN* nos Estados Unidos e em outros países, usando sua classificação que foi baseada nas características pedológicas dos solos.

2.2.2. Hidrograma unitário adimensional do SCS

O método do hidrograma unitário adimensional do SCS foi obtido após uma extensiva análise de dados observados em várias pequenas bacias hidrográficas de diversas partes dos Estados Unidos. O hidrograma unitário adimensional é um hidrograma unitário médio que melhor representou os diversos hidrogramas unitários obtidos para as diversas bacias hidrográficas estudadas (McCuen, 1989). Hjelmfelt e Cassidy (1975) citados por Genovez (1991), recomendam o método para bacias com áreas menores que 2.600 km².

O hidrograma unitário adimensional do SCS, também conhecido como hidrograma unitário curvilíneo (HUC-SCS), possui o tempo de base igual a cinco unidades do tempo de pico ($5t_p$) e cerca de 3/8 (37,5%) do volume total escoado superficialmente ocorre antes do tempo de pico. O ponto de inflexão ocorre aproximadamente a $1,7t_p$. Este hidrograma é apresentado na figura 2.11 e na tabela 2.10 encontram-se os valores da abscissa (t/t_p) e da ordenada (q/q_p) do HUC-SCS.

Tabela 2.10: Relações para o cálculo do hidrograma curvilíneo do SCS e de sua curva de massa.

t/t_p	q/q_p	Q_a/Q	t/t_p	q/q_p	Q_a/Q	t/t_p	q/q_p	Q_a/Q
0,0	0,000	0,000	1,1	0,990	0,450	2,4	0,147	0,934
0,1	0,030	0,001	1,2	0,930	0,522	2,6	0,107	0,953
0,2	0,100	0,006	1,3	0,860	0,589	2,8	0,077	0,967
0,3	0,190	0,012	1,4	0,780	0,650	3,0	0,055	0,977
0,4	0,310	0,035	1,5	0,680	0,700	3,2	0,040	0,984
0,5	0,470	0,065	1,6	0,560	0,751	3,4	0,029	0,989
0,6	0,660	0,107	1,7	0,460	0,790	3,6	0,021	0,993
0,7	0,820	0,163	1,8	0,390	0,822	3,8	0,015	0,995
0,8	0,930	0,228	1,9	0,330	0,849	4,0	0,011	0,997
0,9	0,990	0,300	2,0	0,280	0,871	4,5	0,005	0,999
1,0	1,000	0,375	2,2	0,207	0,908	5,0	0,000	1,000

q : vazão no tempo t ; q_p : vazão de pico; Q_a : volume acumulado no tempo t ; Q : volume total; t_p : tempo de pico do hidrograma.

Fonte: McCuen, 1989.

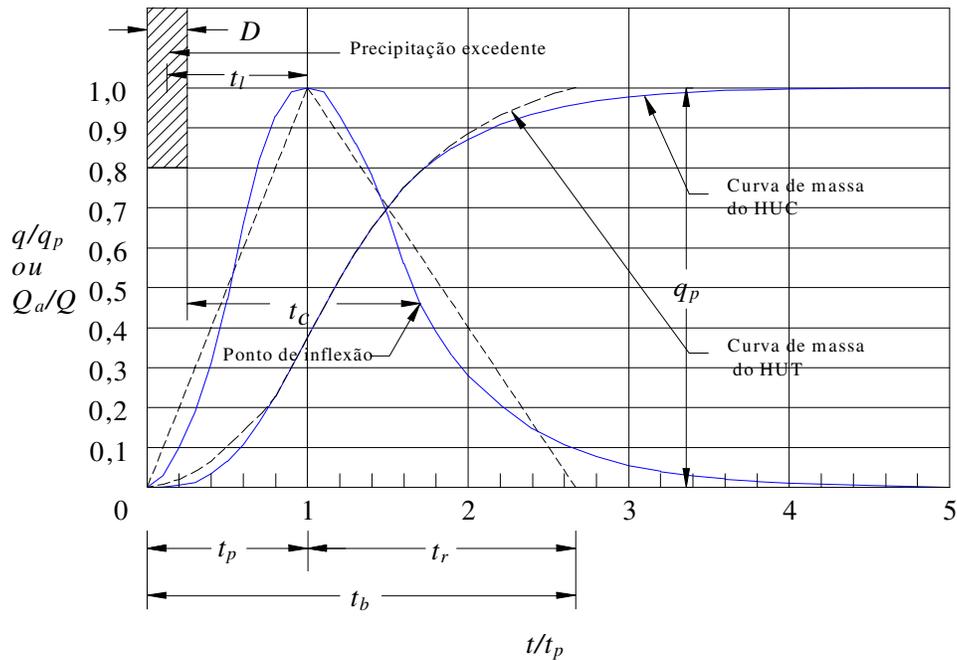


Figura 2.11: Hidrograma Unitário Curvilíneo Adimensional e o Hidrograma Unitário Triangular Equivalente

Fonte: McCuen, 1989.

O HUC-SCS foi aproximado por um hidrograma unitário adimensional triangular (HUT-SCS), o qual possui características similares a do HUC-SCS. Isso pode ser observado na figura 2.11. O tempo de base do HUT-SCS é menor que o do HUC-SCS, sendo somente $8/3$ do tempo de pico ($2,67t_p$). A área antes do tempo de pico para os dois hidrogramas é a mesma, ou seja, o volume escoado superficialmente que ocorre antes do pico nos dois hidrogramas são iguais a $3/8$ (37,5%) do volume total escoado superficialmente.

Sendo que a área abaixo da linha que desenha o hidrograma unitário é igual ao volume do escoamento superficial, para o HUT-SCS esse volume pode ser determinado pelas características geométricas (McCuen, 1989):

$$Q = \frac{1}{2} \cdot q_p \cdot (t_p + t_r) \quad (2.26)$$

sendo q_p a vazão de pico, t_p e t_r os tempos de pico e de recessão, respectivamente.

Isolando q_p na equação 2.26 e rearranjando as variáveis:

$$q_p = \frac{Q}{t_p} \cdot \left(\frac{2}{1 + \frac{t_r}{t_p}} \right) \quad (2.27)$$

Fazendo $K = \frac{2}{1 + \frac{t_r}{t_p}}$ tem-se:

$$q_p = \frac{K \cdot Q}{t_p} \quad (2.28)$$

O valor de t_r/t_p é uma constante que para uma dada cheia pode ser obtida através dos hidrogramas registrados. Da grande análise de dados, foi adotado o valor médio de 5/3 para t_r/t_p (Ogrosky e Mockus, 1964; USBR, 1977). Com este valor, obtem-se $K = 3/4$.

Para se obter q_p em m^3/s , usando t_p em horas, Q em cm e introduzindo a área da bacia de drenagem A em km^2 , no segundo membro da equação 3.16, é necessário multiplicá-lo pela constante 25/9 (2,778). Introduzindo também o valor de K , chega-se a equação 2.29.

$$q_p = 2,083 \cdot \frac{A \cdot Q}{t_p} \quad (2.29)$$

sendo q_p a vazão de pico em m^3/s , A a área de drenagem em km^2 , t_p o tempo de pico em horas e Q a precipitação excedente em cm.

Segundo McCuen (1989), a constante 25/12 (2,083) reflete um hidrograma unitário triangular que tem 3/8 de sua área abaixo da curva de ascensão. Para bacias localizadas completamente ou parcialmente em regiões montanhosas, pode-se esperar um valor maior que 3/8 e, portanto, a constante da equação 2.29 pode se aproximar de 625/242 (2,582). Para bacias planas, em áreas de brejo ou alagadas (banhados), pode ser da ordem de 625/484 (1,291).

O tempo de retardamento t_l e o tempo de recessão t_r foram associados empiricamente ao tempo de concentração, chegando nas seguintes relações (Genovez, 2001):

$$t_l = 0,6 \cdot t_c \quad (2.30)$$

e

$$t_r = 1,67 \cdot t_p \quad (2.31)$$

O termo $0,6 \cdot t_c$ é um fator empírico adotado por hidrólogos do SCS como representativo do tempo de retardamento t_l . Este fator depende do tempo de concentração t_c (Genovez, 2001).

Com base na figura 2.11, o tempo de pico t_p pode ser expresso em função da duração unitária da precipitação excedente D e do tempo de concentração da bacia t_c , permitindo duas relações (McCuen, 1989):

$$t_c + D = 1,7 \cdot t_p \quad (2.32)$$

e

$$\frac{D}{2} + 0,6 \cdot t_c = t_p \quad (2.33)$$

Resolvendo o sistema formado pelas equações 2.32 e 2.33 para D , encontra-se (McCuen, 1989):

$$D = 0,133 \cdot t_c \quad (2.34)$$

Portanto, o tempo de pico pode ser escrito em função do tempo de concentração:

$$t_p = \frac{2}{3} \cdot t_c \quad (2.35)$$

Expressando a equação 2.29 em função do tempo de concentração, resulta (McCuen, 1989):

$$q_p = 3,125 \cdot \frac{A \cdot Q}{t_c} \quad (2.36)$$

sendo q_p a vazão de pico em m^3/s , A a área de drenagem em km^2 , t_c o tempo de concentração em horas e Q a precipitação excedente em cm.

Com os valores de q_p , A , t_c e $Q = 1$ cm, pode-se obter o hidrograma unitário adimensional triangular do SCS. O hidrograma unitário adimensional curvilíneo pode ser construído com os valores de q_p e t_p , usando as relações da tabela 2.10.

2.2.3. Procedimento para se obter o hietograma da chuva excedente e o hidrograma de projeto

a. Determinação do hietograma da chuva excedente

1. Determina-se o hietograma da chuva total de projeto para uma duração igual ou maior que o tempo de concentração da bacia, para o período de retorno escolhido, discretizado da duração da chuva excedente D , determinada com a equação 2.34;
2. Determina-se a localização geográfica da bacia de drenagem num mapa pedológico para encontrar quais unidades de solos nela ocorrem. Utilizando a classificação hidrológica do solo, determinam-se os grupos hidrológicos do solo e as áreas que eles ocupam na bacia. Pode-se dizer que se tem determinado um “mapa de classes hidrológicas” para a bacia;
3. Cruza-se o “mapa de classes hidrológicas” com um mapa de uso ou cobertura da terra, elaborado para a bacia (fotografia aérea, imagens de satélite, levantamento local), determinando o complexo hidrológico solo-cobertura da terra;

4. Para cada complexo hidrológico, com as tabelas 2.4a, 2.4b, 2.4c e 2.4d, determina-se o valor do *CN*. O valor do *CN* representativo para a bacia será obtido fazendo-se uma média ponderada, onde os pesos serão as áreas de cada complexo hidrológico solo-cobertura da terra registrado na bacia;
5. O valor do *CN* representativo da bacia deverá ser corrigido, se necessário, para a condição de umidade antecedente da bacia, utilizando os valores da tabela 2.5 ou as equações 2.24 e 2.25;
6. Acumulam-se as precipitações do hietograma de projeto e aplica-se a equação 2.13 para cada intervalo de duração da chuva excedente *D*, determinando-se as precipitações excedentes acumuladas para cada intervalo;
7. Diferencia-se a precipitação excedente acumulada de cada intervalo de duração *D*, obtendo-se o hietograma da precipitação excedente.

b. Determinação do hidrograma de projeto

1. Determina-se a situação geográfica e a área de drenagem da bacia;
2. Calcula-se o tempo de concentração da bacia com a fórmula de Kirpich:

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^2}{S'} \right)^{0,385} \quad (2.37)$$

sendo t_c o tempo de concentração em minuto, L o comprimento do talvegue principal em quilômetro e $S' = H/L$ em metro por quilômetro.

A fórmula de Kirpich embora tenha suas limitações ressaltadas por vários autores, ainda é a mais empregada, por apresentar resultados satisfatórios na maioria dos casos. O USBR (1977) recomenda a fórmula de Kirpich para determinar o tempo de concentração em bacias rurais, para uso com o método do SCS. Genovez (1991) e Moretti (2001) adotaram a formula de Kirpich para uso com o método do SCS. O DAEE (1994) a recomenda para uso com o método de I-PAI-WU e com o método do Prof. KOKEI UEARA.

3. Com o tempo de concentração, determina-se a duração da chuva unitária D (equação 2.34), o tempo de pico t_p (equação 2.35) e o tempo de recessão t_r (equação 2.31);
4. Com os valores de t_c , A e $Q = 1$, determina-se a vazão de pico do hidrograma unitário utilizando-se a equação 2.36;
5. Com t_p e q_p pode-se determinar o HUC-SCS ou com t_p , q_p e t_r constrói-se o HUT-SCS;
6. Determina-se o hietograma da chuva excedente (ver item 2.2.3.a);
7. Multiplica-se a vazão máxima q_p do HUT-SCS pela precipitação excedente para cada intervalo de tempo D ou para se obter o hidrograma de projeto a partir do HUC-SCS, multiplica-se todas as suas ordenadas pela precipitação excedente e todas as suas abscissas pelo tempo de pico, para cada intervalo de tempo D . Em seguida desloca-se os hidrogramas obtidos para cada bloco de precipitação excedente, de um tempo igual a duração da chuva excedente D . O hidrograma de escoamento superficial resultante será obtido somando-se os valores das vazões dos hidrogramas superpostos.

2.3. MÉTODOS PARA DETERMINAR O CN A PARTIR DE DADOS DE CAMPO

O método do número da curva de escoamento superficial ou método do *CN* é usado de modo estimativo com valores do *CN* determinados através das indicações dos manuais baseando-se em informações do solo e do uso da terra, sendo possível também determinar o *CN* para pequenas bacias a partir de dados observados de precipitação e escoamento superficial.

Isso tem sido objeto de estudo ao longo dos anos e vários pesquisadores determinaram o *CN* para pequenas bacias utilizando dados observados, com o intento de verificar os valores dados em tabelas, ou estender a metodologia do complexo solo-cobertura da terra para outros locais (Ponce e Hawkins, 1996).

Segundo Hjelmfelt (1991), algumas definições e conceitos descritos pelo SCS (“Hydrology” 1985) levam para as seguintes interpretações questionáveis:

- ✓ S inclui I_a : Em edições antecedentes ao “National Engineering Handbook“- NEH - (“Hydrology” 1985) afirmavam que o potencial máximo de retenção, S , inclui as perdas iniciais ou abstração inicial, I_a . Como muitos têm chamado a atenção, as perdas, F , podem ser expressa como:

$$F = P - Q = P - \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (2.38)$$

$$\text{ou } F = \frac{P \cdot \left(S + I_a - \frac{I_a^2}{P} \right)}{P \cdot \left(1 - \frac{I_a}{P} + \frac{S}{P} \right)} \quad (2.39)$$

Com a precipitação tendendo ao infinito, $F = S + I_a$. Contudo, de acordo com a equação 2.13, a máxima perda é maior que o potencial máximo de retenção, S . Assim, a definição ou a equação do escoamento está incorreta. O SCS decidiu, em sua edição

de 1985 do NEH (“Hydrology” 1985) mudar a definição para declarar que S não inclui I_a . Segundo Hjelmfelt (1991), esse problema não é significativo quando o procedimento é usado em um projeto, mas ele apresenta dificuldades quando utilizado em modelos de aproximação contínua.

✓ Definição da condição II de umidade antecedente (AMC II): O SCS apresenta três definições para a AMC II:

- a. *Condições médias:* [NEH-4 (“Hydrology” 1985)] O SCS define a condição de umidade antecedente como um índice de umidade da bacia. Em particular a AMC II é definida como a “condição média”, não deixando claro se isso é uma definição qualitativa ou quantitativa, e se qualitativa, como é calculada a média? Nas edições anteriores ao NEH-4 (“Hydrology” 1985), as condições de umidade antecedente foram associadas com as cheias anuais. Em outras edições parece concluir que a precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes determina a média, entretanto isso não está incluído na definição.
- b. *CN médio:* [NEH-4 (“Hydrology” 1985)] O SCS ilustra a determinação do número da curva a partir de dados de precipitação e escoamento usando cheias anuais do “Amicolola Creek”, Geórgia. O número da curva que divide os dados plotados em dois números iguais de pontos (a média) é associado com a AMC II. As AMC I e III são definidas como curvas envoltórias. Nenhuma associação com a precipitação antecedente é apresentada.
- c. *Tabelas de precipitação antecedente:* [NEH-4 (“Hydrology” 1985)] O SCS fornece uma tabela que mostra as condições de AMC I, II e III baseadas na precipitação dos cinco dias antecedentes. O SCS tem reconhecido problemas com essa tabela. A tabela permanece no NEH-4, mas no TR-55 (“Urban Hydrology for Small Watersheds, 1986”) o termo tem mudado para condições de escoamento antecedente, e nenhuma tabela é dada.

Essas três definições não são necessariamente compatíveis. A definição do *CN médio* pode ser associada com a definição da curva média no sentido qualitativo se

dados de eventos máximos anuais são usados para determinar o CN . Tais problemas não têm influência prática sobre o uso normal do procedimento, mas influência muitas extensões que tem sido propostas.

- ✓ Existe uma base física para S : É tentador assumir que S é o armazenamento potencial padrão, a menos que se determine o espaço poral e a umidade inicial do solo para determinar S com algum sentido para Holtan e Lopez (1971) que determinaram S em suas relações de infiltração. A maior dificuldade em usar essa aproximação para bacias está no estabelecimento de uma apropriada profundidade “hidrológicamente ativa”, um problema também para a equação de Holtan. Esse conceito está diretamente ligado aos modelos hidrológicos nos quais S é determinado sobre um evento base pelo aumento da umidade do solo.

- ✓ A equação do escoamento é uma equação de infiltração: Muitos têm tentado relacionar a equação do escoamento com as equações de infiltração. Hjelmfelt (1980) demonstrou que a equação de Holtan e a equação do número da curva de escoamento são idênticas para o caso particular de uma precipitação de intensidade constante e para a taxa de infiltração assintótica zero. O SCS não demonstra a aplicação do procedimento para determinar a distribuição no tempo do excesso da precipitação para uma dada chuva. A aproximação do SCS é similar à sugerida por Linsley et al. (1975).

2.3.1. Método de “ $P/S > 0,46$ ” proposto por Hawkins et al. (1985)

Utilizando os valores da tabela de correspondência entre o número da curva de escoamento superficial para as três condições de umidade antecedente (AMC I, AMC II e AMC III), Hawkins et al. (1985) encontraram para os valores dentro do intervalo $50 \leq CN \leq 95$, aplicando regressão linear aos correspondentes valores da retenção potencial máxima S , que $S_I = 2,281.S$ e $S_{III} = 0,427.S$. Colocando a equação 2.13 na forma adimensional e substituindo essas relações chega-se:

$$\frac{Q}{S} = \frac{\left(\frac{P}{S} - 0,2\right)^2}{\frac{P}{S} + 0,8} \quad P > 0,2 \cdot S \quad (2.40)$$

$$\frac{Q_{III}}{S} = \frac{\left(\frac{P}{S} - 0,085\right)^2}{\frac{P}{S} + 0,342} \quad P > 0,085 \cdot S \quad (2.41)$$

$$\frac{Q_I}{S} = \frac{\left(\frac{P}{S} - 0,456\right)^2}{\frac{P}{S} + 1,824} \quad P > 0,456 \cdot S \quad (2.42)$$

Os subscritos I e III representam as AMC I e AMC III, respectivamente. Para a AMC II que é a padrão do método optou-se por omitir o subscrito. As relações representadas pelas equações 2.40, 2.41 e 2.42 são mostradas na figura 2.12.

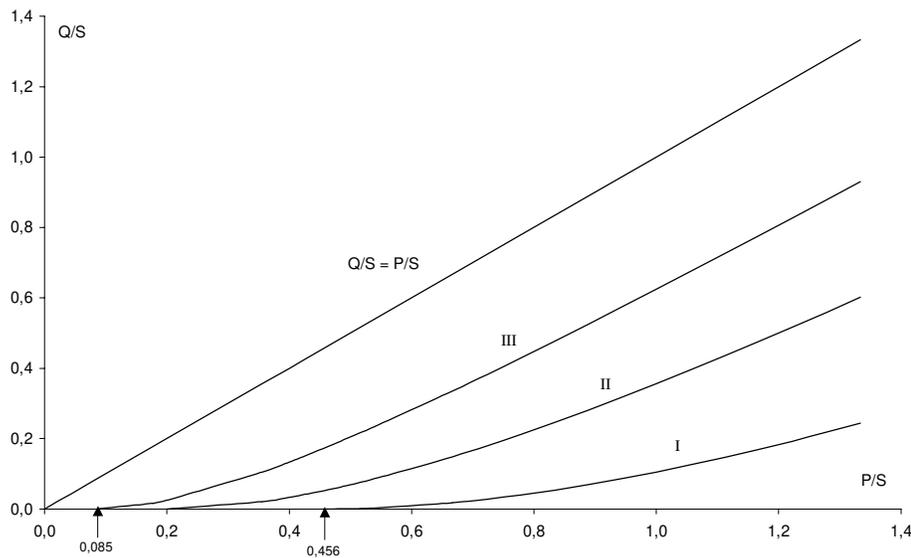


Figura 2.12: Relações padronizadas entre precipitação e escoamento sobre o armazenamento potencial padrão para a AMC II.

Fonte: Hawkins et al., 1985.

Hawkins et al. (1985), afirmam que uma clara interpretação da AMC é uma “faixa de erro” ou envoltória indicando a variabilidade experimental na relação precipitação-escoamento e assim atuando como um substituto para todas as fontes de variabilidade. Introduzindo o conceito probabilístico, citam que Hjelmfelt et al. (1982) encontraram que as relações das condições de umidade antecedente descrevem as probabilidades acumuladas de 90%, 50% e 10%, do escoamento determinado para uma dada precipitação pelo método do *CN*, correspondendo respectivamente a AMC I, II e III.

Em consequência a faixa de probabilidade, descrita acima, existe uma probabilidade condicional da distribuição da precipitação P com o eixo da precipitação acumulada para a qual $Q = 0$. A probabilidade acumulada é fração de ocorrência quando a precipitação efetiva é zero, ou quando P é menor que, ou igual à abstração inicial. Isso ocorre quando: $P < 0,085.S$ para a AMC III; $P < 0,2.S$ para a AMC II; e $P < 0,456.S$ para a AMC I. Neste raciocínio, os extremos de $P = 0$ e $P = \infty$, podem ser estabelecidos conforme mostra a tabela 2.11 (Hawkins et al., 1985).

Tabela 2.11: Probabilidade do escoamento para P/S

P/S	Probabilidade (Q/S > 0)	Condição de umidade
0	0	
0,085	0,10	AMC III
0,20	0,50	AMC II
0,456	0,90	AMC I
∞	1	

Fonte: Hawkins et al., 1985.

A linha principal do intento original do método do *CN* foi o evento de cheia de projeto, o qual foi desenvolvido com dados diários máximos anuais de precipitação e escoamento, o que implica numa seleção de grandes eventos quando da intenção de determinar o *CN* a partir de dados de campo. Assim, a sugestão proposta por Hawkins et al. (1985) para a seleção dos dados está baseada na precipitação, ou seja, somente dados com $P > 0,456.S$ ou $\Pr(Q/S > 0) = 0,90$, com S definido na AMC II, são adequados para determinar o *CN*. A tabela 2.12 mostra a relação do volume da precipitação sobre o *CN* baseado nas probabilidades do escoamento.

Tabela 2.12: Volume relativo da precipitação

P/S		Probabilidade (Q/S > 0)		Categoria
de	até	de	até	
0	0,085	0	0,10	Muito pequena
0,085	0,20	0,10	0,50	pequena
0,20	0,456	0,50	0,90	Média
0,456	0,60	0,90	0,95	Grande
> 0,60		> 0,95		Muito grande

Fonte: Hawkins et al., 1985.

Nessas condições, para uma área impermeável com $CN = 99$ e $S = 2,6$ mm, quase todas as chuvas poderiam ser “grandes” eventos, ao passo que sobre uma bacia muito permeável e florestada com $CN = 40$ e $S = 381$ mm, uma chuva de 76 mm poderia ser “pequena”.

Conhecidos pares de valores de precipitação e escoamento superficial pode-se determinar o armazenamento potencial máximo S pela equação:

$$S = 5 \cdot \left(P + 2 \cdot Q - \sqrt{4 \cdot Q^2 + 5 \cdot P \cdot Q} \right) \quad Q > 0 \quad (2.43)$$

sendo S o armazenamento potencial máximo, P a precipitação total e Q a precipitação total excedente, ambos em mm.

De acordo com o critério mencionado anteriormente, baixos valores de P/S podem ser excluídos quando o objetivo for determinar o CN a partir de dados de campo. Um exemplo ideal poderia conter uma dispersão randômica balanceada de eventos para ambos os locais da AMC II, os quais poderiam ocorrer somente para situações de alto P/S . Eventos com baixo P/S teriam escoamento acima da AMC II (ver figura 2.12) e, portanto as análises para determinar um S médio de uma série de eventos usando a equação 2.43 poderiam excluir todos os pontos para os quais $P/S < 0,46$. Esse exercício é difícil porque S médio está definido ou estimado da mesma massa de dados usados para determinar a amostra dos pontos de aceitabilidade. Desta maneira, o processo consiste em cortar os dados de modo que todos os pontos permanecendo para calcular S médio tenham $P/S > 0,46$. Este procedimento está brevemente descrito a seguir (Hawkins et al., 1985):

Passo 1 – Coloca-se todos os pares de valores P e Q em ordem decrescente pela precipitação.

Passo 2 – Calcula-se S com a equação 2.43 para todos os eventos.

Passo 3 – Usa-se a maior precipitação observada e verifica se $P/S > 0,46$. Caso verdadeiro aceita-se o evento.

Passo 4 – Adiciona-se à próxima maior precipitação observada e calcula-se a média dos valores de S para os eventos considerados.

Passo 5 – Com o valor médio de S verifica se $P/S > 0,46$. Caso verdadeiro aceita-se o evento. Volta ao Passo 4. Assim sucessivamente até que a última P aceita dividida pela média dos valores de S sejam maiores que 0,46.

Segundo Hawkins et al. (1985) esse método leva para três pontos interessantes:

- ✓ Os dados “ $P/S > 0,46$ ” produzem baixos CN 's porque os eventos da alta AMC com baixa precipitação inferem em altos CN 's e estes são excluídos. Das 90 bacias analisadas tal procedimento resultou num CN menor do que o CN determinado pela média simples de todos os eventos;
- ✓ Nem todos os eventos são usados na determinação do CN . Citam em seu trabalho que na bacia de “Ephriam A” os dados não continham eventos para $P/S > 0,46$ e, portanto, o CN não pode ser definido. Comentam que este tipo de problema é minimizado sobre altos valores de escoamento com chuvas de grande intensidade, porém para um outro extremo, em locais de baixa resposta, como áreas florestada sobre solos permeáveis em regiões de chuva de intensidade fraca, pode requerer severas décadas de dados para incluir um evento de alto P/S .
- ✓ Enquanto o procedimento “ $P/S > 0,46$ ” corta os dados para minimizar o cálculo da tendência, ele também reduz efetivamente o tamanho da amostra, e assim inclui incertezas, as quais são função de $N^{0,5}$ (número de eventos).

2.3.2. Metodologia proposta por Hjelmfelt (1991)

Tentativas foram feitas para ajustar dados de infiltração com a equação do escoamento do método do número da curva de escoamento do SCS sem grandes sucessos. É difícil definir um procedimento para verificar um método de infiltração baseado em dados de infiltração. Teóricos tendem a culpar os dados considerando que experimentalistas tendem a creditar culpa as teorias inadequadas e talvez ambos estejam corretos, visto que a equação 2.13 não concorda com outras equações de infiltração. Ela é inútil para tentar provar que ela é de fato uma equação de infiltração (Hjelmfelt, 1991).

Hjelmfelt (1980) citado por Hjelmfelt (1991) procurou uma forma alternativa para a verificação da equação 2.13. Essa aproximação consiste basicamente em transformar a distribuição de frequência da precipitação aplicando a equação 3.1 para determinar a distribuição de frequência do escoamento. Para tanto, ajustou a distribuição Log-normal aos valores de precipitação total os quais foram plotados usando a formula de Wiebull. Os volumes totais de escoamento para os eventos de cheias máximas anuais foram tratados separadamente e a formula de Wiebull também foi usada para determinar as posições de plotagem. O teste foi feito para valores severos de precipitação com conhecida frequência de excedência os quais foram determinados usando o ajuste da distribuição Log-normal. Esses valores de precipitação foram convertidos pela equação 2.13 com o valor de CN para a AMC II (como obter este valor de CN será discutido posteriormente) e usado com a correspondente frequência de excedência da precipitação para definir a curva do escoamento sobre os pontos de escoamento observados.

A equação 2.13 ajustou razoavelmente bem como uma frequência transformada para testar eventos de bacias nas regiões central e sudoeste dos EUA, assim como numa bacia urbana. A concordância não foi muito boa para uma bacia testada no sudoeste semiárido. Em geral, a equação 2.13 apresentou boas condições onde o escoamento era uma substancial fração da precipitação (Hjelmfelt, 1991).

Havendo uma definição para a equação do escoamento como uma frequência transformada e, como resultado, um método para verificar a equação do escoamento, é necessário considerar o CN , ou o armazenamento potencial máximo S .

Hjelmfelt (1991) ao apresentar um gráfico de dispersão com a precipitação versus o escoamento levantou a questão: “Como interpretar o diagrama de dispersão?”. Em seguida apresenta outro diagrama de dispersão plotando o armazenamento potencial máximo versus a precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes, comentando que alta precipitação antecedente está associada com valores moderados de S ao passo que baixa precipitação antecedente está associada com altos valores de S .

Uma aproximação alternativa é dizer que a AMC não é função apenas da umidade, mas inclui efeitos de outras condições antecedentes e da própria precipitação, tais como umidade antecedente do solo, temperatura, evaporação, mudança na cobertura da terra, intensidade da precipitação, duração da precipitação, ou outro fator (Cronshey, 1983). A inclusão de todos estes fatores no procedimento do número da curva de escoamento a conduziria para um modelo físico de infiltração.

Adotando a hipótese de que o CN pode ser tratado como uma variável randômica, Hjelmfelt (1991) propôs que o armazenamento potencial máximo S pode ser ajustado pela distribuição de probabilidade Log-normal. O S associado a 50% de probabilidade acumulada é usado para determinar ou definir o CN para a AMC II.

Baseando-se em resultados anteriores (Hjelmfelt et al. 1982 citado por Hawkins et al., 1985) relacionou o CN para as AMC I e III com 10% e 90% de probabilidade de excedência, respectivamente, da variável aleatória S . Hjelmfelt (1991) verificou tais limites, transformando o CN da AMC II para as AMC I e III usando a indicação do SCS (ver tabela 2.5) e comparando-os com os valores determinados pelo ajuste da distribuição Log-normal, conclui que os resultados obtidos foram muito bons.

Segundo Hjelmfelt (1991), pesquisadores freqüentemente determinam o *CN* usando dados ajustados considerando todos os eventos somente para dois ou três anos de registro. Esta regularidade resulta em *CN's* que são muito maiores que os dados em tabelas.

O tratamento dos *CN's* como variáveis randômicas mostra a causa desses altos valores. O fato é que o *CN* da AMC II está associado com o valor que divide a família dos *CN's* em dois grupos iguais, e as curvas envoltórias dadas para os valores da AMC I e AMC III. Os baixos valores de precipitação associados com baixo *CN* não aparecem porque não existe escoamento e a média será baseada na tendência de altos valores de *CN*. Tal problema é minimizado ou eliminado quando os dados pertencem a uma série de cheias máximas anuais.

Na indisponibilidade de séries de máximos anuais, uma serie parcial pode ser usada. Neste caso, Hjelmfelt (1991) recomenda a metodologia proposta por Hawkins et al. (1985) para determinar o *CN*.

2.3.3. Otimização utilizada por Silva (1996)

Silva (1996), utilizando dados de precipitação e escoamento para vários tipos de cobertura e manejo agrícola, obtidos em instalações do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), definiu um algoritmo de otimização para ser utilizado com o SOLVER do EXCEL, no intuito de determinar o *CN*.

Numa primeira etapa reuniu os dados classificando-os dentro de cada AMC, tomando-se como base à precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes, conforme indicado na tabela 2.2.

Para cada cultura foi montada uma planilha de otimização, na qual seria determinado o *CN* para as três condições de umidade antecedente. O algoritmo elaborado para ser aplicado com o SOLVER está descrito a seguir:

Função Objetivo: $F_{obj}(CN_I, CN_{II}, CN_{III}) = \Sigma (Q_{obs} - Q_{cal})^2$

O problema foi encontrar o CN_I , CN_{II} e CN_{III} que:

Minimiza: $F_{obj}(CN_I, CN_{II}, CN_{III})$

Sujeito a: $P > 0,2.S_{cal}$
 $0 \leq CN \leq 100$

Sendo S_{cal} o armazenamento potencial máximo determinado pela equação 2.10 e Q_{cal} a precipitação excedente calculada com a equação 2.13, ambos de acordo com a AMC determinada previamente para todos os dados observados.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, porém não se obteve uma correlação entre os valores de CN_{II} com os CN 's da AMC I e AMC III como mostrado na literatura, chegando em alguns casos, a obter valores de CN menores para a AMC III do que os da AMC II, assim como para a AMC II comparada com a AMC I.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins

A bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins está localizada geograficamente entre as latitudes 22°41' e 22°51' sul e longitudes 47°40' e 47°45' oeste, à margem esquerda do rio Piracicaba, município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil, possuindo uma área aproximada de 59 Km² (Figura 3.1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo mesotérmico, Cwa, isto é, subtropical úmido com inverno seco (estiagem), as chuvas do mês mais seco não atingem 30mm e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C, e a média do mês mais frio é inferior a 18°C.

Historicamente, tem sido considerada o “cinturão verde” do município de Piracicaba, com grande produção de Hortícolas, o que a tornou uma área de grande importância para região (Moretti, 2001; Machado, 2002). Hoje a bacia é ocupada, na maior parte, pelo plantio da cana-de-açúcar e pastagens, a vegetação nativa encontra-se em trechos não contínuos e na parte baixa da bacia seguindo os cursos d'água, possui olarias e chácaras, notando-se um avanço da área urbana na parte inferior da bacia, o que a torna um exemplo de área problema quanto à ocorrência de usos competitivos (agrícola x urbano) (Machado, 2002).

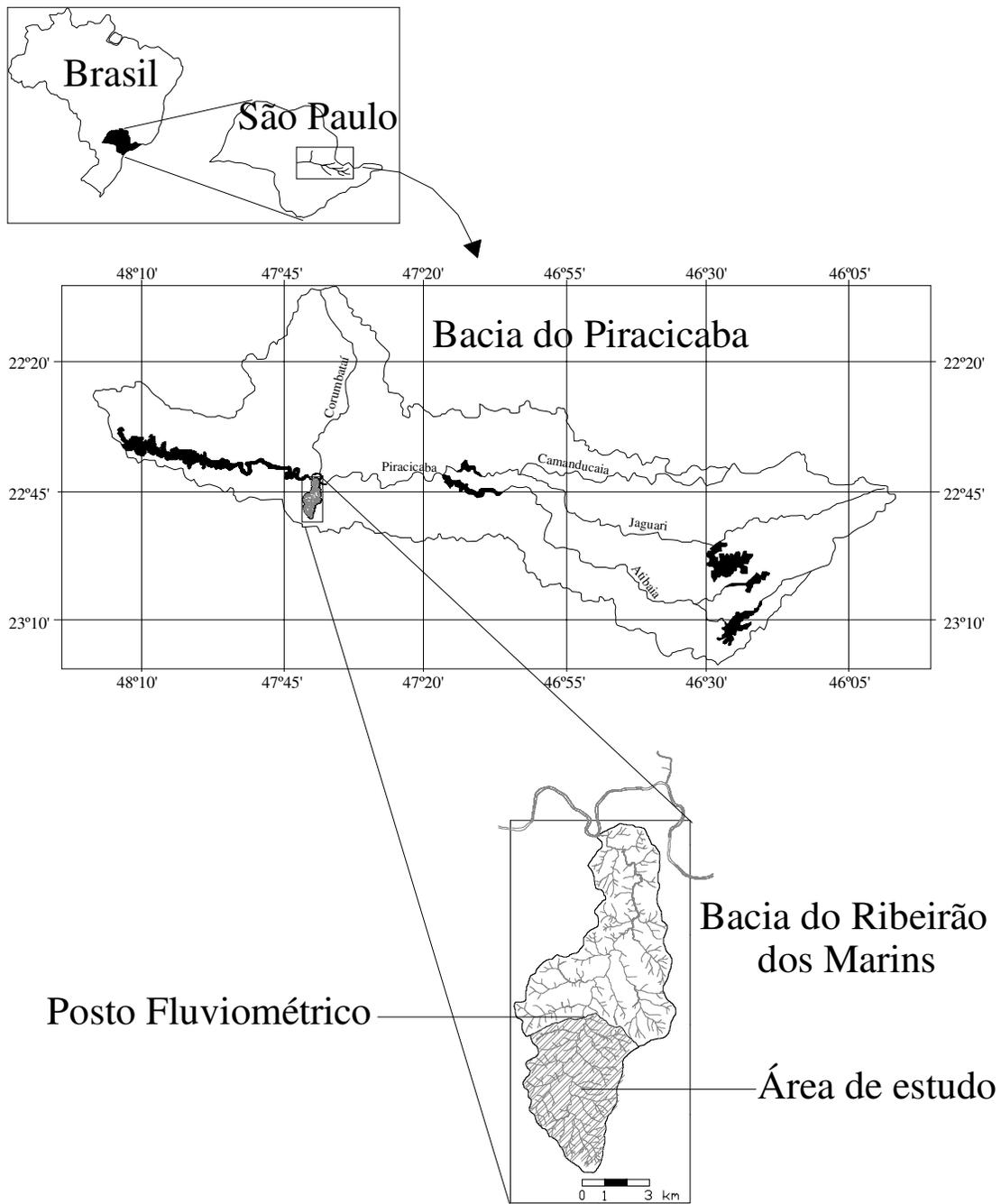


Figura 3.1: Localização da Bacia do Ribeirão dos Marins

Fonte: Adaptado de Machado, 2002.

A área objeto deste estudo é a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins (MHRM), denominada de Sub-Bacia “Monjolinho” (Moretti, 2001). Está localizada na porção superior da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins, a montante do posto fluviométrico 4D-006, com área aproximada de 21,87 km².

O motivo da escolha desta microbacia é que ela está sendo monitorada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP) e pelo Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (CTH/USP) desde dezembro de 1998, o que possibilitou a disponibilidade de dados hidrológicos, além de possuir mapas de solo e de uso da terra, fruto de pesquisas anteriores sobre a bacia.

3.2. Mapa topográfico

Foram usadas as cartas planialtimétricas (Tabela 3.1) do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) na escala 1:10.000, equidistância entre curvas de nível igual a 5 metros, pertencentes ao Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, Secretaria da Economia e Planejamento, Coordenadoria de Ação Regional, divisão de Geografia, 1.^a Edição, com fotos aéreas de 1976 e 1977.

Tabela 3.1: Nome das cartas do IGC utilizadas

Nome	Nomenclatura	Articulação	Ano
Bairro Volta Grande	(SF-23-Y-A-IV-4-NO-A)	073/088	1978
Sete Barrocas	(SF-23-Y-A-IV-4-NO-D)	074/088	1978
Mato Alto	(SF-23-Y-A-IV-4-NO -E)	075/088	1977

Estas cartas foram digitalizadas e exportadas em formato dxf. No AutoCad2000, importou-se às curvas de nível e delimitou-se a bacia (Figura 3.2).

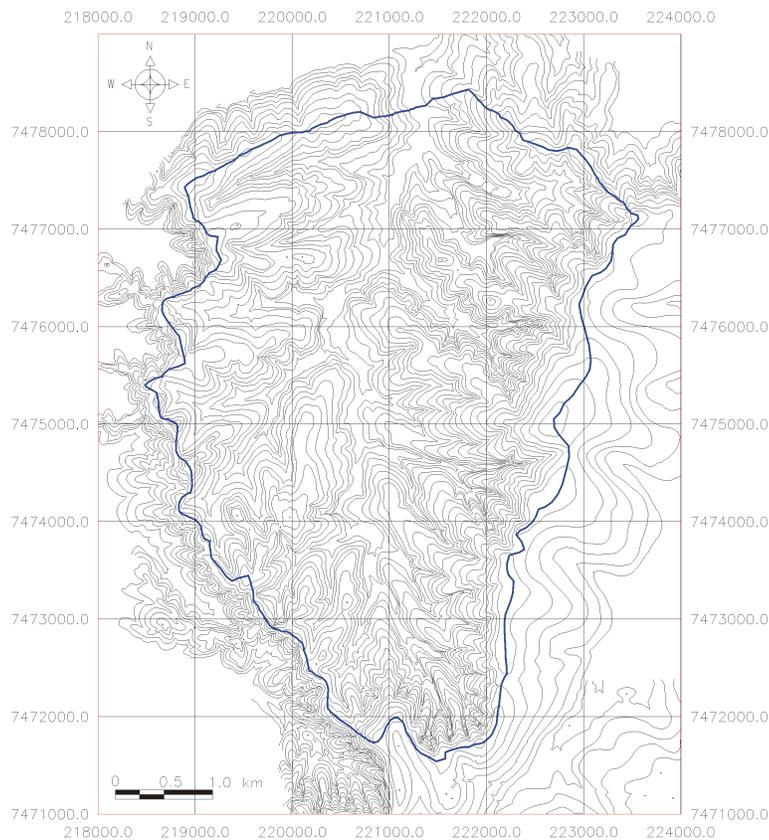


Figura 3.2: Topografia e delimitação da área da MHRM (Projeção UTM – Sad 69, MC: W 45° 00' 00'')

3.3. Mapa de solos

As informações sobre as classes de solos que ocorrem na bacia foram obtidas da Carta Pedológica Semidetalhada do Estado de São Paulo: Quadrícula de Piracicaba (SF-23-Y-A-IV), escala 1:100.000 (Oliveira e Prado, 1989) e do Levantamento detalhado dos solos da bacia, escala 1:20.000 (Ranieri, 1996). Ambos os mapas foram digitalizados, convertidos e fornecidos no modelo temático do Idrisi v.2.0 por Machado (2002). Estes mapas, a partir do Idrisi, foram exportados para o formato dxf e importados no AutoCad2000. Neste, fez-se o recorte da área de estudo e exportou-se para o formato dxf. No Corel Draw v.9, os mapas foram importados e convertidos para uma imagem colorida no formato tiff. No Spring v.3.6, importou-se estas imagens, as quais foram registradas e convertidas em mapas temáticos (Figuras 3.3 e 3.4).

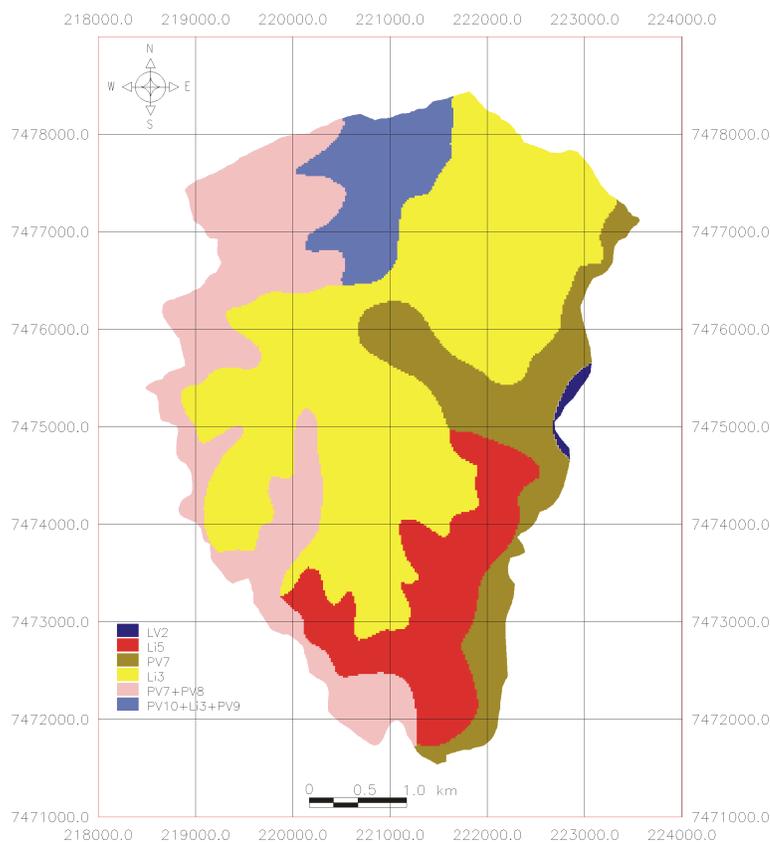


Figura 3.3: Mapa de solos Semidetalhado da MHRM (Projeção UTM – Sad 69, MC: W 45° 00' 00'')

Fonte: Adaptado de Machado, 2002.

Legenda expandida das classes de solos segundo Oliveira e Prado (1989):

LV2: Latossolo Vermelho - Amarelo Alico, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda.

Li5: Solo Litólico Eutrófico, A moderado ou chernozêmico, substrato arenito das formações Botucatu ou Pirambóia.

PV7: Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos abruptos, A moderado e espesso, textura arenosa/média. Unidade Serrinha.

PV8: Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos abruptos, A moderado e espesso, textura arenosa/média, pouco profundos. Unidade Serrinha fase pouco profunda.

PV9: Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos Tb abruptos, A moderado, textura arenosa/argilosa ou média/argilosa. Unidade Santa Cruz.

PV10: Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos Eutróficos, A moderado, textura média/argilosa pouco profundos. Unidade Manduca.

Li3: Solos Litólico Eutrófico ou Distrófico, A moderado, proeminente ou chernozêmico, substrato sedimentos indiscriminados do Grupo Passa Dois.

PV7+ PV8 e PV10+Li3+PV9 representam unidades de mapeamento com mais de uma unidade taxonômica simples ou grupamentos indiscriminados colocados em ordem decrescente de ocorrência e pelo sinal de +.

Como uma contribuição do Prof. Dr. João Bertoldo de Oliveira, são apresentadas na tabela 3.2 à correspondência entre a nomenclatura antiga utilizada pela Comissão de Solos e Semidetalhados e a do atual SBCS (Embrapa, 1999) das classes de solos registradas no mapa de solo semidetalhado da MHRM.

Tabela 3.2: Correspondência entre a nomenclatura anteriormente utilizada pela Comissão de Solos e Semidetalhados e a nomenclatura do atual SBCS (Embrapa, 1999).

Legenda Mapa	Legenda expandida das classes de solos segundo Oliveira e Prado (1989)	Legenda Embrapa (1999)
LV2	Latossolo Vermelho - Amarelo Alico, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda.	Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda.
Li5	Solo Litólico Eutrófico, A moderado ou chernozêmico, substrato arenito das formações Botucatu ou Pirambóia.	Neossolo Litólico eutrófico chernossólico e Neossolo Litólico eutrófico típico A moderado, ambos substrato arenito das formações Botucatu ou Pirambóia.
PV7	Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos abruptos, A moderado e espesso, textura arenosa/média. Unidade Serrinha.	Grupamento indiscriminado de Argissolos Vermelho - Amarelos arênicos abruptos A moderado textura arenosa/média. Unidade Serrinha.
PV8	Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos abruptos, A moderado e espesso, textura arenosa/média, pouco profundos. Unidade Serrinha fase pouco profunda.	Grupamento indiscriminado de Argissolos Vermelho - Amarelos arênicos abruptos, A moderado textura arenosa/média, pouco profundos. Unidade Serrinha fase pouco profunda.
PV9	Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos Eutróficos, A moderado, textura média/argilosa pouco profundos. Unidade Manduca.	Grupamento indiscriminado de Argissolos Vermelho - Amarelos abruptos, A moderado, textura arenosa/argilosa ou média/argilosa. Unidade Santa Cruz.
PV10	Grupamento indiscriminado de Podzólicos Vermelho - Amarelos Eutróficos, A moderado, textura média/argilosa pouco profundos. Unidade Manduca.	Grupamento indiscriminado de Argissolos Vermelho - Amarelos Eutróficos, A moderado, textura média/argilosa pouco profundos. Unidade Manduca.
Li3	Solos Litólico Eutrófico ou Distrófico, A moderado, proeminente ou chernozêmico, substrato sedimentos indiscriminados do Grupo Passa Dois.	Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico, Neossolo Litólico distrófico A moderado, Neossolo Litólico distrófico, todos substrato sedimentos indiscriminados do Grupo Passa Dois.

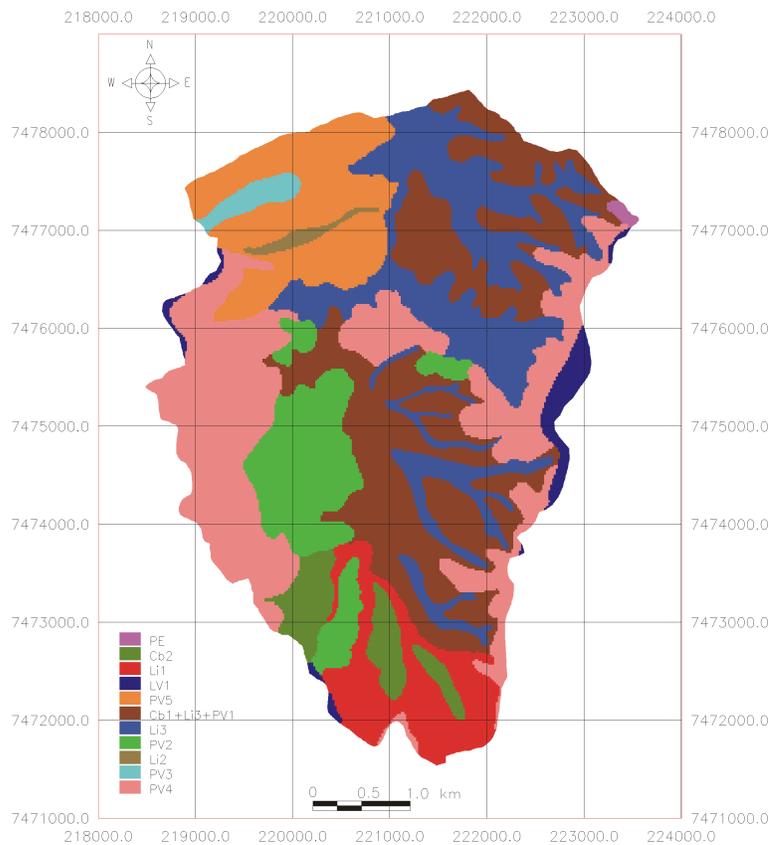


Figura 3.4: Mapa de solos detalhado da MHRM (Projeção UTM – Sad 69, MC: W 45° 00' 00'')

Fonte: Adaptado de Machado, 2002.

Legenda expandida das classes de solos segundo Ranieri (1996):

PV1: Podzólico Vermelho-Amarelo indiscriminado fase pouco profundo, substrato siltito e folhelho da formação Corumbataí;

PV2: Podzólico Vermelho-Amarelo, álico ou distrófico, Ta ou Tb, A moderado, textura média/argilosa;

PV3: Podzólico Vermelho-Amarelo, textura arenosa/argilosa abruptos;

PV4: Podzólico Vermelho-Amarelo, textura arenosa/média;

PV5: Podzólico Vermelho-Amarelo, textura média/argilosa;

Li1: Solo Litólico, textura arenosa;

Li2: Solo Litólico, textura média;

Li3: Solo Litólico álico ou distrófico, Ta ou Tb, A moderado, textura argilosa, substrato siltito da formação Corumbataí;

Cb1: Cambissolo indiscriminado, substrato siltito e folhelho da formação Corumbataí;

Cb2: Cambissolo textura média;

PE: Podzólico Vermelho Escuro, textura argilosa ou argilosa/muito argilosa;

LV1: Latossolo Vermelho-Amarelo, álico ou distrófico, a moderado, textura média.

3.4. Mapa de uso ou cobertura da terra

O mapa de uso foi determinado com apoio de levantamentos de campo e de fotografias aéreas realizadas na bacia (Moretti, 2001). Este mapa, fornecido pelo próprio autor, foi digitalizado, exportado em formato dxf com o AutoCad2000. Posteriormente, no formato dxf, foi importado e convertido para uma imagem colorida no formato tiff pelo Corel Draw v.9. No Spring v.3.6, importou-se esta imagem, a qual foi registrada e convertida em mapa temático (Figura 3.5).

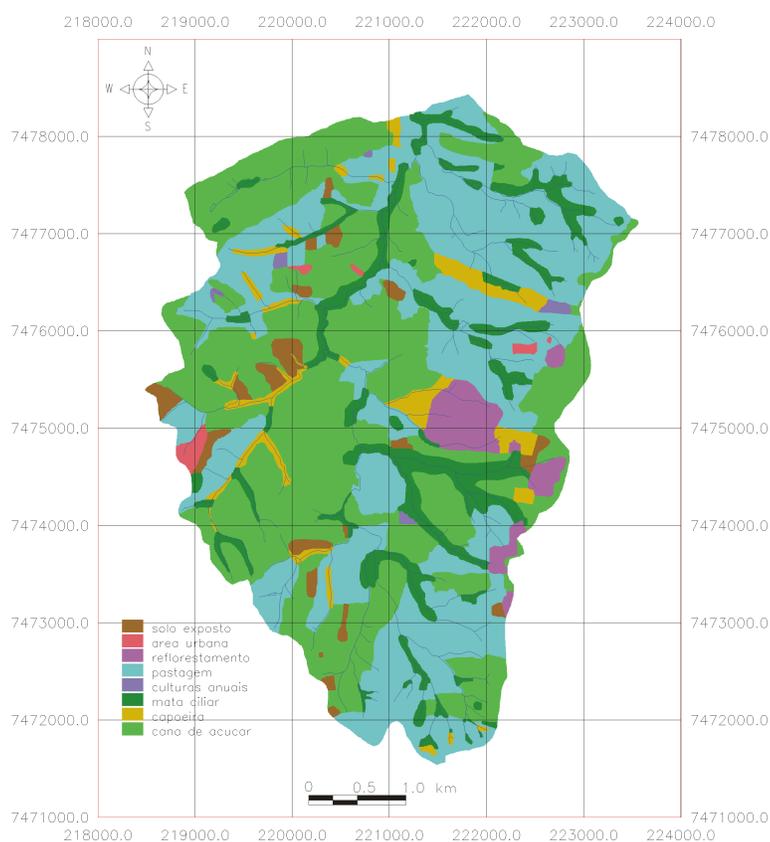


Figura 3.5: Mapa de cobertura da terra da MHRM (Projeção UTM – Sad 69, MC: W 45° 00' 00'')

Fonte: Adaptado de Moretti, 2001.

3.5. Dados hidrológicos

Os dados utilizados neste trabalho compreendem o período de Janeiro de 1999 a Fevereiro de 2002, provenientes dos postos (chuva e vazão) instalados na MHRM, os quais foram incorporados à rede do DAEE/CTH. Atualmente são operados seis postos para medir chuvas e um posto hidrossedimentométrico (4D-006) cuja função é medir as vazões mínimas, médias e máximas através da variação de nível e sedimentos. Dos seis postos para medir chuvas, dois são dotados de pluviógrafos mecânicos (D4-116R e D4-118R) e todos de pluviômetros. A tabela 3.3 apresenta os postos com seu prefixo, denominação e coordenadas.

Tabela 3.3: Coordenadas Geográficas e UTM dos postos de monitoramento hidrológico

Prefixo	Posto	Latitude	Longitude	Norte*	Este*
D4-113	MONJOLINHO A	22°49'25'' S	47°43'38'' W	7473411,954	220072,850
D4-114	MONJOLINHO B	22°48'52'' S	47°44'05'' W	7474413,244	219283,812
D4-115	MONJOLINHO C	22°47'40'' S	47°41'20'' W	7476715,362	223950,674
D4-116R	MONJOLINHO D	22°46'49'' S	47°42'45'' W	7478240,488	221496,617
D4-117	MONJOLINHO E	22°47'43'' S	47°43'05'' W	7476568,233	220956,461
D4-118R	MONJOLINHO F	22°49'15'' S	47°42'52'' W	7473743,880	221379,418
4D-006	MONJOLINHO	22°46'51'' S	47°42'51'' W	7478170,000	221300,000

* Coordenadas UTM determinadas com base na longitude do meridiano central igual 45°

Fonte: Moretti, 2001.

O posto hidrossedimentométrico possui um vertedor do tipo crista curta, desenvolvido pelo SCS com registros de níveis logo a montante e a jusante deste vertedor. As equações cotadescarga do posto fluviométrico são (Moretti, 2001):

$$\text{para } H_m < 1,24 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = f.0,00182. H_m^{20,53} \quad (3.1)$$

$$\text{para } 1,24 \text{ m} \leq H_m < 1,92 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = f.0,0303. H_m^{7,516} \quad (3.2)$$

$$\text{para } 1,92 \text{ m} \leq H_m < 1,99 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = f.0,133. H_m^{5,247} \quad (3.3)$$

$$\text{para } 1,99 \text{ m} \leq H_m < 3,01 \text{ m} \quad \rightarrow \quad q = 3,12. \left[\frac{(H_m - 0,835)}{0,786} \right]^{1,067} \quad (3.4)$$

$$\text{para } 3,01 \text{ m} \leq H_m < 3,20 \text{ m} \rightarrow q = 3,12 \cdot \left[\frac{(H_m + 0,09)}{1,114} \right]^{1,067} \quad (3.5)$$

$$\text{para } H_m > 3,20 \text{ m} \rightarrow q = 0,233 \cdot \left[\frac{(H_m + 0,09)}{1,114} \right]^{3,493} \quad (3.6)$$

sendo H_m a leitura do nível d'água a montante do vertedor, f o coeficiente de redução de vazão em função da submergência (afogamento) do vertedor, dado na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Coeficiente de redução de vazão do vertedor

Submergência $s=(H_j - 1,0)/(H_m - 1,0)$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
f	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89	0,84	0,73	0,50	0,22

H_m e H_j são, respectivamente, o nível d'água medido a montante e a jusante do vertedor.

Fonte: Moretti, 2001.

3.6. Dados de precipitação e escoamento proveniente de sistemas coletores

Os sistemas coletores ou talhões são parcelas experimentais monitoradas para se determinar às perdas de solo pela erosão e também o escoamento superficial em diversas condições de uso e tratamento da terra.

Os dados disponibilizados, fornecidos pelo Professor Dr. Francisco Lombardi Neto, pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas, são resultados de anos de experimentos realizados pelo IAC em dois municípios do interior do Estado de São Paulo, Campinas e Mococa.

Os dados coletados pertencem a talhões de 1875 m² e 100 m². Os talhões medem 75 e 25 metros de comprimento no sentido do declive por 25 e 4 metros de largura. O sistema coletor de solo e escoamento, adaptado a jusante da soleira em cada parcela (talhão), foi construído de alvenaria, inclusive a soleira e a parede divisória. O sistema coletor de 1875 m² possui três tanques e os de 100 m² possui dois tanques, ambos ligados em série por um divisor do tipo Geib. Para parcelas de 100 m², o fluxo da enxurrada proveniente do primeiro tanque é fracionado pelo

divisor, obtendo-se uma fração alíquota correspondente àquela que passa pela janela central da série e é conduzida ao segundo tanque para ser medido. Para parcelas de 1875 m², o fluxo da enxurrada proveniente do segundo tanque também é fracionado e a medida é feita no terceiro tanque. Do volume total medido é subtraída a precipitação que cai diretamente nos tanques e na calha coletora, que são descobertos (Bertoni, 1949; Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

Para a quantificação da altura da precipitação, foi instalado numa área contígua ao experimento, um pluviômetro do tipo Ville de Paris, com 400 cm² de área de captação. As leituras, tanto da precipitação ocorrida como da enxurrada, foram realizadas diariamente.

Os dados fornecidos para este estudo foram os seguintes:

Município de Campinas

<i>Localização</i>	47°05' de longitude oeste e 22°54' de latitude sul
<i>Altitude</i>	601 a 721 m, 674 m (posto meteorológico)
<i>Clima</i>	Temperatura média anual: 20,7° C; média máxima anual: 27,3° C; média mínima anual: 15,9° C; Precipitação média anual: 1381,2 de acordo com as normais climatológicas da Seção de Climatologia Agrícola. Classificação de Köppen: CWA (mesotérmico úmido, com verões quentes)
<i>Tipo de Solo</i>	Latossolo Roxo distrófico, A moderado, textura argilosa, unidade Barão Geraldo LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (Embrapa, 1999)
<i>Dados de precipitação e escoamento</i> (talhões de 1875 m ²)	Milho, preparo convencional e cultivos mecânicos 1973 a 1979. Milho, plantio direto 1973 a 1979. Milho, preparo com grade pesada e plantio morro abaixo 1982 a 1988. Milho, plantio direto e plantio morro abaixo 1982 a 1988.
<i>Dados de precipitação e escoamento</i> (talhões de 100 m ²)	Sem cultura, mas com 250 kg/ha de restos culturais de milho na superfície 1986 a 1988. Sem cultura, mas com 8000 kg/ha de restos culturais de milho na superfície 1986 a 1988. Milho, plantio morro abaixo, restos culturais queimados 1973 a 1980. Milho contínuo, plantio morro abaixo, restos culturais incorporados 1973 a 1980. Milho contínuo, plantio em contorno, restos culturais incorporados 1973 a 1980. Milho contínuo, plantio morro abaixo, restos culturais na superfície 1973 a 1980. Soja convencional, restos incorporados/ Trigo, convencional, plantio morro abaixo, restos incorporados 1980 a 1986. Soja convencional, restos incorporados/ Trigo, convencional, plantio morro abaixo, restos queimados 1980 a 1986. Soja, plantio direto, restos na superfície/ Trigo, plantio direto, plantio morro abaixo, restos na superfície 1980 a 1986. Soja plantio direto, restos incorporados/ Trigo, convencional, plantio morro abaixo, restos na superfície 1980 a 1986. Cana-de-açúcar 1954 a 1972. Cana-de-açúcar 1973 a 1979. Descoberto 1979 a 1985.

Município de Mococa

<i>Localização</i>	47°01' de longitude oeste e 21°28' de latitude sul
<i>Altitude</i>	665 m (posto meteorológico)
<i>Clima</i>	Temperatura média anual: 21,8° C; média máxima anual: 28,3° C; média mínima anual: 16,4° C; Precipitação média anual: 1500,2 de acordo com as normais climatológicas da Seção de Climatologia Agrícola. Classificação de Köppen: Aw (tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno)
<i>Tipo de solo</i>	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, Tb, A chernozêmico, textura argilosa/muito argilosa. ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico textura argilosa/muito argilosa (Embrapa, 1999)
<i>Dados de precipitação e escoamento (talhões de 100 m²)</i>	Descoberto 1979 a 1985.

3.7. Características físicas da bacia

As principais características físicas da Microbacia do Ribeirão dos Marins que constam na tabela 3.5 são:

- Área da bacia de drenagem;
- Perímetro da bacia de drenagem;
- Coeficiente de compacidade: é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo igual à área de bacia, calculado por:

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P_b}{\sqrt{A}}$$

sendo A a área da bacia em km^2 e P_b o perímetro da bacia em km.

- Declividade média da bacia - S_m . Esta foi determinada pelo método das quadrículas que consiste em determinar a distribuição porcentual das declividades dos terrenos por meio de uma amostragem estatística de declividades normais às curvas de nível em um grande número de pontos na bacia (Villela e Mattos, 1975);
- Declividade equivalente do talvegue principal S_2 . Foi obtida pela inclinação da reta que sob si tem uma área equivalente aquela sob o perfil longitudinal do curso d'água principal;

- Comprimento do talvegue principal da bacia - L ;
- Diferença de cotas entre o ponto mais afastado da bacia e o exutório - H ;
- Tempo de concentração. Foi determinado pela equação 2.37:

Tabela 3.5: Principais características físicas da MHRM

Área da bacia de drenagem	A	21,87 km ²
Perímetro da bacia de drenagem	P_b	21,36 km
Coefficiente de compacidade	K_c	1,28
Diferença de cotas entre o ponto mais afastado da bacia e o exutório	H	123 m
Comprimento do talvegue principal da bacia	L	8967 m
Declividade do talvegue principal	S'	13,72 m/km
Declividade equivalente do talvegue principal	S_2	5,78 m/km
Declividade média da bacia	S_m	0,11 m/m
Tempo de concentração*	t_c	1,88 horas
Tempo de concentração**	t_c	2,62 horas

* Calculado com S' .

** Calculado com S_2 .

3.8. Determinação do hidrograma de escoamento superficial, hietograma da chuva observada, chuva total excedente e o hidrograma unitário médio

Inicialmente foram reunidos os dados disponíveis para bacia. Do período de Janeiro de 1999 a Dezembro de 2000 foram usados os mesmos dados trabalhados por Moretti (2001) e Machado (2002). Para os anos posteriores, foram efetuadas as leituras dos pluviogramas correspondentes aos eventos previamente selecionados pelas maiores cotas observadas. A partir das leituras do limnigrama e do “DATA LOGGER”, e usando as curvas cota-vazão foi obtido o fluviograma para o período de Janeiro de 2001 a Fevereiro de 2002.

As curvas cota-vazão para o posto fluviométrico em questão (4D-006), foram desenvolvidas pela equipe técnica do CTH/DAEE, utilizando medições do nível d'água a montante e a jusante do vertedor, e na seção junto à ponte da rodovia PI40, localizada a 50 metros a jusante do vertedor.

As leituras do nível d'água para a elaboração das curvas cota-vazão medidas a montante do vertedor, foram registradas até o nível de 415 cm, o qual corresponde a uma vazão de 24,8 m³/s. Como os dados utilizados neste estudo não ultrapassaram a cota máxima observada para a elaboração das curvas cota-vazão, não houve a necessidade de extrapolação da mesma. Apenas uma verificação dos registros dos níveis d'água foi realizada.

A fase seguinte consistiu em analisar os dados de vazão e precipitação, construindo num mesmo gráfico o fluviograma e o hietograma para os períodos de dados previamente selecionados, o qual auxiliou na escolha das maiores e mais isoladas enchentes.

A seleção final resultou em vinte hidrogramas observados, para os quais também foram anotadas as precipitações correspondentes.

Para se obter o hidrograma de escoamento superficial observado, foi feita a separação dos escoamentos utilizando o método da curva depletiva (ver figura 2.2 e item 2.1.2). A chuva excedente total foi calculada pela equação 2.10. O hidrograma unitário (HU) para cada evento foi obtido dividindo-se todas as ordenadas pela sua correspondente chuva total excedente. A duração da chuva excedente D para cada HU foi obtida pelo método do índice ϕ .

Os HU's escolhidos para determinar o HU médio representativo da bacia foram aqueles cuja duração da chuva excedente permitiu agrupar pelo menos quatro eventos. Para cada grupo desenhou-se o HU médio representativo alinhando-os pelo pico. A cada HU representativo aplicou-se o procedimento da curva-S encontrando novos HU's, para a duração da chuva excedente determinada com a equação 2.12. Alinhando esses novos HU's pelo pico, desenhou-se o HU médio representativo da bacia.

3.9. Aplicação do método do SCS com as diferentes classificações hidrológicas do solo

O complexo hidrológico solo-cobertura da terra é a parte fundamental para a composição do *CN* médio da bacia e este a principal variável para estimar a chuva excedente aplicando a metodologia do SCS. Obteve-se os complexos hidrológicos pela análise de tabulação cruzada do Spring v.3.6 cujo produto final foram às áreas das intersecções entre as classes dos planos de informação de solo (semidetalhado e detalhado) e de cobertura da terra, ou seja, as áreas de cada complexo hidrológico.

Os *CN*'s médio foram obtidos por meio de uma composição ponderada considerando os diversos complexos hidrológicos solo-cobertura da terra ocorridos no interior da bacia, segundo as classificações hidrológicas do solo de Lombardi Neto et al. (1989) e do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964).

Da comparação entre os *CN*'s obtidos dos mapas de solo com diferentes escalas, adotou-se os *CN*'s determinados a partir do mapa de solo semidetalhado para aplicação da metodologia do SCS, levando-se em consideração as condições hidrológicas superficiais e adotando a condição hidrológica superficial média.

Foram realizadas seis simulações. Nas duas primeiras aplicou-se o modelo chuva-vazão do SCS (ver item 2.2.3) às precipitações dos eventos observados para os *CN*'s calculados e também para o *CN* observado de cada evento. Na terceira e quarta repetiu-se o procedimento da primeira, porém calculou-se o tempo de concentração da bacia substituindo a declividade S_1 pela declividade S_2 para definir o novo HUT-SCS que seria aplicado. Para tanto, utilizou-se uma rotina de computador em linguagem Basic (Genovez, 1991) com toda a metodologia do SCS.

Para as duas últimas simulações, determinou-se o hietograma da chuva excedente utilizando o método do número da curva de escoamento superficial do SCS (ver item 2.2.3a), com os mesmos valores de *CN* adotados para as simulações anteriores. O hidrograma final foi

obtido aplicando-se o HU médio determinado a partir dos eventos observados e não o HUT do SCS. Os resultados obtidos foram comparados entre si e com os eventos observados.

3.10. Determinação do CN a partir de dados de campo

O período de registro para a maioria dos dados coletados nos talhões experimentais é inferior a dez anos de dados e conforme sugere Hjelmfelt (1991) a metodologia proposta por Hawkins et al. (1985) foi aplicada a cada grupo de dados. Inicialmente determinou-se o armazenamento potencial máximo S para cada par de valores P e Q observado. Os dados foram ordenados de maneira decrescente pela precipitação. Verificou-se se a maior precipitação satisfizesse a condição $P/S > 0,46$. Adicionou-se a próxima maior precipitação e calculou-se a média dos valores de S para os eventos considerados. Com o valor médio de S verificou-se se a nova precipitação adicionada satisfizesse a condição $P/S > 0,46$ e assim sucessivamente até que todos os dados permanecendo para o cálculo de S permitissem a relação $P/S > 0,46$. O CN para a AMC II foi estabelecido com a equação 2.22 para o último valor definido para S .

Uma metodologia alternativa baseada na otimização aplicada por Silva (1996) também foi usada para determinar o CN correspondente a AMC II. A ferramenta de otimização utilizada foi o Solver, suplemento de análise do EXCEL2000, versão para Windows. Um arquivo com uma planilha para cada grupo de dados foi montada e nela a função objetivo $Fobj(S) = \sum (Q - Q_{cal})^2$. O S correspondente a AMC II foi aquele que definiu um valor mínimo para a função objetivo obedecendo as restrições: $S_{\text{mínimo observado}} \leq S \leq S_{\text{máximo observado}}$; $0 \leq CN \leq 100$; e $Q_{\text{médio observado}} = Q_{\text{médio calculado}}$. Com o valor representativo de S determinado pela otimização, calculou-se o CN com a equação 2.22.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Hidrograma Unitário médio observado

Considerando-se que as contribuições da chuva que cai diretamente sobre a calha do rio e da parcela do escoamento subsuperficial são muito pequenas comparadas com a contribuição do escoamento superficial, elas foram desprezadas. Assim, obteve-se para os vinte eventos de cheia observada o hidrograma de escoamento superficial (HES) adotando a hipótese de que o hidrograma de cheia era composto por apenas duas contribuições, os escoamentos básico e superficial, sendo que neste último estão inclusas as duas contribuições desprezadas.

Para cada hidrograma de escoamento superficial obteve-se o hidrograma unitário e a duração unitária da chuva excedente. A tabela 4.1 mostra as características dos HES's e dos HU's determinados para todos os eventos observados. Observa-se na tabela 4.1 que a duração unitária dos HU's observados variou de 15 a 300 minutos sendo o maior número de ocorrência para D igual a 45 minutos seguido pelas durações de 30 e 105 minutos com 4 e 3 eventos respectivamente.

Os HU's observados foram agrupados segundo as durações unitárias com maior número de ocorrências, para as quais desenhou-se o HU médio representativo do grupo, mantendo o volume unitário de 1 mm sobre a área da bacia. Também foi incluso o evento 19 no grupo com duração unitária de 105 minutos visto que uma tolerância de 25% quanto à duração adotada para a obtenção HU é aceitável (Linsley e Franzini, 1978). As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram o traçado dos HU's médio representativos das durações unitárias de 30, 45 e 105 minutos.

Tabela 4.1: Características dos hidrogramas observados

Evento	Data e hora de Pico	Hidrograma observado de escoamento superficial			Hidrograma unitário observado			
		t_p (h)	t_b (h)	q_p (m^3/s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p ($m^3/s*mm$)	D (min)
01	03/01/1999 22:30	1,75	22,00	5,79	1,75	22,00	1,25	45
02	13/01/1999 21:35	2,50	13,25	18,94	2,50	13,25	1,62	30
03	15/01/1999 04:35	5,25	29,25	23,89	5,25	29,25	0,86	300
04	02/02/1999 22:20	4,00	26,00	8,91	4,00	26,00	0,94	60
05	12/02/1999 04:00	3,25	20,75	10,63	3,25	20,75	0,99	45
06	25/02/1999 03:00	4,00	24,00	5,10	4,00	24,00	1,00	45
07	01/03/1999 19:00	1,75	16,25	5,32	1,75	16,25	1,40	45
08	11/03/1999 11:50	6,25	30,50	22,18	6,25	30,50	0,81	285
09	13/12/1999 20:50	4,75	22,75	7,32	4,75	22,75	0,95	15
10	07/01/2000 20:55	3,50	28,00	15,70	3,50	28,00	0,98	150
11	15/09/2000 19:10	2,75	14,75	7,08	2,75	14,75	1,33	45
12	27/12/2000 23:15	1,50	27,00	13,43	1,50	27,00	1,01	30
13	25/01/2001 18:05	1,75	23,50	6,66	1,75	23,50	1,65	30
14	29/01/2001 05:10	5,00	29,00	11,58	5,00	29,00	0,82	165
15a	10/03/2001 02:25	3,50	21,50	7,26	3,50	21,50	0,94	105
15b	10/03/2001 10:40	3,25	16,00	14,10	3,25	16,00	1,21	105
16	29/11/2001 05:30	4,75	21,75	3,92	4,75	21,75	0,84	30
17	09/01/2002 01:25	3,75	28,00	15,82	3,75	28,00	1,03	60
18	01/02/2002 18:15	2,75	26,75	23,42	2,75	26,75	1,49	105
19	09/02/2002 10:20	3,00	19,50	22,53	3,00	19,50	1,22	90

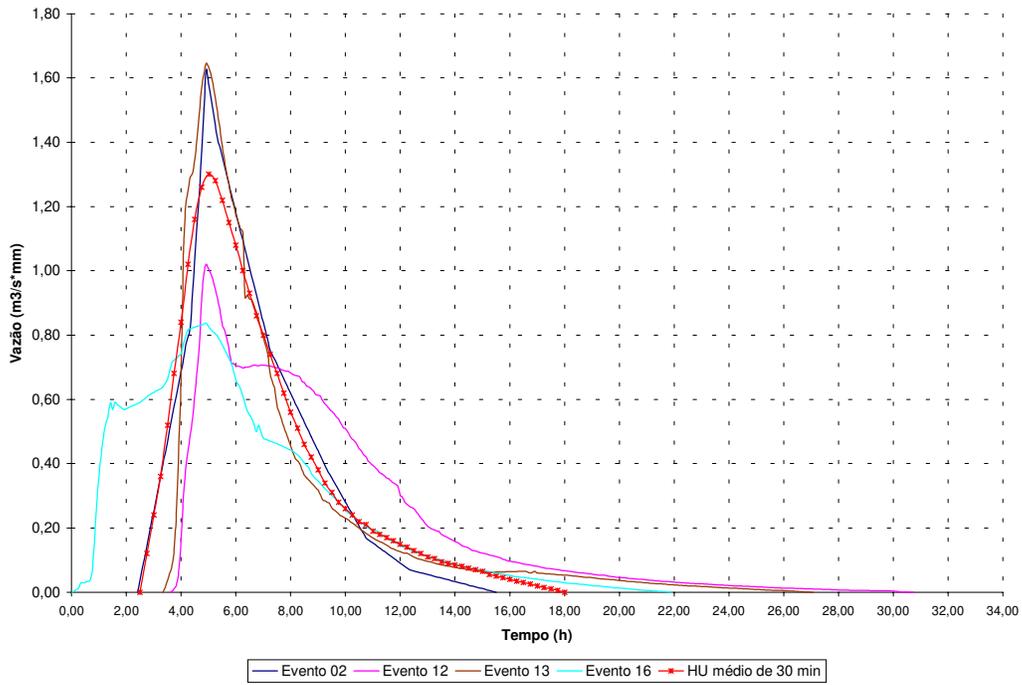


Figura 4.1: Obtenção do HU de 30 minutos

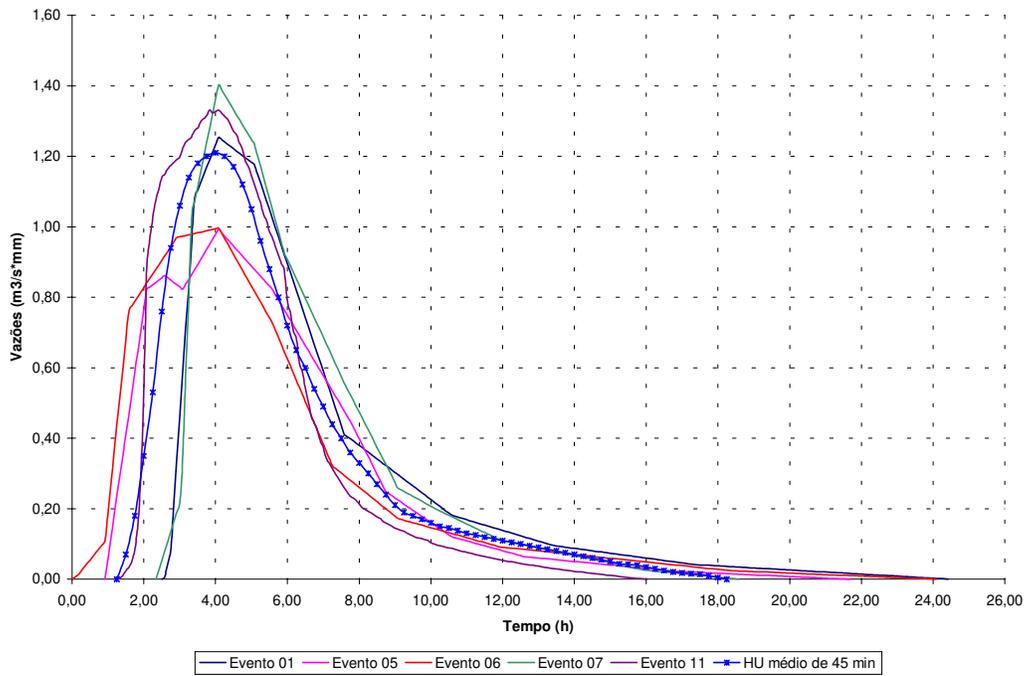


Figura 4.2: Obtenção do HU de 45 minutos

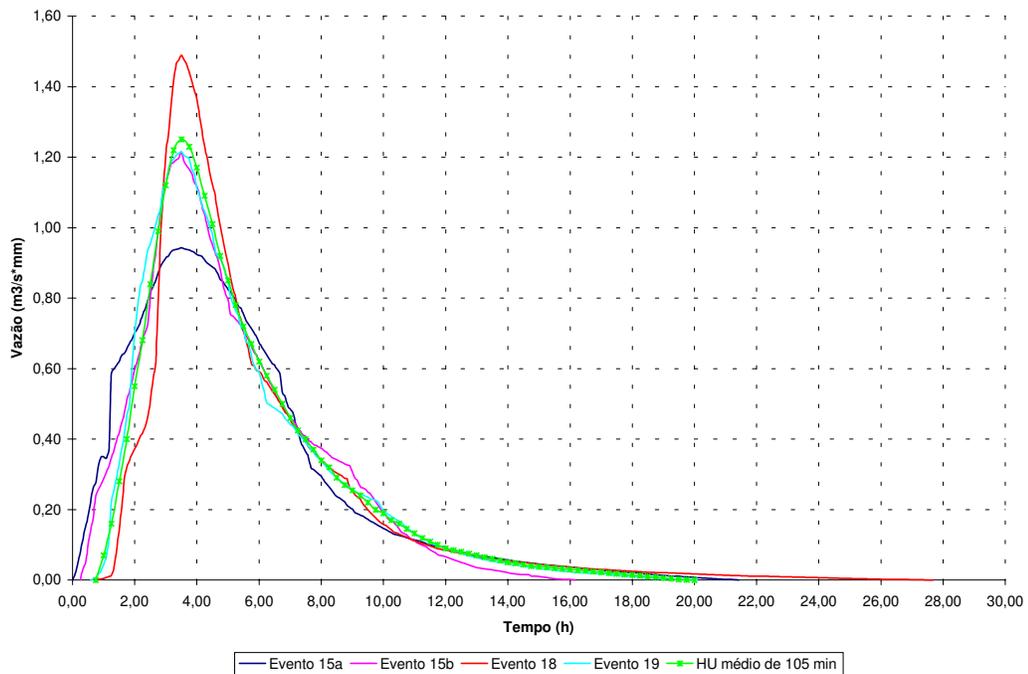


Figura 4.3: Obtenção do HU de 105 minutos

Determinou-se para cada um dos HU's médios mostrados nas figuras 4.1 a 4.3, a curva-S. Devido à natureza não linear da curva-S, optou-se por um ajuste não linear por entre os pontos da mesma, os quais apresentaram oscilações mais intensas com o aumento da duração unitária.

Como a curva-S não possui uma função pré-definida, optou-se por ajustar funções polinomiais para trechos da curva-S. Um ponto importante foi à concordância entre os polinômios definidos para cada intervalo, pois não foi suficiente obter um coeficiente de determinação muito próximo da unidade, teve-se que procurar uma concordância mais perfeita possível perceptível a olho nu. Como a concordância perfeita não foi obtida, pôde-se observar oscilações localizadas nos HU's obtidos a partir da curva-S, cujas abscissas corresponderam aos pontos de concordâncias entre os polinômios ajustados.

Os HU's de 15 minutos derivados das curvas-S de 30, 45 e 105 minutos e a forma como foram obtidos está apresentado nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6. Estes foram agrupados para obter o HU médio de 15 minutos para a MHRM conforme mostra a figura 4.7.

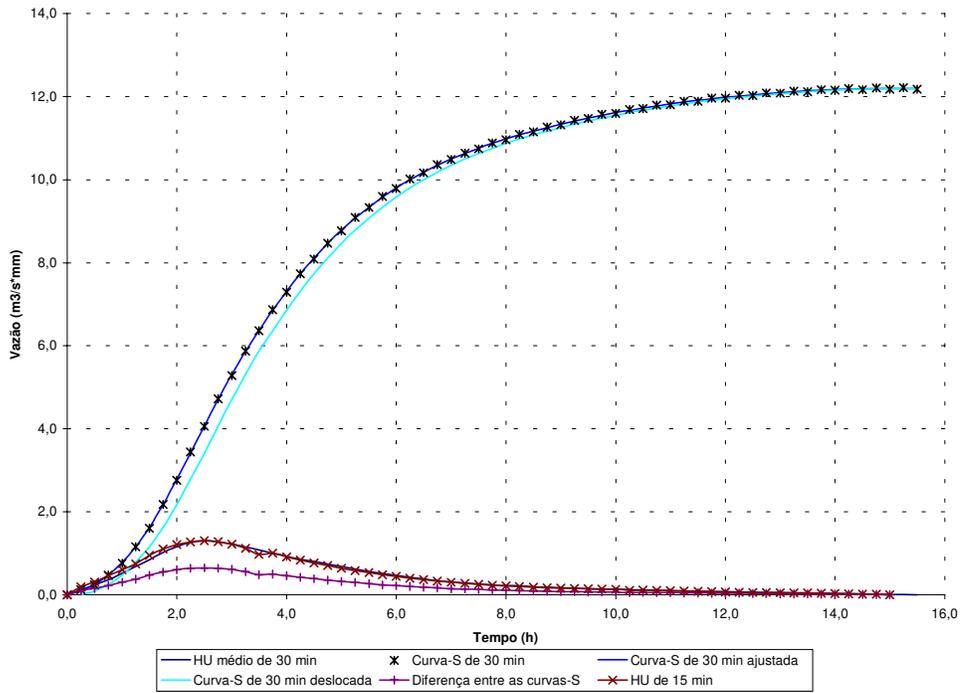


Figura 4.4: Determinação do HU de 15 minutos a partir da curva-S de 30 minutos

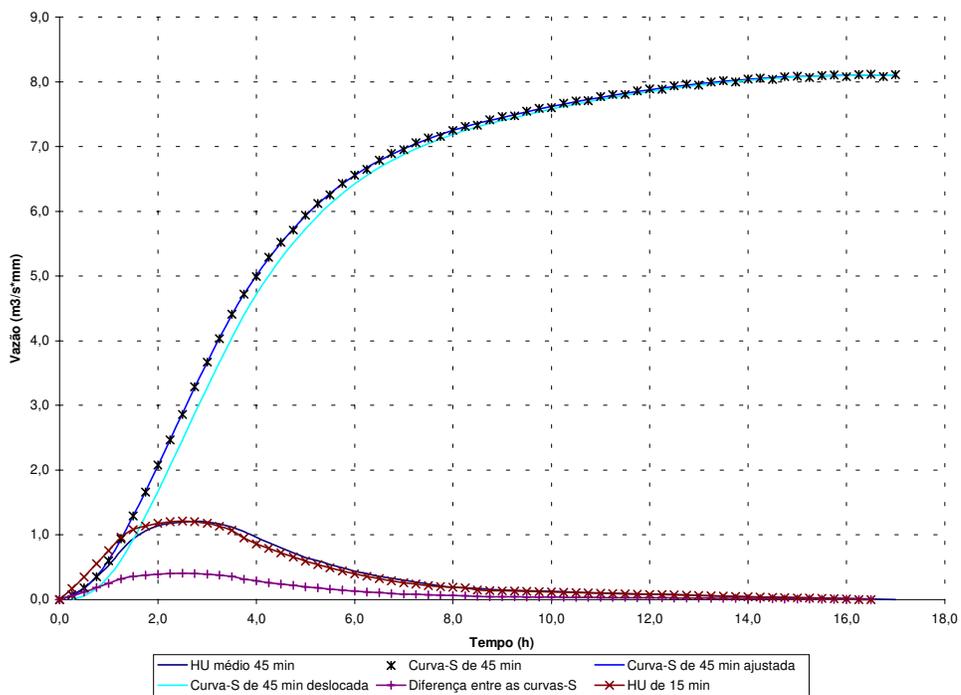


Figura 4.5: Determinação do HU de 15 minutos a partir da curva-S de 45 minutos

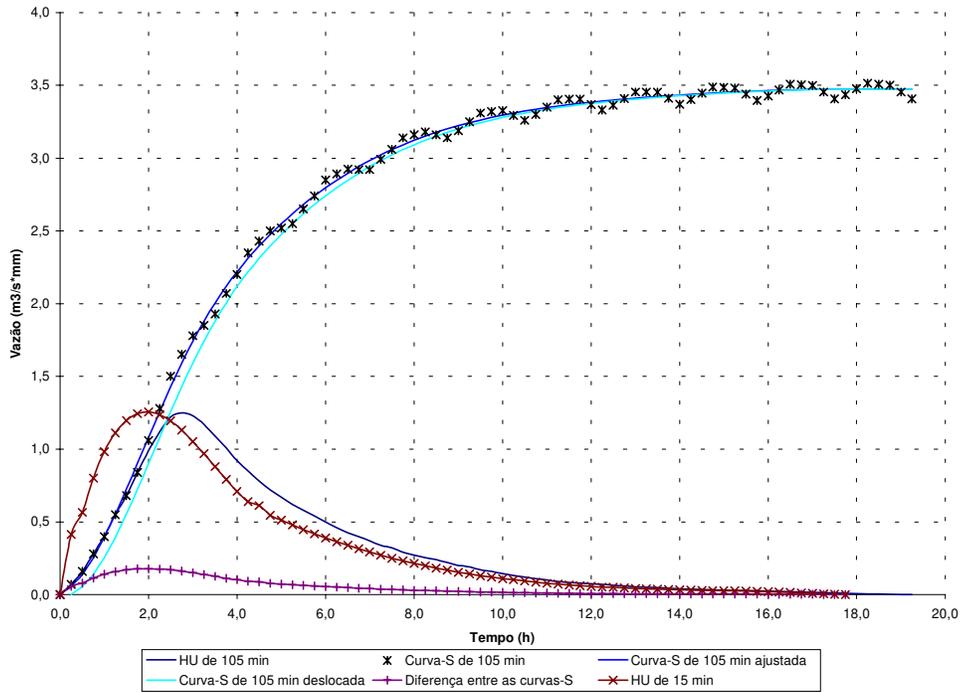


Figura 4.6: Determinação do HU de 15 minutos a partir da curva-S de 105 minutos

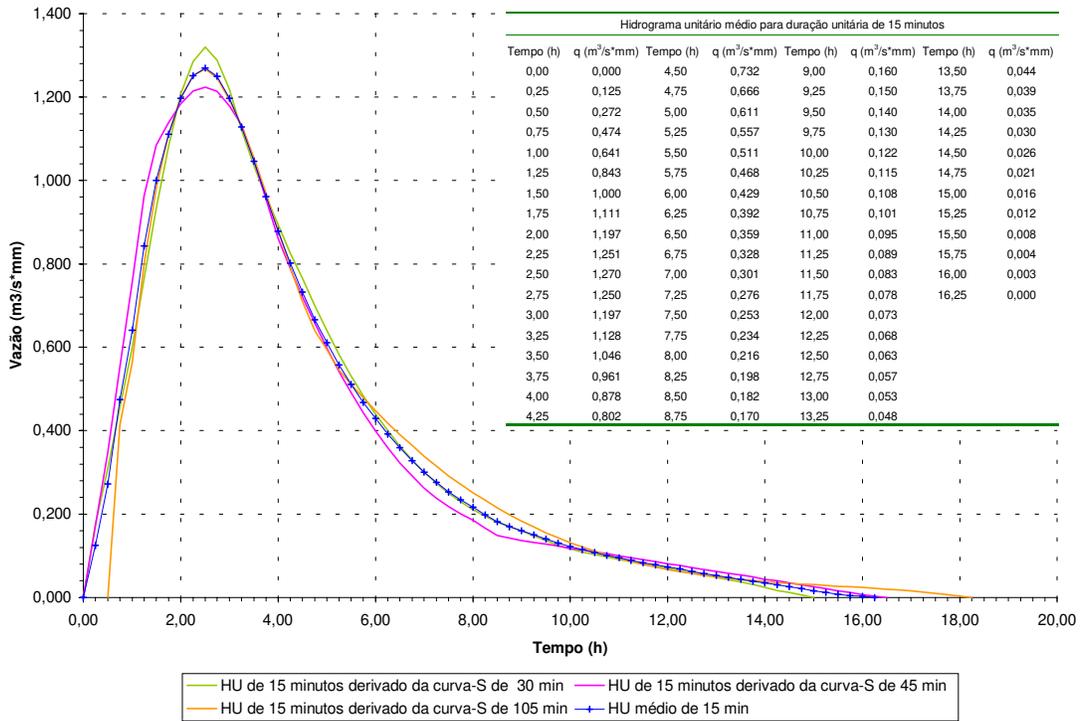


Figura 4.7: Obtenção do HU médio observado de 15 minutos

4.2. Composição do CN médio

Para obter o *CN* foi necessário classificar as unidades de solos registradas na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins (MHRM), as quais foram mapeadas na escala detalhada (1:20.000) e semidetalhada (1:100.000). Na definição do grupo hidrológico do solo dada pelo SCS (Ogrosky e Mockus, 1964), o maior enfoque está na textura do solo, sendo a profundidade do solo indicada apenas nos grupos A e B, porém um limite de profundidade não é apresentado. No grupo C estão basicamente os solos de textura moderadamente fina a fina, ou seja, solos compostos por silte e argila. Os solos argilosos pertencem ao grupo D. Para se levar em conta outras características do solo, as quais não são incluídas na definição dos grupos hidrológicos do solo dada pelo SCS, mas são importantes do ponto de vista da formação do escoamento superficial, fica difícil se ter na prática uma unidade de solo que se enquadra com todas as suas características num dos grupos hidrológicos. Tal fato leva a maioria dos usuários do método no Brasil a considerar apenas a textura superficial do solo para enquadrá-los em um dos grupos hidrológicos do solo usando a classificação original dada pelo SCS, critério adotado neste trabalho quando da utilização dessa classificação.

A classificação proposta por Lombardi Neto et al. (1989) é mais criteriosa, levando em consideração a profundidade, a textura, o gradiente textural entre os horizontes superficial e subsuperficial, a porosidade dos solos e a atividade da argila que quanto mais alta maior o grau de expansão do solo.

A cada classe de cobertura da terra registrada na MHRM foi atribuída uma linha das tabelas 2.4. Para os mapas de solos na escala detalhada e semidetalhada, foram compostos os *CN's* médio da bacia por meio de uma composição ponderada aplicando as classificações hidrológicas do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) e de Lombardi Neto et al. (1989).

O passo seguinte foi adotar uma condição hidrológica para as classes de cobertura da terra. Baseando-se na situação da cobertura e na sugestão de Chow (1962), foram determinados dois *CN's* médios, um classificando a condição hidrológica da cobertura e outro adotando a

condição hidrológica média. A justificativa para adoção das condições hidrológicas para cada tipo de cobertura e dos valores dos *CN* 's estão relacionados a seguir:

- *Cana-de-açúcar*: O plantio desta cultura se dá no início de setembro, chegando na maior parte da área no mês de dezembro com altura de 50 cm tornando-se uma boa barreira contra o escoamento, período em que ocorreu a maioria dos eventos observados analisados neste estudo. A cana estava cultivada no período analisado em contorno e com terraceamento. Optou-se por adotar a condição hidrológica boa. Os valores do *CN* para o este tipo de cobertura foram extraídos da tabela 2.4b e indicados abaixo.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Plantios em linha	C & T	má	66	74	80	82
		boa	62	71	78	81

- *Capoeira e mata ciliar*: Ambas estão compostas por árvores e arbustos em grande quantidade, mas a mata ciliar apresenta-se mais conservada, onde existe. Portanto, adotou-se a condição hidrológica “boa” para ambas. Os valores do *CN* são os da tabela 2.4d.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Capoeira	-	má	48	67	77	83
		média	35	56	70	77
		boa	30	48	65	73

- *Culturas anuais*: Estavam plantadas em contorno, encontrando-se desnuda a superfície do solo ao redor destas culturas, assim adotou-se a condição hidrológica “má” e os valores do *CN* retirados da tabela 2.4b.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Plantios em linha	C	má	70	79	84	88
		boa	65	75	82	86

- *Pastagem*: As gramíneas encontravam-se em bom estado, densas e com altura superior a 15 cm. Adotou-se os valores do *CN* da tabela 2.4d e a condição hidrológica “boa”.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Pastagem	-	má	68	79	86	89
		média	49	69	79	84
		boa	39	61	74	80

- *Reflorestamento*: São áreas compostas por eucaliptos, cuja superfície do solo encontrava-se praticamente descoberta, sem proteção por vegetação rasteira. Adotou-se a condição “má” e os valores do *CN* da tabela 2.4d.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Reflorestamento	-	má	45	66	77	83
		média	36	60	73	79
		boa	30	55	70	77

- *Área urbana*: Devido esta ser composta por residências e mangueiras, arborizadas em sua volta, adotou-se os valores do *CN* da tabela 2.4d.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Fazendas e chácaras	-	-	59	74	82	86

- *Solo exposto*: Adotou-se os valores da tabela 2.4b.

Tipo de cobertura	Tipo de Manejo do solo	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Terra arada	Solo exposto	-	77	86	91	94

Na adoção da condição hidrológica média para os tipos de cobertura nos quais constavam apenas valores para as condições hidrológicas, “boa” e “má”, foi adotado o valor do *CN* obtido pela média dos valores apresentados, como representativo dessa condição. Nas tabelas 4.2 e 4.3 encontram-se respectivamente a legenda das unidades ou tipos de solo na escala semidetalhada (Oliveira e Prado, 1989) e detalhada (Ranieri, 1996), classificadas segundo as classificações de Lombardi Neto et al. (1989) e do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964), com as principais características dos solos que induziram a enquadrá-los num dos grupos hidrológicos do solo: A, B, C e D.

Tabela 4.2: Classificação das unidades de solo levantadas no mapa semidetalhado

Tipo de Solo	Grupo Hidrológico dos solos	
	<i>Lombardi Neto et al. (1989)</i>	<i>SCS (Ogrosky e Mockus, 1964)</i>
LV2	<p>Grupo B</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo muito profundo; ✓ Textura média com horizonte superficial mais arenoso que o subsuperficial; ✓ Argila de atividade baixa (Tb). 	<p>Grupo B</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo de textura moderadamente fina a grossa (média); ✓ Solo muito profundo.
Li5	<p>Grupo D</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo raso. 	<p>Grupo B¹</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura arenosa; ✓ Solo raso.
PV7	<p>Grupo C</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo profundo; ✓ Textura arenosa na superfície e média em subsuperfície apresentando mudança textural abrupta. 	<p>Grupo A</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura arenosa no horizonte superficial; ✓ Solo profundo.
PV8	<p>Grupo D</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo pouco profundo; ✓ Textura arenosa na superfície e média em subsuperfície apresentando mudança textural abrupta. 	<p>Grupo A</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura arenosa no horizonte superficial; ✓ Solo pouco profundo.
PV9	<p>Grupo C</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo profundo; ✓ Textura arenosa ou média no horizonte superficial e argilosa no horizonte subsuperficial apresentando mudança textural abrupta. 	<p>Grupo B</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura arenosa ou média no horizonte superficial; ✓ Solo profundo.
PV10	<p>Grupo D</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo pouco profundo; ✓ Textura média no horizonte superficial e argilosa no horizonte subsuperficial apresentando mudança textural abrupta; ✓ Argila de atividade média a alta (Tb). 	<p>Grupo B</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura média no horizonte superficial; ✓ Solo pouco profundo.
Li3	<p>Grupo D</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo raso. 	<p>Grupo C</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura média a argilosa (33 a 35 % de argila).

¹ Foi classificado como pertencente ao grupo B por ser de textura arenosa e menos profundo que o PV7.

Tabela 4.3: Classificação das unidades de solo levantadas no mapa detalhado

Tipo de Solo	Grupo Hidrológico dos solos	
	<i>Lombardi Neto et al. (1989)</i>	<i>SCS (Ogrosky e Mockus, 1964)</i>
PV1	Grupo D ✓ Solo pouco profundo; ✓ Textura média.	Grupo B ✓ Solo de textura média.
PV2	Grupo C ✓ Solo profundo; ✓ Textura média no horizonte superficial e argilosa no subsuperficial.	Grupo B ✓ Solo de textura média.
PV3	Grupo D ✓ Textura arenosa no horizonte superficial e argilosa no subsuperficial; ✓ Apresenta mudança textural abrupta.	Grupo A ✓ Textura arenosa no horizonte superficial
PV4	Grupo C ✓ Textura arenosa no horizonte superficial e média no subsuperficial.	Grupo A ✓ Textura arenosa no horizonte superficial.
PV5	Grupo C ✓ Textura média no horizonte superficial e argilosa no subsuperficial.	Grupo B ✓ Textura média no horizonte superficial;
Li1	Grupo D ✓ Solo raso.	Grupo A ✓ Textura arenosa.
Li2	Grupo D ✓ Solo raso.	Grupo B ✓ Textura média.
Li3	Grupo D ✓ Solo raso.	Grupo D ✓ Textura argilosa.
Cb1	Grupo C ✓ Solo pouco profundo de textura média.	Grupo B ✓ Textura média.
Cb2	Grupo C ✓ Solo pouco profundo de textura média.	Grupo B ✓ Textura média.
PE	Grupo B ✓ Solo profundo; ✓ Textura argilosa.	Grupo D ✓ Textura argilosa.
LV1	Grupo B ✓ Solo profundo; ✓ Textura média com horizonte superficial arenoso; ✓ Apresenta argila de atividade baixa (Tb).	Grupo B ✓ Textura média; ✓ Solo profundo.

Para a composição do *CN* final, ainda havia a necessidade de compor o *CN* para as unidades de mapeamento de solo com mais de uma unidade taxonômica simples, ou seja, unidades com mais de um tipo de solo. Para as unidades compostas por duas ou três classes de solo, foi adotada uma composição ponderada média da participação de cada classe na unidade de mapeamento, conforme sugestão do professor Dr. Francisco Lombardi Neto:

- para as unidades mapeadas compostas por duas classes de solo (solo A + solo B), foi assumido que esta área é composta por 60% do solo A e 40% do solo B;
- para unidades mapeadas compostas por três classes de solo (solo A + solo B + solo C), foi assumido que esta área é composta por 50% do solo A, 30% do solo B e 20% do solo C.

A tabela 4.4 apresenta um exemplo da composição do *CN* para as unidades de solos compostas.

Tabela 4.4: Composição do *CN* para a associação de mais de uma unidade taxonômica simples adotando a condição hidrológica média para as unidades de solos do levantamento na escala semidetalhada 1:100.000.

Classificação: Lombardi Neto et al., 1989									
Unidade de Solo	CHS	Cana-de-açúcar	Capoeira	Mata ciliar	Culturas anuais	Pastagem	Reflorestamento	Área Urbana	Solo Exposto
PV10	D	81,5	77,0	77,0	87,0	84,0	79,0	86,0	94,0
LI3	D	81,5	77,0	77,0	87,0	84,0	79,0	86,0	94,0
PV9	C	79,0	70,0	70,0	83,0	79,0	73,0	82,0	91,0
PV10+LI3+PV9		81,0	75,6	75,6	86,2	83,0	77,8	85,2	93,4
PV7	C	79,0	70,0	70,0	83,0	79,0	73,0	82,0	91,0
PV8	D	81,5	77,0	77,0	87,0	84,0	79,0	86,0	94,0
PV7+PV8		80,0	72,8	72,8	84,6	81,0	75,4	83,6	92,2
Classificação: SCS (Ogrosky e Mockus, 1964)									
Unidade de Solo	CHS	Cana-de-açúcar	Capoeira	Mata ciliar	Culturas anuais	Pastagem	Reflorestamento	Área Urbana	Solo Exposto
PV10	B	72,5	56,0	56,0	77,0	69,0	60,0	74,0	86,0
LI3	C	79,0	70,0	70,0	83,0	79,0	73,0	82,0	91,0
PV9	B	72,5	56,0	56,0	77,0	69,0	60,0	74,0	86,0
PV10+LI3+PV9		74,5	60,2	60,2	78,8	72,0	63,9	76,4	87,5
PV7	A	64,0	35,0	35,0	67,5	49,0	36,0	59,0	77,0
PV8	A	64,0	35,0	35,0	67,5	49,0	36,0	59,0	77,0
PV7+PV8		64,0	35,0	35,0	67,5	49,0	36,0	59,0	77,0

Tal procedimento foi repetido para o mapa de solo detalhado (1:20.000) e também para a determinação dos *CN*'s que levaram em consideração a variação das condições hidrológicas. Como exemplo, na tabela 4.5 está apresentado a composição do *CN* médio da MHRM adotando a classificação de Lombardi Neto et al. (1989) e a condição hidrológica superficial média.

Como se tem dois casos para a condição hidrológica, dois mapas de solos com diferentes escalas e duas classificações hidrológicas, obteve-se os seguintes valores de *CN* na AMC II:

- Mapa de solo escala semidetalhada
 - Classificação Lombardi Neto et al. (1989):
 - ✓ Levando em consideração as condições hidrológicas: $CN = 78,6$
 - ✓ Adotando condições hidrológicas médias: $CN = 80,9$
 - Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964):
 - ✓ Levando em consideração as condições hidrológicas: $CN = 64,7$
 - ✓ Adotando condições hidrológicas médias: $CN = 68,5$

- Mapa de solo escala detalhada
 - Classificação Lombardi Neto et al. (1989):
 - ✓ Levando em consideração as condições hidrológicas: $CN = 77,0$
 - ✓ Adotando condições hidrológicas médias: $CN = 79,6$
 - Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964):
 - ✓ Levando em consideração as condições hidrológicas: $CN = 64,3$
 - ✓ Adotando condições hidrológicas médias: $CN = 68,2$

Tabela 4.5: Composição do CN para a condição II de umidade antecedente segundo a classificação de Lombardi Neto et al. (1989) adotando condições hidrológicas médias e o mapa de solo na escala semidetalhada

Cobertura da terra		Cana-de-açúcar		Capoeira		Mata ciliar		Culturas anuais		Pastagem		Reflorestamento		Área Urbana		Solo exposto		Totais
		Área (km ²)	CN															
Solo	CHS																	
PV10+Li3+PV9		0,74	81,0	0,06	75,6	0,27	75,6	0,01	86,2	0,51	83,0	0,00	77,8	0,01	85,2	0,04	93,4	1,64
PV7+PV8		2,64	80,0	0,08	72,8	0,15	72,8	0,03	84,6	1,43	81,0	0,00	75,4	0,08	83,6	0,19	92,2	4,60
Li3	D	3,52	81,5	0,55	77,0	1,49	77,0	0,04	87,0	3,93	84,0	0,08	79,0	0,04	86,0	0,26	94,0	9,91
PV7	C	1,17	79,0	0,14	70,0	0,07	70,0	0,01	83,0	0,93	79,0	0,50	73,0	0,00	82,0	0,04	91,0	2,86
Li5	D	0,92	81,5	0,02	77,0	0,46	77,0	0,00	87,0	1,18	84,0	0,12	79,0	0,00	86,0	0,08	94,0	2,78
LV2	B	0,08	72,5	0,00	56,0	0,00	56,0	0,00	77,0	0,00	69,0	0,00	60,0	0,00	74,0	0,00	86,0	0,08
Totais		9,07		0,85		2,44		0,09		7,98		0,70		0,13		0,61		21,87
Solo	CHS	CN x Área																
PV10+Li3+PV9	D	59,94		4,54		20,41		0,86		42,33		-		0,85		3,74		132,67
PV7+PV8	D	211,20		5,82		10,92		2,54		115,83		-		6,69		17,52		370,52
Li3	D	286,88		42,35		114,73		3,48		330,12		6,32		3,44		24,44		811,76
PV7	C	92,43		9,80		4,90		0,83		73,47		36,50		-		3,64		221,57
Li5	D	74,98		1,54		35,42		-		99,12		9,48		-		7,52		228,06
LV2	B	5,80		-		-		-		-		-		-		-		5,80
Totais		731,23		64,05		186,38		7,71		660,87		52,30		10,98		56,85		1.770,38
CN médio																		80,9

Os valores dos *CN*'s obtidos com os mapas pedológicos de diferentes escalas foram muito próximos sendo as maiores diferenças encontradas para a classificação de Lombardi Neto et al. (1989), encontrando um *CN* que foi 2,08 % maior para o mapa de solo semidetalhado comparado com o detalhado considerando as condições hidrológicas e 1,63 % adotando-se a condição hidrológica média. Para a classificação do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) essas diferenças não ultrapassaram 1 %. Embora o mapa de solo detalhado possua uma melhor separação entre as unidades, estas do ponto de vista da formação de escoamento possuem características semelhantes às unidades mapeadas na escala semidetalhada, pertencendo aos mesmos grupos hidrológicos ou grupos hidrológicos vizinhos. Isso é compreensível já que a transição de um tipo de solo para outro não é brusca, mas sim gradual, o que leva ambos apresentarem características semelhantes. A menor diferença encontrada para a classificação do SCS pode estar relacionada ao fato de que essa classificação tem como principal critério a textura do solo.

Segundo Ranieri (1996) a diferença espacial significativa das unidades de solo encontrada entre os dois mapas foi de 32 %, não havendo grandes alterações quanto ao aumento na escala do mapa pedológico, visto que as diferenças encontradas entre os dois mapas estão basicamente na melhor separação entre as unidades ou na melhor definição entre os limites espaciais de cada unidade. A autora analisou também os custos para a obtenção dos mapas e concluiu que não é justificável o detalhamento do mapa na escala 1:100.000 (semidetalhado) quando o objetivo do trabalho for gerar mapas de risco de erosão para a dimensão da bacia em questão.

Devido à restrita existência de mapas pedológicos na escala detalhada e associada à pequena diferença entre os *CN*'s, adotou-se para avaliar as classificações hidrológicas do solo propostas pelo SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) e por Lombardi Neto et al. (1989), os *CN*'s determinados com o mapa pedológico na escala semidetalhada.

4.3. Simulações do escoamento superficial

O objetivo aqui é apresentar os resultados obtidos da aplicação da metodologia do SCS, com duas classificações hidrológicas do solo, a do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) e a de Lombardi Neto et al. (1989), comparando-os com os eventos observados na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins. No Anexo A são apresentados nas tabelas A1 a A6 os resultados obtidos com as simulações do escoamento superficial.

Seguindo esse propósito foram feitas primeiramente duas simulações denominadas de A e B. Na simulação A foi adotado o valor do *CN* obtido considerando as condições hidrológicas superficiais e na B o valor do *CN* para as condições hidrológicas superficiais médias e também o *CN* observado de cada evento. Nestas simulações o HUT-SCS determinado pelas equações 2.37, 2.35, 2.31 e 2.36 foi aplicado aos vinte eventos observados. As precipitações excedentes foram calculadas para os três valores do *CN* e aplicando o HUT-SCS aos excessos de precipitação obteve-se os hidrogramas de escoamento superficial (HES). Os resultados obtidos foram:

- ✓ **Aplicando o *CN* do evento.** Todas as vazões de pico simuladas resultaram maiores que as observadas sendo a menor relação entre q_{pcal}/q_{pobs} igual a 1,86 para o evento 18 (EV18) e a maior cerca de 3,40 para o EV05. Em média as relações q_{pcal}/q_{pobs} resultaram em 2,41. Embora as vazões de pico tenham sido superestimadas, os volumes totais escoados superficialmente (V_{TES}) foram iguais aos observados, o que já era esperado visto que o *CN* de cada evento foi usado.
- ✓ **Aplicando os *CN*'s 64,7 e 68,5.** Para a simulação A, cerca de 16 eventos subestimaram a vazão de pico e dentre essas, sete responderam com vazão de pico nula. Apenas quatro eventos apresentaram vazão de pico superior à observada, com as relações q_{pcal}/q_{pobs} de 1,03 (EV03), 2,06 (EV08), 1,02 (EV10) e 1,89 (EV17). Embora os eventos 03 e 10 tenham praticamente igualado a vazão de pico, os V_{TES} resultaram inferiores aos volumes observados, ou melhor, resultaram num volume menor que a metade do observado. A média das relações entre as vazões de pico calculada e observada resultou em 0,49 enquanto que a média das relações entre os volumes foi de 0,21. Adotando o *CN* 68,5 na simulação B, houve uma melhora nos

resultados obtidos, porém esta não foi significativa. Cerca de 30% dos eventos (03, 08, 09, 10, 16 e 17) apresentaram $q_{pcal} > q_{pobs}$ e as suas relações q_{pcal}/q_{pobs} variaram de 1,30 a 2,55. No geral, a média das relações melhorou passando de 0,49 para 0,72. Dos V_{TES} encontrados, apenas dois foram maiores que os observados (EV08 e EV17), apresentando uma superestimativa da ordem de 16%. O V_{TES} para os demais eventos foi subestimado, com seis eventos apresentando volume igual a zero. Em média as relações entre o V_{TES} estimado e observado foram 0,21 e 0,31 para as simulações A e B, respectivamente.

- ✓ Aplicando os CN's 78,6 e 80,9. Com o CN 78,6 cerca de seis eventos obtiveram q_p menor que a observada. Dentre esses, apenas um retornou $q_p = 0$. Os catorze eventos restantes retornaram $q_{pcal} > q_{pobs}$. Considerando apenas os eventos que produziram escoamento, a faixa de variação da relação q_{pcal}/q_{pobs} foi de 0,04 a 4,74. Em média essa relação, considerando todos os eventos, resultou em 1,80. Embora as vazões de pico tenham sido superestimadas em 70 % dos eventos, os V_{TES} foram superestimados apenas para 40 % dos eventos, dentre os quais 50 % apresentaram diferenças significativas, variando de 38 a 100 %. Para a simulação B, cerca de quinze eventos (75 %) apresentaram q_{pcal} superiores as observadas e apenas um evento apresentou q_{pcal} igual a zero (EV07). Para os eventos com $q_p > 0$, a faixa de variação resultou em $0,11 \leq q_{pcal}/q_{pobs} \leq 5,74$. Quanto aos V_{TES} , onze eventos (55 %) subestimaram o volume e dentre esses um deles apresentou volume nulo (EV07). Dos nove eventos (45 %) que superestimaram os volumes, 55 % deles apresentaram diferenças significativas que variaram de 37 a 130 %. No geral, estes representam apenas 25 % dos eventos considerados.

Nestas simulações os resultados obtidos não foram muito satisfatórios, as vazões de pico simuladas aplicando o CN observado do evento resultaram em média 2,4 vezes as observadas. Tal fato levou a adoção de um novo HUT-SCS para novas simulações denominadas agora de C e D. Os valores do CN adotados para as novas simulações foram os mesmos usados nas simulações A e B. Como o objetivo era diminuir o pico do HUT-SCS, o tempo de concentração utilizado para defini-lo foi determinado pela equação 2.37 com uma alteração, a declividade equivalente S_2 foi usada no lugar da declividade S' . Com as novas condições obteve-se os seguintes resultados:

- ✓ **Aplicando o CN do evento.** Houve uma redução na relação q_{pcal}/q_{pobs} comparada com as simulações A e B, porém ainda as q_{pcal} superestimaram em 100 % as q_{pobs} . A faixa de variação da relação q_{pcal}/q_{pobs} foi de 1,44 a 2,49, com média de 1,87 contra 2,41 das simulações anteriores.

- ✓ **Aplicando os CN's 64,7 e 68,5.** Para a simulação C, obteve-se dezoito eventos subestimando as vazões de pico e todos eventos subestimando o V_{TES} . Destes cerca de sete eventos apresentaram V_{TES} e q_p nulos. Apenas dois eventos (EV08 e EV17) superestimaram a vazão de pico. A média das relações q_{pcal}/q_{pobs} foi de 0,38 com um máximo de 1,70. Com os resultados apresentados, cerca de 90 % subestimaram a vazão de pico e 10 % superestimaram, mas todos os eventos simulados subestimaram o volume escoado superficialmente. Na simulação D, cerca de 70 % dos resultados subestimaram a q_p , incluindo os 30 % que responderam com $q_p = 0$. Dos 30 % que superestimaram a vazão de pico, os eventos 08 e 17 superestimaram o V_{TES} em aproximadamente 16 %. Do total, cerca de 10 % superestimaram o V_{TES} e 90 % subestimaram. Em média, a relação q_{pcal}/q_{pobs} resultou em 0,57. Para os 30 % que apresentaram $q_{pcal} > q_{pobs}$, a relação variou de 1,09 (EV03) a 1,97 (EV08).

- ✓ **Aplicando os CN's 78,6 e 80,9.** Para a simulação C, cerca de 50 % dos eventos simulados apresentaram vazão de pico inferior às observadas e 60 % subestimaram o V_{TES} . Desses eventos, apenas dois apresentaram V_{TES} e q_p nulos. A faixa de variação das relações q_{pcal}/q_{pobs} foi de 0,22 a 0,97 para os eventos que subestimaram e de 1,41 a 3,77 para os que superestimaram a vazão de pico. Em média a relação q_{pcal}/q_{pobs} para todos os eventos resultou em 1,41. Com a elevação do CN na simulação D, cerca de 30 % dos eventos apresentaram $q_{pcal} < q_{pobs}$ e 55 % subestimaram o V_{TES} , havendo apenas um evento (EV17) com V_{TES} e q_p nulos. Em média a relação entre os V_{TES} calculados e observados foi de 0,93 e 0,78 para as simulações D e C, respectivamente.

De uma maneira geral, observa-se uma grande tendência do HUT-SCS superestimar as vazões de pico do hidrograma final. Se o valor do CN for subestimado, o volume será também subestimado, em contrapartida a vazão de pico tenderá a ser mais condizente com a realidade.

Mas, se o valor do *CN* for representativo ou próximo deste, a vazão de pico será superestimada. Os eventos 03 e 10 servem como bons exemplos para mostrar essa tendência, cujos hidrogramas estão apresentados nas figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11.

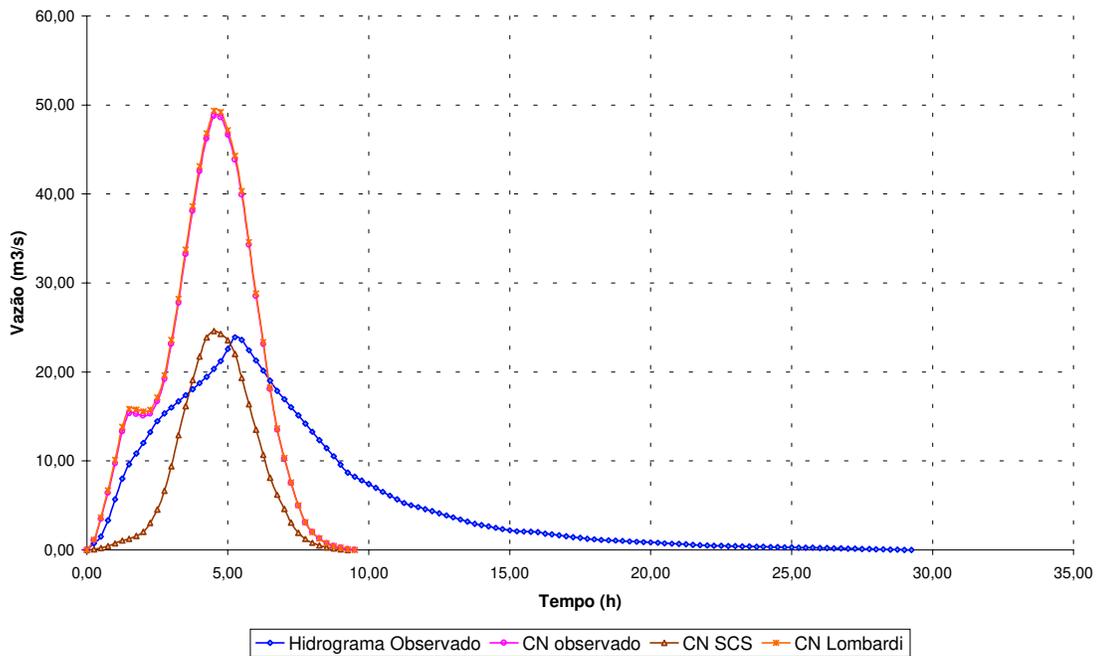


Figura 4.8: Simulação A. Evento 03 - hidrogramas simulados e observado.

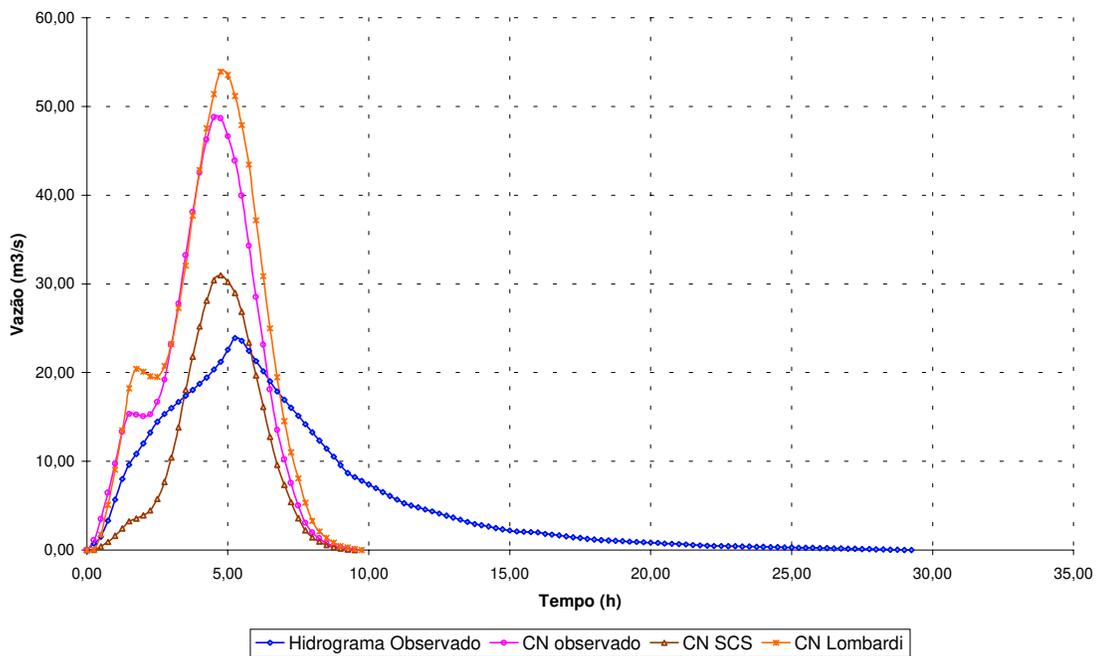


Figura 4.9: Simulação B. Evento 03 - hidrogramas simulados e observado.

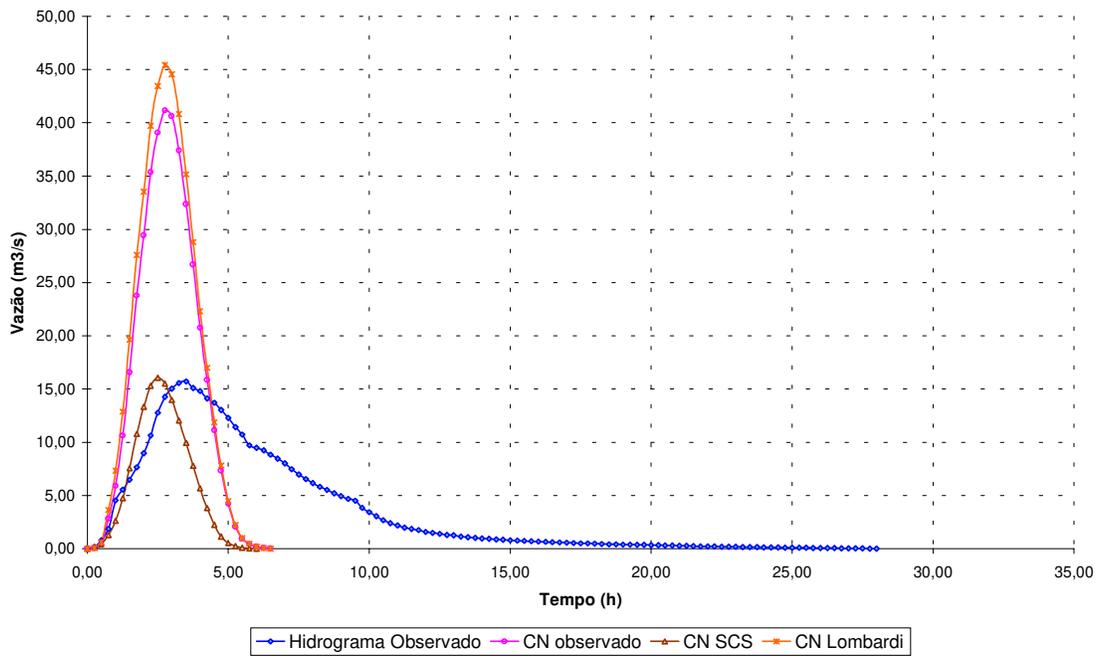


Figura 4.10: Simulação A. Evento 10 – hidrogramas simulados e observado.

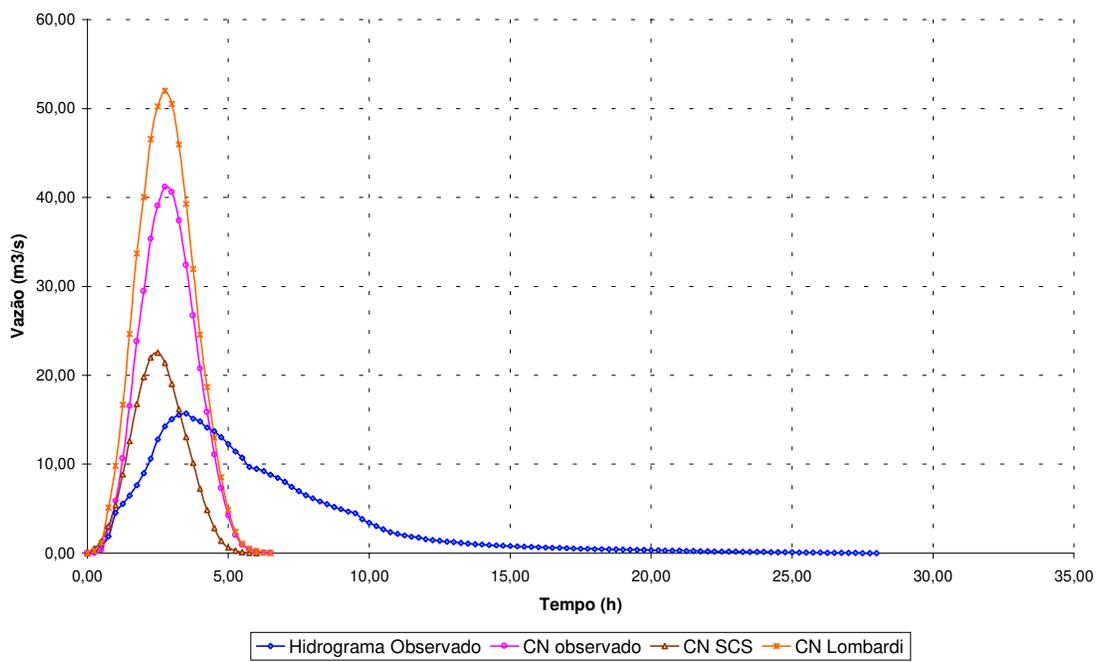


Figura 4.11: Simulação B. Evento 10 – hidrogramas simulados e observado.

As relações obtidas da comparação dos resultados simulados com os observados para os eventos 03 e 10 foram:

- ✓ **Considerando os CN's da classificação do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964).** Para a simulação A, os eventos 03 e 10 respectivamente, subestimaram o V_{TES} apresentando desvio percentual de -57 % e -64 % com relação ao volume observado, enquanto que as vazões de pico superestimaram em 3 % e 2 % a vazão de pico observada. Nas simulações B e D os desvios obtidos para o V_{TES} foram de -44 % e -48 %, sendo para a simulação C os mesmos obtidos na simulação A. Os desvios percentuais referente às vazões de pico foram de 30 % e 44 % para a simulação B, de -13 % e -21 % para a C, e de 9 % e 12 % para a D.

- ✓ **Considerando os CN's da classificação de Lombardi Neto et al. (1989).** Para a simulação A, os eventos 03 e 10 respectivamente, superestimaram o V_{TES} apresentando desvio percentual de 2 % e 11 % com relação ao volume observado, enquanto que as vazões de pico superestimaram em 107 % e 189 % a vazão de pico observada. Nas simulações B e D os desvios obtidos para o V_{TES} foram de 14 % e 29 %, sendo para a simulação C os mesmos obtidos na simulação A. Os desvios percentuais referentes às vazões de pico foram de 124 % e 231 % para a simulação B, de 76 % e 131 % para a C, e de 93 % e 165 % para a D.

Genovez (1991) ao aplicar o HUT-SCS a quinze pequenas bacias do Estado de São Paulo, também encontrou resultados que levam a essa tendência. Em seu trabalho, cerca de 67 % dos V_{TES} calculados resultaram inferiores aos volumes observados e com 57 % dos resultados obteve-se $q_{pcal} > q_{pobs}$, chegando muitas vezes a serem maiores que o dobro da vazão de pico observada.

Ainda com o novo HUT-SCS as vazões de pico simuladas foram superestimadas, sendo em média praticamente o dobro a vazão de pico observada quando calculada com o CN do evento. Para minimizar esta grande variação foi adotado o HU médio observado para ser aplicado às precipitações excedentes, substituindo o HUT-SCS na metodologia do SCS. Essas simulações foram denominadas de E e F. Os resultados obtidos foram:

- ✓ **Aplicando o CN do evento.** Os volumes do escoamento superficial calculado resultaram nos mesmos volumes observados, porém as vazões de pico simuladas foram 50 % superiores e inferiores as observadas. A relação entre q_{pcal} e q_{pobs} em média foi de 1,06, sendo a mínima relação obtida 0,77 e a máxima 1,39. Em geral, 10 % dos eventos simulados apresentaram relação q_{pcal}/q_{pobs} variando de 0,77 a 0,80 e 1,30 a 1,39. Para 80 % dos eventos essa relação variou de 0,80 a 1,30. Os tempos de base dos hidrogramas calculados variaram de 0,65 a 1,28 vezes o tempo de base dos hidrogramas observados, sendo essa relação em média igual a 0,84. A relação entre os tempos de pico calculado e observado variou de 0,63 a 1,71, com média de 1,13. Os resultados apresentados mostram que o HU médio observado para a MHRM é adequadamente representativo, podendo ser aplicado para prever a resposta da bacia a eventos isolados de precipitação.

- ✓ **Aplicando os CN's 64,7 e 68,5.** Na simulação E, 95 % dos eventos simulados apresentaram $q_{pcal} < q_{pobs}$ e apenas um evento (EV08) apresentou $q_{pcal} > q_{pobs}$, superestimando a q_p em 14 % e subestimando o V_{TES} em 5 %. Apresentaram q_p e V_{TES} nulos cerca de 35 % dos eventos e 100 % deles subestimaram o V_{ETS} . Excluindo aqueles que não apresentaram vazão de pico, 50 % dos eventos apresentaram $q_{pcal} < 0,50.q_{pobs}$ e 10 % resultaram em $0,50 \leq q_{pcal}/q_{pobs} \leq 0,80$. Em média q_{pcal}/q_{pobs} resultou em 0,23 e V_{TEScal}/V_{TESobs} em 0,21. Na simulação F, 90 % dos eventos apresentaram $q_{pcal} < q_{pobs}$ e os eventos 08 e 17 apresentaram $q_{pcal} > q_{pobs}$ superestimando a q_p em 34 % e 6 % e o V_{TES} em 16 % e 17 %, respectivamente. Cerca de 30 % dos eventos apresentaram q_p e V_{TES} nulos e 90 % subestimaram os volumes. Não considerando os eventos que apresentaram q_p nula, 40 % resultaram em $q_{pcal} < 0,50.q_{pobs}$ e 20 % variaram de $0,50.q_{pobs}$ a $0,70.q_{pobs}$. Em média q_{pcal}/q_{pobs} resultou em 0,34 e o V_{TEScal}/V_{TESobs} em 0,31. Para a simulação E, os tempos de base dos HES simulados variaram de 0,60 a 1,23 vezes o tempo de base dos HES observados, sendo essa relação em média 0,79. Os tempos de pico variaram de $0,70.t_{pobs}$ a $4,00.t_{pobs}$, com média de $1,26.t_{pobs}$. Na simulação F, essas variações pouco se alteraram, variando o t_{pcal} de $0,70.t_{pobs}$ a $1,26.t_{pobs}$ e o t_{bc} de $0,58.t_{pobs}$ a $4,00.t_{pobs}$, encontrando em média $0,80.t_{pobs}$ e $1,22.t_{pobs}$.

- ✓ **Aplicando os CN's 78,6 e 80,9.** Na simulação E, 70 % dos eventos simulados apresentaram $q_{pcal} < q_{pobs}$ incluindo os 10 % que resultaram num V_{TES} e q_p nulos. Cerca de 30 % dos eventos superestimaram a q_p . Excluindo os que não apresentaram vazão de pico, 35 % resultaram $q_{pcal} \leq 0,50.q_{pobs}$ e $V_{TEScal} < 0,60.V_{TESobs}$, e 25 % apresentaram $0,80 \leq q_{pcal}/q_{pobs} \leq 0,91$ e V_{TEScal} variando de $0,67.V_{TESobs} \leq V_{TEScal} \leq 1,05.V_{TESobs}$. Os 30 % que superestimaram a vazão de pico apresentaram $1,17.q_{pobs} \leq q_{pcal} \leq 2,23.q_{pobs}$ e $1,02.V_{TESobs} \leq V_{TEScal} \leq 2,06.V_{TESobs}$. Em média a relação entre as vazões de pico calculadas e observadas resultou em 0,82 e a relação entre os volumes em 0,78. Na simulação F, 60 % dos eventos obtiveram $q_{pcal} < q_{pobs}$ e 55 % $V_{TEScal} < V_{TESobs}$, incluindo um evento (EV07) que não apresentou volume e vazão de pico. Cerca de 30 % dos eventos apresentaram (não incluso o EV07) a q_{pcal} variando de 0,05 a 0,56 vezes a q_{pobs} com o volume variando de 0,06 a 0,73 vezes o V_{TESobs} e 25 % obtiveram a q_{pcal} variando de 0,60 a 0,97 vezes a q_{pobs} com o volume variando de 0,53 a 1,22 vezes o V_{TESobs} . Dos 40 % que superestimaram a q_p , apresentaram variação de 1,06 a 2,75 vezes a q_{pobs} cujos volumes variaram de 0,81 a 2,30 vezes o V_{TESobs} . Em média as relações obtidas entre as vazões de pico e entre os volumes foram respectivamente 0,99 e 0,93. As relações entre os tempos de pico e de base foram praticamente os mesmos para as simulações E e F, igualando-se na média cujos valores foram 1,12 para a relação t_{pcal}/t_{pobs} e 0,82 para t_{bcal}/t_{bobs} . O intervalo de variação da relação entre os tempos de base também foi o mesmo para as simulações E e F, $0,61 \leq t_{bcal}/t_{bobs} \leq 1,25$. Apenas o limite inferior das relações entre os tempos de pico calculado e observado diferiu para as simulações em questão, sendo 0,63 para a E e 0,68 para a F, enquanto que o limite superior de $2,17.t_{pobs}$ foi mesmo para ambas.

Os resultados obtidos nas simulações E e F foram mais condizentes com a realidade, ou seja, houve uma certa coerência entre as tendências médias das vazões de pico dos hidrogramas de escoamento superficial e de seus volumes. Em geral quando um desses foi superestimado o outro também foi ou vice-versa. Essa tendência é observada comparando os resultados obtidos com os CN's da classificação do SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) com os da classificação de Lombardi Neto et al. (1989). Os CN's 64,7 e 68,5 subestimaram, respectivamente, em 95 % e

90 % as vazões de pico acompanhando os volumes que foram subestimados em 100 % e 90 %. Apresentaram relação média entre as vazões de pico calculadas e observadas de 0,23 e 0,34, e relação média entre os volumes calculados e observados de 0,21 e 0,31, enquanto que os *CN*'s 78,6 e 80,9 subestimaram, respectivamente, 70 % e 60 % das vazões de pico seguidas dos volumes que foram subestimados em 60 % e 55 % do total, apresentando as relações médias de 0,82 e 0,99 para as vazões de pico calculadas com as observadas e de 0,78 e 0,93 para os volumes totais escoados superficialmente calculados com os observados considerando todos os eventos. No Anexo B encontram-se os hidrogramas de escoamento superficial resultantes da simulação F com os hidrogramas observados.

De uma maneira geral os eventos simulados com os *CN*'s da classificação de Lombardi Neto et al. (1989) representaram mais adequadamente os eventos observados. A variação para cima ou para baixo é natural visto que o *CN* não é uma constante, variando de evento para evento, e do HU determinado para MHRM ser um HU médio representando a tendência central dos hidrogramas observados. Dessa forma, ao adotar um valor único para o *CN* na AMC II ou tendência média, é de se esperar que em média os resultados sejam satisfatórios, pois dificilmente todos os eventos simulados responderiam exatamente como os observados. Mesmo aplicando o *CN* do evento e igualando os V_{TES} calculados com os observados houve uma variação nas vazões de pico as quais foram bem distribuídas em torno da média, como mostrado anteriormente.

Com base nos resultados apresentados observa-se que os solos analisados têm comportamento diferenciado daqueles para onde a classificação hidrológica do solo foi desenvolvida, mostrando ser a classificação de Lombardi Neto et al. (1989) mais adequada para as condições dos solos da bacia estudada. Observa-se também que os resultados obtidos considerando as condições hidrológicas superficiais, comparados com os obtidos adotando as condições hidrológicas superficiais médias, não proporcionaram diferenças significativas nos resultados, sendo o *CN* médio obtido para os dois casos suficientemente representativo do conjunto dos eventos observados.

4.4. Comparação dos hidrogramas unitários do SCS com o hidrograma unitário médio observado

Segundo Genovez (1991), a vantagem de se comparar o HU ao invés dos hidrogramas resultantes da aplicação do HU é não ter a influência do método de cálculo da precipitação excedente sobre o resultado.

As características dos HU's do SCS encontrados foram:

✓ para $t_c = 1,88$ horas (ver item 3.8):

HUC-SCS: $t_p = 1,25$ h; $t_b = 6,25$ h; e $q_p = 3,64$ m³/s.mm;

HUT-SCS: $t_p = 1,25$ h; $t_b = 3,33$ h; e $q_p = 3,64$ m³/s.mm.

✓ para $t_c = 2,62$ horas (ver item 3.8):

HUC-SCS: $t_p = 1,75$ h; $t_b = 8,75$ h; e $q_p = 2,61$ m³/s.mm;

HUT-SCS: $t_p = 1,75$ h; $t_b = 4,67$ h; e $q_p = 2,61$ m³/s.mm.

As características do HU médio observado na MHRM foram $t_p = 2,50$ h, $t_b = 16,25$ h, e $q_p = 1,27$ m³/s.mm. Nas figuras 4.12 e 4.13 encontram-se as comparações gráficas entre os hidrogramas unitários do SCS para $t_c = 1,88$ h e $2,62$ h com o HU médio observado.

Nas figuras 4.12 e 4.13, observa-se uma maior aproximação dos HU's do SCS ao HU médio observado com o aumento do tempo de concentração. As relações encontradas entre os tempos de pico, tempos de base e vazões de pico encontram-se na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Relação entre as características dos hidrogramas unitários do SCS com o hidrograma unitário médio observado na Microbacia do Ribeirão dos Marins.

<i>HU do SCS</i>	t_{pSCS}/t_{pHU}	q_{pSCS}/q_{pHU}	t_{bHUC}/t_{bHU}	t_{bHUT}/t_{bHU}
para $t_c = 1,88$ h	0,50	2,87	0,38	0,20
para $t_c = 2,62$ h	0,70	1,62	0,54	0,29

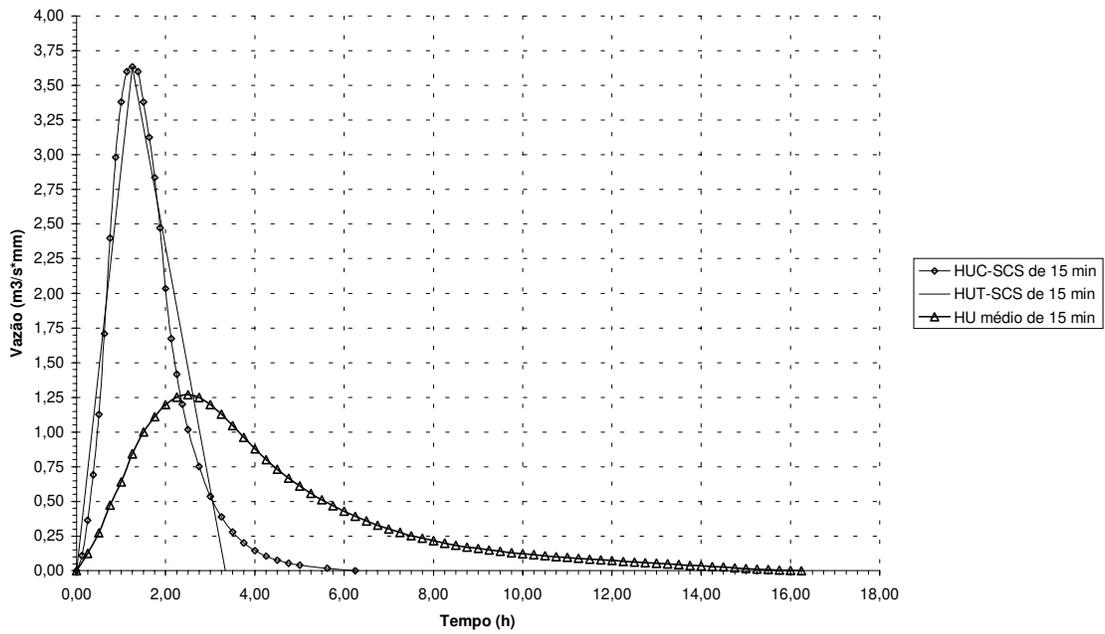


Figura 4.12: Comparação entre os hidrogramas unitários do SCS definidos para $t_c = 1,88$ horas com o HU médio observado para D igual a 15 minutos.

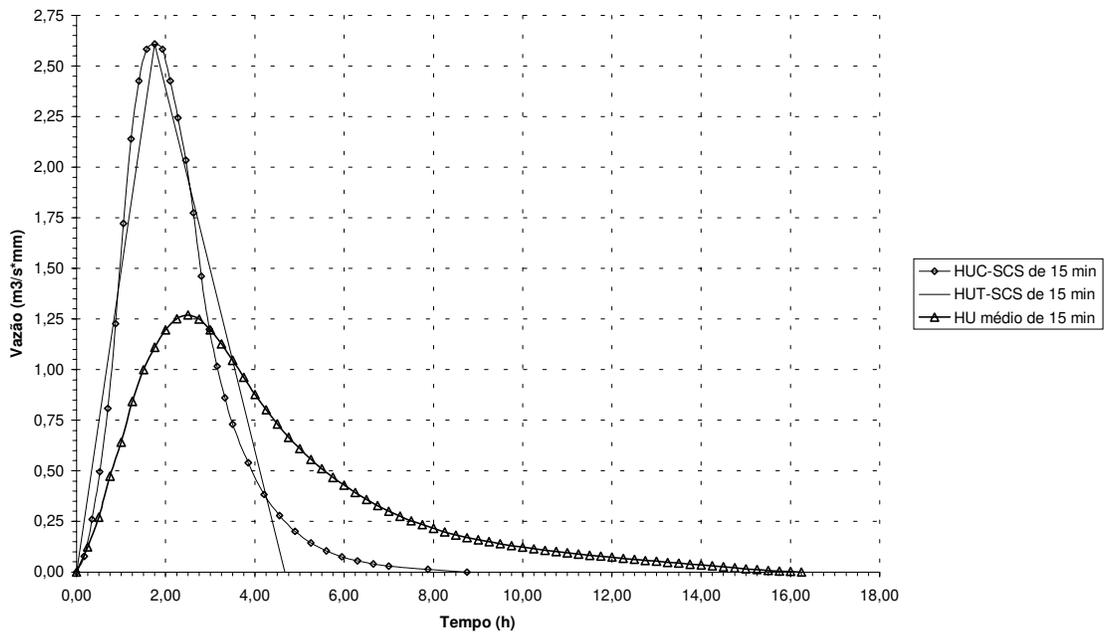


Figura 4.13: Comparação entre os hidrogramas unitários do SCS definidos para $t_c = 2,62$ horas com o HU médio observado para D igual a 15 minutos.

As vazões de pico foram 187 % e 62 % superiores a vazão de pico do HU médio observado para os tempos de concentração de 1,88 e 2,62 horas. Conseqüentemente os tempos de base resultaram muito inferiores ao observado, conforme mostram os valores da tabela 4.6. Teoricamente o tempo de base no HUT-SCS deve ser menor que o observado, mas isso não quer dizer que a vazão de pico deva ser maior que a observada (Genovez, 1991).

Comparando o HUT-SCS com os HU's médios observados de quinze pequenas bacias do Estado de São Paulo, Genovez (1991) encontrou que o HUT-SCS superestimou em no mínimo 20 % as vazões de pico dos HU's médios observados, chegando até 7 vezes maior. Em média obteve que a q_{pSCS} resultou 3,5 vezes superior a vazão de pico dos HU's médios observados e os tempos de pico e de base resultaram em média 37 % e 25 % do valor observado, respectivamente. Isso mostra que os resultados obtidos aqui estão de acordo com os obtidos por Genovez (1991).

Uma coisa parece ser óbvia, os HU's do SCS tendem a superestimar o pico e reduzir o tempo de base dos hidrogramas simulados, mas há de se considerar a influência do cálculo do tempo de concentração da bacia, pois esse é a principal variável para definir a forma dos HU's do SCS.

Como pode ser observado nas figuras 4.12 e 4.13 e na tabela 4.6, conseguiu-se uma melhor aproximação dos HU's do SCS com relação ao HU médio observado aumentando o tempo de concentração. Com o acréscimo de 39 % no tempo de concentração observa-se uma redução no desvio das vazões de pico, caindo de 187 % para 62 %.

Para eliminar a influência de cálculo do t_c na forma dos HU's do SCS, esses foram definidos a partir do tempo de pico do HU médio observado. Com o t_p do HU médio observado, encontrou-se o t_c a partir da equação 2.35, o qual foi usado para definir o HUT-SCS. A figura 4.14 mostra os HU's do SCS e o HU médio observado.

Observando a figura 4.14, percebe-se que os tempos de pico de ambos os HU's foram igualados, mas as vazões de pico ainda foram superiores a observada, sendo numericamente 43 % superior. Conseqüentemente os tempos de base resultaram 41 % e 25 % inferiores ao observado

para os HUT-SCS e HUC-SCS, respectivamente. Com base nas comparações realizadas neste trabalho somadas as de Genovez (1991), pode-se concluir que o HU do SCS tende a superestimar as vazões de pico para as condições da bacia hidrográfica estudada.

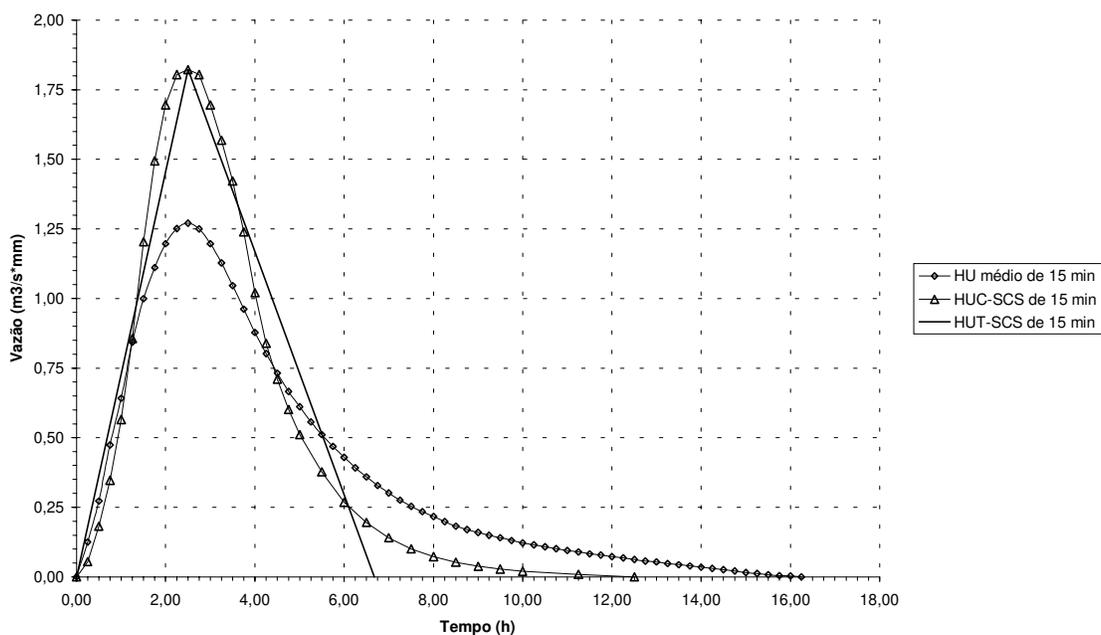


Figura 4.14: Comparação entre o HU médio observado e os HU's do SCS definidos a partir do tempo de pico do HU médio observado.

4.5. Precipitações totais excedentes calculadas a partir das precipitações observadas

Com os valores do *CN* definidos no item 4.2, o método do número da curva de escoamento superficial foi aplicado a cada precipitação observada e os resultados encontram-se na tabela 4.7.

Os resultados apresentados na tabela 4.7 mostram que em média as precipitações totais excedentes determinadas empregando o *CN* obtido pela classificação hidrológica do solo de Lombardi Neto et al. (1989) foram muito próximas da média observada enquanto que as médias

estimadas empregando o *CN* definido pela classificação do SCS resultaram em 32,2 % e 44,9 % da média observada.

Tabela 4.7: Precipitações totais excedentes observadas e simuladas aplicando o método do *CN* com as diferentes classificações.

Dados Observados			Resultados Simulados			
Evento	P (mm)	Q (mm)	Simulações A, C e E		Simulações B, D e F	
			Q _{SCS} (mm) CN = 64,7	Q _{Lom.} (mm) CN = 78,6	Q _{SCS} (mm) CN = 68,5	Q _{Lom.} (mm) CN = 80,9
01	24,7	4,6	0,0	1,5	0,0	2,2
02	39,2	11,7	0,9	6,8	1,9	8,5
03	75,1	28,3	12,1	28,8	15,9	32,4
04	24,2	9,5	0,0	1,4	0,0	2,1
05	22,5	10,8	0,0	1,0	0,0	1,6
06	16,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,3
07	12,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0
08	103,5	28,1	26,8	50,6	32,6	55,3
09	46,7	7,7	2,3	10,6	3,9	12,7
10	58,9	16,0	5,7	17,8	8,3	20,6
11	20,5	5,4	0,0	0,6	0,0	1,1
12	49,6	13,7	3,0	12,2	4,8	14,5
13	33,4	4,1	0,2	4,3	0,8	5,6
14	44,5	14,1	1,8	9,4	3,2	11,4
15a	29,8	7,7	0,0	3,0	0,3	4,1
15b	41,2	11,6	1,2	7,8	2,4	9,6
16	40,8	4,7	1,1	7,6	2,3	9,3
17	79,4	15,5	14,0	31,9	18,2	35,7
18	56,7	15,7	5,0	16,4	7,4	19,1
19	45,9	18,5	2,1	10,2	3,6	12,2
Total	864,7	236,6	76,2	221,9	105,6	258,3
Média	43,2	11,8	3,8	11,1	5,3	12,9

Na tabela 4.7 Q_{SCS} e Q_{Lom} representam as precipitações totais excedentes simuladas com os valores dos *CN*'s determinados com as classificações hidrológicas do solo propostas pelo SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) e por Lombardi Neto et al. (1989).

Visto que o *CN* não é uma constante, conforme observado também por Hjelmfelt (1991) e que o método não foi elaborado para prever uma taxa de infiltração, mas sim o volume total da infiltração para um dado evento, ou seja, o método foi suposto para prever uma tendência média e não a resposta de chuvas individuais, as quais podem se desviar da tendência média

(Ponce, 1996), os resultados apresentados na tabela 4.7 obtidos com os *CN*'s determinados pela classificação de Lombardi Neto et al. (1989) mostraram ser muito mais satisfatórios do que aqueles determinados com os *CN*'s obtidos pela classificação do SCS, conforme mostrou também a análise feita no item 4.3, reforçando a evidência de que os solos analisados têm comportamento diferenciado daqueles para onde o método foi desenvolvido.

4.6. CN obtido a partir de dados de campo

A princípio o objetivo era determinar o *CN* para dois tipos de solos argilosos, um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO textura argilosa/muito argilosa, os quais não ocorrem na área da bacia estudada, visando complementar a comparação entre as diferentes classificações hidrológicas do solo aplicadas neste estudo.

Numa primeira análise com somente dados pertencente ao complexo hidrológico descoberto de Campinas, foram encontrados valores do *CN* para as três AMC, aplicando o algoritmo usado por Silva (1996). Os dados foram agrupados de acordo com a AMC seguindo os limites dados na tabela 2.2 e separados de acordo com a estação do ano (seca ou úmida). Os resultados obtidos estão na tabela 4.8.

Tabela 4.8: *CN* obtido com o algoritmo usado por Silva (1996) para os dados do complexo hidrológico descoberto de Campinas

Condições de umidade antecedente	Estação Seca (Abril a Setembro)	Estação Úmida (Outubro a Março)
AMC I	CN = 83,7	CN = 83,8
AMC II	CN = 86,4	CN = 90,1
AMC III	CN = 91,9	CN = 89,1

Os resultados da tabela 4.8 não concordam com os valores da tabela 2.5, que para *CN* = 86 na AMC II deveria resultar aproximadamente em 72 e 94 para as AMC I e III respectivamente. Percebe-se que não houve uma correspondência entre os *CN*'s e o total

precipitado nos cinco dias antecedentes. Isso também ocorreu com Silva (1996) ao analisar os dados de 28 tipos de manejo do solo aplicado a quatro tipos de cultura, encontrando em alguns casos, *CN* da AMC II maior que da AMC III como também *CN* da AMC II menor que da AMC I. Dessa forma, representa que os limites da tabela 2.2 baseados na precipitação antecedente não são representativos das condições de umidade antecedente, pelo menos para a região onde os dados estudados foram coletados.

Tendo em vista a não correspondência dos valores encontrados com aqueles dados na literatura (tabela 2.5), procurou-se por soluções alternativas as quais não levassem em consideração as precipitações antecedentes. Essas e a metodologia utilizada por Silva (1996) foram apresentadas no subcapítulo 2.3.

Para se ter uma maior confiabilidade sobre as metodologias aqui aplicadas e pela disponibilidade dos dados, optou-se por agregar a este trabalho outros dados provenientes dos sistemas coletores do IAC, os quais foram relacionados no item 3.6. A cada complexo solo-cobertura-manejo foi determinado o *CN* para a AMC II pela média aritmética e aplicando a metodologia de Hawkins et al. (1985) e a metodologia adaptada de Silva (1996). Os resultados obtidos encontram-se na tabela 4.9.

Observa-se na tabela 4.9, que os resultados obtidos pela metodologia de Hawkins et al. (1985), foram muito variáveis, não respondendo adequadamente as condições proporcionadas pelo tipo de manejo aplicado. Isso pode ser observado nas culturas de soja e trigo com restos culturais na superfície cujos valores do *CN* foram superiores aos da soja e trigo com restos culturais incorporados e queimados. Outro exemplo é da cultura do milho, plantio direto e morro abaixo com *CN* superior ao do milho, preparo com grade pesada e morro abaixo.

Nota-se que quando o manejo agrícola proporciona uma melhora nas condições superficiais, a maioria dos eventos são eliminados, principalmente as grandes precipitações com baixo escoamento produzido. Se essa condição de cobertura ocorresse numa microbacia, talvez não fossem registrados eventos para se determinar o *CN*. Assim, baixos *CN*'s podem desafiar a prática da identificação dentro de nosso tempo de vida (Hawkins et al., 1985).

Tabela 4.9: Resultados obtidos das análises dos dados das estações experimentais do IAC com a metodologia de Hawkins et al. (1985), otimização adaptada de Silva (1996) e pela média.

Talhão	Período	N	Complexo solo-cobertura-manejo	CN _n calculado				
				Média	Otim.	N	Hawkins	N
100 m ²	1986-1988	143	Nenhuma, mas com 250 kg/ha de restos culturais de milho na superfície.	89	88	143	86	62
100 m ²	1986-1988	134	Nenhuma, mas com 8000 kg/ha de restos culturais de milho na superfície	82	72	134	69	5
1875 m ²	1973-1979	184	Milho, preparo convencional e cultivos mecânicos	73	63	172	75	4
1875 m ²	1973-1979	185	Milho, plantio direto	73	62	174	77	5
1875 m ²	1982-1988	238	Milho, preparo com grade pesada e plantio morro abaixo	73	65	229	69	5
1875 m ²	1982-1988	200	Milho, plantio direto e plantio morro abaixo	72	60	193	75	3
100 m ²	1973-1980	360	Milho, plantio morro abaixo, restos culturais queimados	80	71	350	66	5
100 m ²	1973-1980	336	Milho contínuo, plantio morro abaixo, restos culturais incorporados	79	68	325	68	4
100 m ²	1973-1980	341	Milho contínuo, plantio em contorno, restos culturais incorporados	78	67	330	67	2
100 m ²	1973-1980	277	Milho contínuo, plantio morro abaixo, restos culturais na superfície	76	62	266	73	2
100 m ²	1980-1986	345	Soja convencional, restos incorporados/ Trigo, convencional, plantio morro abaixo, restos incorporados	80	74	339	68	7
100 m ²	1980-1986	398	Soja convencional, restos incorporados/ Trigo, convencional, plantio morro abaixo, restos queimados	82	77	390	68	8
100 m ²	1980-1986	277	Soja, plantio direto, restos na superfície/ Trigo, plantio direto, plantio morro abaixo, restos na superfície	75	59	270	78	2
100 m ²	1980-1986	374	Soja plantio direto, restos incorporados/ Trigo, convencional, plantio morro abaixo, restos na superfície	80	72	363	74	18
100 m ²	1954-1972	91	Cana-de-açúcar 1.º ano	79	71	89	69	9
100 m ²	1954-1972	300	Cana-de-açúcar 2.º e 3.º anos	79	65	278	65	4
100 m ²	1954-1972	391	Cana-de-açúcar geral	79	68	367	68	13
100 m ²	1973-1979	56	Cana-de-açúcar 1.º ano	82	80	54	79	8
100 m ²	1973-1979	157	Cana-de-açúcar 2.º, 3.º etc...	74	57	152	95	1
100 m ²	1973-1979	213	Cana-de-açúcar geral	76	66	206	78	7
100 m ²	1979-1985	486	Descoberto	89	89	477	84	159
100 m ²	1979-1985	425	Descoberto	89	88	402	84	151

A otimização adaptada de Silva (1996) mostrou-se mais consistente apresentando resultados coerentes com os diversos tipos de manejo empregado, como pode ser observado na

tabela 4.9. Baseando-se nos valores do *CN* encontrados com a otimização adaptada, os efeitos do manejo sobre o escoamento superficial para as culturas estudadas puderam ser avaliados.

Cultura do milho

Considerando os talhões de 100 m², nota-se que a melhor opção de manejo é deixar os restos culturais na superfície, seguido do plantio em contorno com restos culturais incorporados. Os valores do *CN* para essas culturas são coerentes com os valores da tabela 2.4b, plantios em linha, C + CR para o grupo hidrológico A. O plantio morro abaixo com restos culturais queimados apresentou o pior desempenho seguido do plantio morro abaixo com restos incorporados. Os *CN*'s obtidos para os dados dessas culturas são coerentes com os obtidos da tabela 2.4b, plantios em linha, SR + CR para o grupo hidrológico A.

Considerando os talhões de 1875 m², nota-se que o plantio direto em contorno apresentou resultado mais satisfatório seguido do preparo convencional e cultivos mecânicos que apresentou praticamente o mesmo valor de *CN* do plantio direto. Observa-se também nessas áreas maiores que o plantio morro abaixo foi o que apresentou o pior resultado. Assim fica clara a superioridade dos manejos baseados nos restos culturais na superfície e do plantio em contorno.

Cultura da soja e trigo

Como observado na cultura do milho, o melhor desempenho obtido foi quando ambas as culturas foram cultivadas com os restos culturais na superfície, seguido do sistema misto de restos culturais incorporados e na superfície. Os restos culturais incorporados apresentaram melhores resultados que o sistema misto restos incorporados e queimados, porém os valores do *CN* obtidos foram significativamente superiores quando comparados com o do sistema de cultivo com restos culturais na superfície.

Cultivo da cana-de-açúcar

Observa-se que há muito mais escoamento no primeiro ano do cultivo, período em que se ara e prepara o solo para o plantio. Para os anos subsequentes a cana proporciona boa proteção

para o solo. A cultura do período de 1973 a 1979 apresenta ótima proteção ao solo do segundo ano até o último, período no qual o escoamento registrado foi significativamente reduzido. Isso é notado claramente pela redução no valor do *CN* do primeiro ano para o valor do *CN* obtido dos anos subsequentes, o que implica que quanto mais tempo a cultura da cana ficar sem o plantio, menor serão as perdas por erosão e conseqüentemente o desgaste do solo, proporcionando uma maior recarga da água no subsolo por infiltração.

Descoberto

Foram analisados os dados para dois talhões sem cultura, mas com resíduos na superfície e dois completamente expostos. Para os talhões de Campinas os resultados obtidos foram:

- *CN* = 88 para o talhão com 25 g/m² (0,25 t/ha) de palha de milho na superfície;
- *CN* = 72 para o talhão com 800 g/m² (8 t/ha) de palha de milho na superfície;
- *CN* = 89 para o talhão totalmente exposto, sem cobertura.

Com vistas aos resultados obtidos, observa-se que o efeito da cobertura do solo com resíduos de colheita na superfície, protegendo-o contra o impacto das gotas da chuva e proporcionando um retardamento do escoamento, melhora significativamente as condições de infiltração. Comparando os valores obtidos com os da tabela 2.4b, verifica-se que o valor obtido para a cobertura com resíduo está coerente com os valores dados na tabela 2.4b para terra arada, CR, grupo hidrológico A. O valor obtido para o solo exposto resultou maior que o da tabela 2.4d para o grupo hidrológico A, mas há de se considerar que a área analisada é muito pequena, além de ser o LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico textura argilosa um tipo de solo que apresenta boa porosidade total e sendo também de consistência friável, quando mantido sem cobertura este tenderá a sofrer uma leve compactação superficial prejudicando a infiltração, visto que a cobertura proporciona o desenvolvimento da macrofauna de invertebrados os quais desempenham papel importante na formação e estabilidade dos agregados e na regeneração dos volumes estruturais compactados (Fregonezi et al., 2001).

Para o talhão descoberto de Mococa, cujo solo está classificado no grupo hidrológico B segundo a classificação de Lombardi Neto et al. (1989), o *CN* obtido é coerente com o valor da tabela 2.4b para terra arada, solo exposto, grupo hidrológico B.

As figuras 4.15 e 4.16 mostram, respectivamente, a curva do *CN* determinado com a metodologia de Hawkins et al. (1985) e com a otimização adaptada de Silva (1996). No Anexo D encontram-se as curvas dos *CN*'s determinados para os demais complexos hidrológicos solo-cobertura-manejo listados na tabela 4.9.

A figura 4.17 apresenta uma comparação entre o *CN* da microbacia, estimado com as diferentes classificações hidrológicas, com o *CN* determinado pela aplicação da metodologia de Hawkins et al. (1985) e da otimização adaptada de Silva (1996).

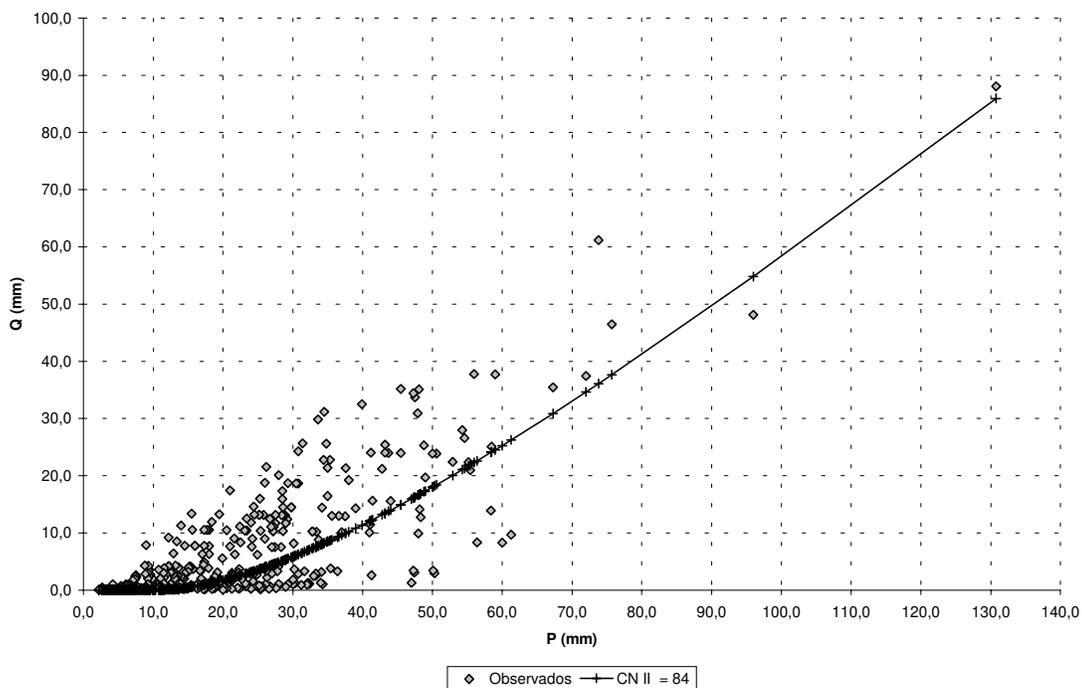


Figura 4.15: *CN* determinado com aplicação da metodologia de Hawkins et al. (1985) aos eventos do complexo descoberto, de Campinas. Período de dados 1979 a 1985.

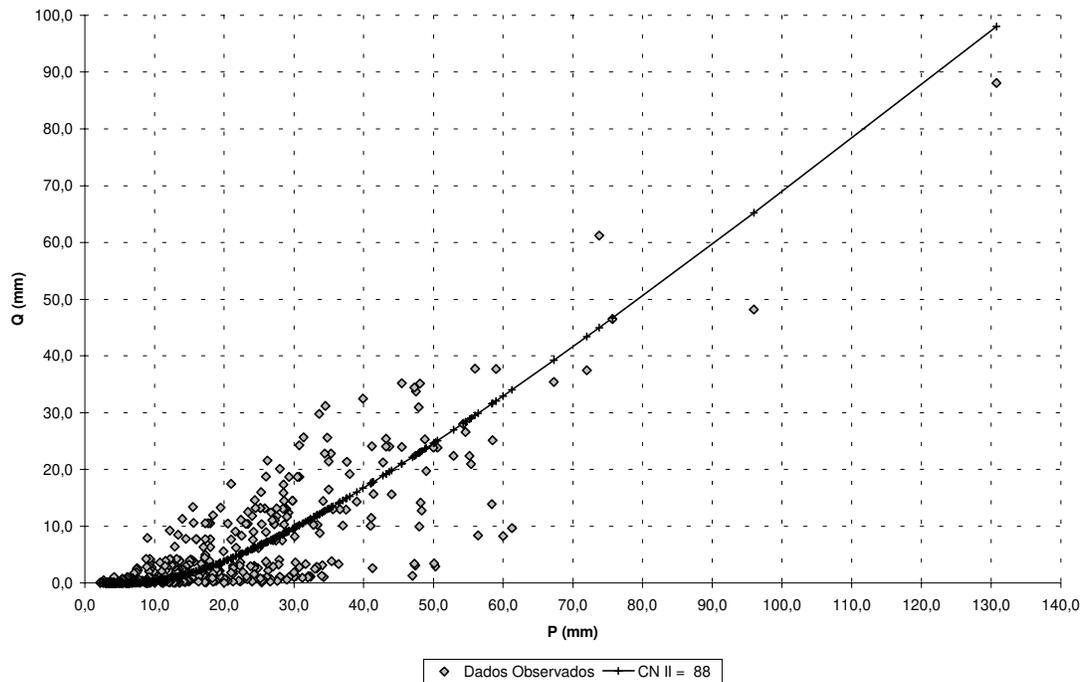


Figura 4.16: *CN* determinado com aplicação da otimização adaptada de Silva (1996) aos eventos do complexo descoberto, de Campinas. Período de dados 1979 a 1985.

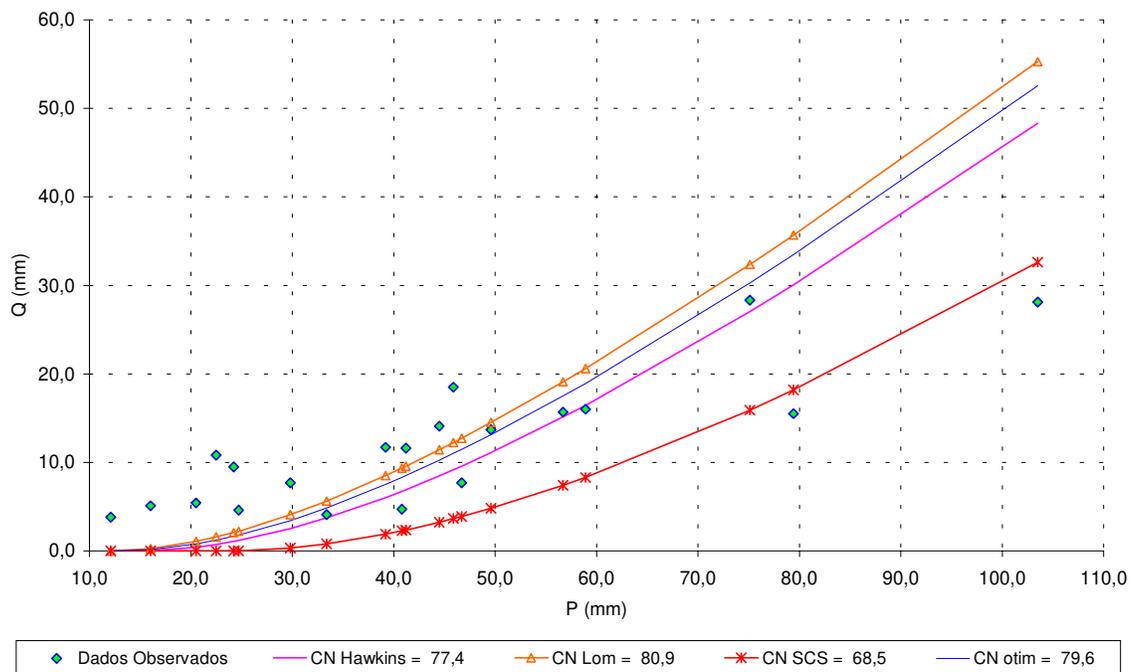


Figura 4.17: Curvas do *CN* para a MHRM, estimadas com as diferentes classificações hidrológicas, e com a metodologia de Hawkins et al. (1985) e da otimização adaptada de Silva (1996).

Como pode ser observado na figura 4.17, que os *CN*'s definidos a partir de dados de campo com as duas metodologias apresentadas foram próximos dos *CN*'s estimados pela classificação hidrológica de Lombardi Neto et al. (1989), os quais representam aproximadamente a tendência central dos dados, enquanto a curva do *CN* estimada com a classificação do SCS satisfaz apenas dois eventos, subestimando os restantes.

Esses resultados vêm reforçar as análises realizadas com os eventos observados na Microbacia do Ribeirão dos Marins, as quais haviam evidenciado que os solos analisados neste estudo possuem características diferentes dos solos usados no desenvolvimento da classificação hidrológica original do SCS.

Os solos analisados para obtenção do *CN*, embora sejam argilosos, eles não possuem argila de alta atividade (grupo 2:1), ou seja, não são solos que aumentam de volume quando molhados. Além disso, possuem boa porosidade total, são normalmente profundos com discreto ou pequeno gradiente textural entre os horizontes superficial e subsuperficial, que é um dos fatores limitantes e talvez o principal, da maioria dos solos arenosos em superfície.

O grau de contração e expansão de um solo é condicionado à quantidade e natureza dos constituintes da fração argila. Os solos argilosos compostos por argilominerais do grupo 2:1, que tem como principal representante a montmorilonita, apresentam mudanças em suas condições físicas entre o estado seco e o molhado, ou seja, no estado seco se contraem, e dependendo do grau da concentração desses argilominerais, podem desenvolver fendas ou rachaduras largas de até 20 cm e profundas com algumas dezenas de centímetros, as quais desaparecem no estado úmido devido à expansão das unidades estruturais (Oliveira, 2001).

A atividade da fração argila é indicada em levantamentos pedológicos pela capacidade de troca de cátions (CTC), cujos valores não incluem a contribuição de carbono, e referem-se ao horizonte B ou, se este inexistir, ao horizonte C (Prado, 2001). Os solos com $CTC > 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ argila são denominados de alta atividade (Ta) e com $CTC < 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ argila são considerados de baixa atividade (Tb). Os solos com $CTC < 17 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ argila são solos que não aumentam de volume quando molhados e não se contraem quando completamente secos, são geralmente

compostos por argilominerais do grupo da caulinita (1:1) e por óxidos de ferro e alumínio, características dos solos com horizonte B latossólico.

Baseando-se nos resultados obtidos neste estudo, na descrição dos 37 perfis de solos representativos dos grandes grupos encontrados no Estado de São Paulo (Oliveira, 1999a) e no conceito das classes gerais de solo do Brasil (Oliveira et al., 1992; Oliveira, 1999a; Oliveira, 1999b), observa-se que a classificação de Lombardi Neto et al. (1989) é adequada para as condições brasileiras. Sendo assim, uma adaptação para a nova nomenclatura usada pelo atual SBCS (Embrapa, 1999) para essa classificação é apresentada no Anexo D, assim como uma tabela de correspondência entre os grupos hidrológicos e as nomenclaturas antiga e nova utilizadas em levantamentos pedológicos. Também é proposta uma adaptação da tabela do *CN* para usos agrícolas, de acordo com os tipos de cobertura ou cultura mais comuns no Brasil, facilitando a escolha do valor do *CN* a ser empregado. Os valores dessa tabela foram baseados nos resultados aqui obtidos, nos trabalhos de Silva (1996) e Lombardi Neto (não publicado), e também nos próprios valores do *CN* da tabela do SCS.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

Para a metodologia usada neste estudo e baseado nos dados analisados foi possível obter algumas conclusões que serão apresentadas a seguir.

A classificação hidrológica do solo, adaptada às características dos solos brasileiros, principalmente do Estado de São Paulo, usada neste estudo, difere da original proposta pelo SCS. Ela é mais criteriosa, não leva em consideração apenas à textura do solo, mas também as características de todo o perfil.

Com base nos resultados apresentados pode-se dizer que os solos analisados têm comportamento diferenciado daqueles para onde a classificação hidrológica do solo foi desenvolvida.

Da comparação entre as precipitações excedentes e dos volumes dos hidrogramas de escoamento superficial calculados usando a classificação hidrológica do solo de acordo com o método original do SCS e com aquela adaptada as condições brasileiras, com os dados observados, percebe-se que a classificação hidrológica adaptada apresenta melhores resultados.

Baseando-se na análise dos eventos simulados e observados, pode-se concluir que o hidrograma unitário do SCS tende a superestimar as vazões de pico dos hidrogramas resultantes.

Na determinação do *CN*, a partir dos dados medidos no campo, foram aplicadas duas metodologias. A metodologia de Hawkins et al. (1985) mostrou-se inadequada para avaliar o *CN*, nas áreas experimentais de 100 m² e 1875 m², principalmente quando o efeito do manejo melhora consideravelmente as condições de infiltração, enquanto que a otimização adaptada

de Silva (1996) representa adequadamente a tendência média da dispersão dos dados levando-se em consideração os efeitos do manejo.

Com base nos valores dos *CN's* obtidos, pode-se afirmar que os solos argilosos dos talhões experimentais analisados não pertencem aos grupos hidrológicos C e D, mas sim aos grupos A e B.

Com vistas aos resultados obtidos neste estudo e em outros trabalhos, citados no capítulo anterior, sugere-se o uso da classificação hidrológica do solo apresentada no Anexo D. Devido à dificuldade da adoção do valor do *CN* para usos agrícolas considerando a tabela do SCS no momento da escolha do tipo de cobertura do solo, é também proposta no Anexo D, uma adaptação da tabela do *CN* para usos agrícolas.

A tabela da classificação hidrológica do solo como a do *CN* podem ser melhoradas. Para que isso seja possível há necessidade de incentivar a pesquisa de campo, construindo talhões experimentais sobre diversas classes de solo, coletar dados de precipitação, enxurrada e sedimento, analisar os dados e também expandir a elaboração de mapas pedológicos com descrição dos perfis de solo, pelo menos na escala semidetalhada, para todo o território brasileiro.

**Anexo A: Características dos Hidrogramas de Escoamento Superficial
Obtidos nas Simulações A, B, C, D, E e F.**

Tabela A1: Resultados da Simulação A

Evento	Hidrograma de Escoamento Superficial Simulado								
	CN _{observado}			CN _{SCS} (Ogrosky e Mockus, 1964)			CN _{Lombardi Neto et al. (1989)}		
	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)
1	1,75	5,75	13,27	-	-	-	1,50	5,50	3,94
2	1,75	5,00	37,40	1,75	4,75	2,78	1,50	4,75	21,82
3	4,50	9,50	48,78	4,50	9,25	24,60	4,50	9,50	49,37
4	1,50	6,00	22,62	-	-	-	2,75	5,75	3,17
5	1,75	4,00	36,09	-	-	-	1,50	3,75	3,44
6	1,75	5,75	14,48	-	-	-	2,75	5,00	0,18
7	1,75	4,50	12,68	-	-	-	-	-	-
8	4,75	9,25	47,50	4,75	9,25	45,67	5,25	9,75	73,98
9	1,75	5,00	23,04	1,75	4,75	6,72	1,75	5,00	31,93
10	2,75	6,50	41,18	2,50	6,00	16,06	2,75	6,50	45,45
11	1,75	4,00	18,84	-	-	-	1,25	3,50	2,12
12	1,75	8,50	27,92	2,00	8,25	4,27	1,75	8,50	27,92
13	1,50	4,50	13,09	1,75	4,25	0,73	1,50	4,50	13,77
14	3,25	7,50	29,47	2,75	5,75	4,72	3,75	7,25	20,06
15a	2,25	6,00	19,87	-	-	-	2,25	5,75	7,87
15b	2,00	6,75	26,17	2,75	6,25	2,68	2,00	6,75	16,79
16	2,25	5,50	11,38	2,50	5,25	2,99	2,50	5,75	18,06
17	2,00	10,50	33,58	2,00	10,50	29,93	2,25	10,75	75,04
18	2,25	5,50	43,46	2,25	5,25	15,20	2,25	5,50	45,18
19	2,00	7,00	46,58	2,00	6,50	4,61	2,00	6,75	24,86

Observações:

Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) : CN = 64,7
 Classificação Lombardi Neto et al. (1989) : CN = 78,6
 HUT do SCS para $t_c = 1,88$ horas

Tabela A2: Resultados da Simulação B

Evento	Hidrograma de Escoamento Superficial Simulado								
	CN _{observado}			CN _{SCS} (Ogrosky e Mockus, 1964)			CN _{Lombardi Neto et al. (1989)}		
	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)
1	1,75	5,75	13,27	-	-	-	1,50	5,50	6,14
2	1,75	5,00	37,40	1,50	4,75	5,96	1,75	5,00	27,23
3	4,50	9,50	48,78	4,75	9,50	30,97	5,00	9,75	53,56
4	1,50	6,00	22,62	-	-	-	2,75	6,00	4,56
5	1,75	4,00	36,09	-	-	-	1,50	3,75	5,51
6	1,75	5,75	14,48	-	-	-	2,75	5,25	0,56
7	1,75	4,50	12,68	-	-	-	-	-	-
8	4,75	9,25	47,50	4,75	9,25	53,41	5,25	9,75	78,52
9	1,75	5,00	23,04	1,75	4,75	11,39	2,25	5,50	38,34
10	2,75	6,50	41,18	2,50	6,00	22,56	2,75	6,50	51,98
11	1,75	4,00	18,84	-	-	-	1,50	3,75	3,81
12	1,75	8,50	27,92	2,00	8,25	7,85	1,75	8,50	29,97
13	1,50	4,50	13,09	1,50	4,25	2,49	1,50	4,50	18,13
14	3,25	7,50	29,47	2,50	5,75	7,78	3,25	7,50	23,98
15a	2,25	6,00	19,87	2,25	5,00	0,98	2,25	5,75	10,64
15b	2,00	6,75	26,17	2,50	6,25	5,04	2,00	6,75	21,13
16	2,25	5,50	11,38	2,50	5,50	5,68	2,00	5,75	22,49
17	2,00	10,50	33,58	2,00	10,50	40,28	2,25	10,75	84,53
18	2,25	5,50	43,46	2,50	5,50	21,84	2,25	5,50	52,14
19	2,00	7,00	46,58	2,00	6,75	8,35	2,25	7,00	30,12

Observações:

Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) : CN = 68,5
 Classificação Lombardi Neto et al. (1989) : CN = 80,9
 HUT do SCS para $t_c = 1,88$ horas

Tabela A3: Resultados da Simulação C

Evento	Hidrograma de Escoamento Superficial Simulado								
	CN _{observado}			CN _{SCS} (Ogrosky e Mockus, 1964)			CN _{Lombardi Neto et al. (1989)}		
	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)
1	2,25	7,00	10,09	-	-	-	2,25	6,75	3,07
2	2,25	6,25	27,79	2,25	6,00	2,07	2,00	6,00	16,22
3	5,00	10,75	41,58	5,00	10,50	20,67	5,00	10,75	42,08
4	2,25	7,25	17,97	-	-	-	3,25	7,00	2,60
5	2,25	5,25	26,49	-	-	-	2,00	5,00	2,48
6	2,25	7,00	10,91	-	-	-	-	-	-
7	2,25	5,75	9,32	-	-	-	-	-	-
8	5,50	10,50	39,07	5,50	10,50	37,61	6,00	11,00	60,14
9	2,25	6,25	17,48	2,25	6,00	5,13	2,50	6,50	24,18
10	3,25	7,75	32,72	3,00	7,25	12,43	3,25	7,75	36,20
11	2,25	5,25	13,67	-	-	-	1,75	4,75	1,53
12	2,25	9,75	21,63	2,50	9,50	3,40	2,50	9,75	18,98
13	2,00	5,75	9,77	2,25	5,50	0,54	2,00	5,75	10,27
14	3,75	8,75	24,71	3,25	7,00	3,73	4,25	8,50	17,00
15a	2,75	7,25	15,79	-	-	-	2,75	7,00	6,23
15b	2,50	8,00	21,01	3,25	7,50	2,24	2,75	8,00	13,74
16	2,75	6,75	9,25	3,00	6,50	2,35	2,75	7,00	14,77
17	2,50	11,75	25,26	2,50	11,75	22,52	2,75	12,00	56,74
18	2,75	6,75	33,80	2,75	6,50	11,47	2,75	6,75	35,15
19	2,50	8,25	36,31	3,00	7,75	3,78	2,50	8,00	19,50

Observações:

Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) : CN = 64,7

Classificação Lombardi Neto et al. (1989) : CN = 78,6

HUT do SCS para $t_c = 2,62$ horas

Tabela A4: Resultados da Simulação D

Evento	Hidrograma de Escoamento Superficial Simulado								
	CN _{observado}			CN _{SCS} (Ogrosky e Mockus, 1964)			CN _{Lombardi Neto et al. (1989)}		
	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)
1	2,25	7,00	10,09	-	-	-	2,00	6,75	4,71
2	2,25	6,25	27,79	2,00	6,00	4,46	2,25	6,25	20,24
3	5,00	10,75	41,58	5,25	10,75	26,12	5,25	11,00	46,00
4	2,25	7,25	17,97	-	-	-	3,25	7,00	3,81
5	2,25	5,25	26,49	-	-	-	2,00	5,00	3,99
6	2,25	7,00	10,91	-	-	-	3,00	6,50	0,47
7	2,25	5,75	9,32	-	-	-	-	-	-
8	5,50	10,50	39,07	5,50	10,50	43,79	6,00	11,00	63,73
9	2,25	6,25	17,48	2,00	6,00	8,73	2,75	6,75	29,04
10	3,25	7,75	32,72	3,00	7,25	17,61	3,25	7,75	41,55
11	2,25	5,25	13,67	-	-	-	2,00	5,00	2,74
12	2,25	9,75	21,63	2,50	9,50	6,22	2,25	9,75	23,19
13	2,00	5,75	9,77	2,00	5,50	1,86	2,00	5,75	13,48
14	3,75	8,75	24,71	3,00	7,00	6,33	4,00	8,75	20,23
15a	2,75	7,25	15,79	2,75	6,00	0,75	2,75	7,00	8,43
15b	2,50	8,00	21,01	3,00	7,50	4,27	2,75	8,00	17,07
16	2,75	6,75	9,25	3,00	6,75	4,56	2,75	7,00	18,28
17	2,50	11,75	25,26	2,50	12,00	30,32	2,75	11,75	64,03
18	2,75	6,75	33,80	3,00	6,75	16,61	2,75	6,75	40,66
19	2,50	8,25	36,31	2,75	8,00	6,66	2,75	8,25	23,63

Observações:

Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) : CN = 68,5

Classificação Lombardi Neto et al. (1989) : CN = 80,9

HUT do SCS para $t_c = 2,62$ horas

Tabela A5: Resultados da Simulação E

Evento	Hidrograma de Escoamento Superficial Simulado								
	CN _{observado}			CN _{SCS (Ogrosky e Mockus, 1964)}			CN _{Lombardi Neto et al. (1989)}		
	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)
1	3,00	17,50	5,50	-	-	-	3,00	16,75	1,74
2	3,00	17,00	14,57	2,75	16,25	1,09	2,75	16,75	8,50
3	5,75	21,50	27,57	5,75	21,00	12,79	5,75	21,50	27,96
4	3,25	18,00	10,58	-	-	-	3,50	17,25	1,52
5	2,75	16,75	13,68	-	-	-	2,75	16,00	1,22
6	3,00	17,75	5,96	-	-	-	-	-	-
7	3,00	16,75	4,79	-	-	-	-	-	-
8	6,50	21,50	26,34	6,75	21,50	25,28	6,75	22,00	43,10
9	3,00	17,25	9,46	3,00	16,75	2,81	3,00	17,25	13,06
10	3,50	18,25	18,67	3,50	17,75	6,86	4,00	18,50	20,69
11	2,75	16,50	6,85	-	-	-	2,50	15,50	0,74
12	3,25	20,75	12,21	6,00	20,25	2,42	3,25	20,75	10,73
13	3,00	16,75	5,14	2,50	15,00	0,28	2,75	16,75	5,39
14	4,75	19,75	15,37	3,50	17,50	2,10	4,75	19,25	10,49
15a	3,50	18,00	9,03	-	-	-	3,50	17,50	3,56
15b	3,50	18,75	12,63	4,00	17,50	1,34	3,50	18,50	8,38
16	3,25	17,75	5,43	3,50	17,00	1,34	3,50	18,00	8,75
17	3,50	22,00	14,06	3,50	22,00	12,59	3,50	22,50	31,01
18	3,25	17,75	18,94	3,50	17,50	6,16	3,25	17,75	19,72
19	3,25	19,00	20,59	3,50	17,75	2,30	3,50	18,75	11,16

Observações:

Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) : CN = 64,7
 Classificação Lombardi Neto et al. (1989) : CN = 78,6
 HU médio observado determinado para a MHRM

Tabela A6: Resultados da Simulação F

Evento	Hidrograma de Escoamento Superficial Simulado								
	CN _{observado}			CN _{SCS (Ogrosky e Mockus, 1964)}			CN _{Lombardi Neto et al. (1989)}		
	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)	t_p (h)	t_b (h)	q_p (m ³ /s)
1	3,00	17,50	5,50	-	-	-	3,00	17,00	2,63
2	3,00	17,00	14,57	2,75	16,50	2,36	2,75	16,75	10,60
3	5,75	21,50	27,57	5,75	21,00	16,43	6,00	21,75	30,97
4	3,25	18,00	10,58	-	-	-	3,75	17,50	2,29
5	2,75	16,75	13,68	-	-	-	2,75	16,25	1,98
6	3,00	17,75	5,96	-	-	-	3,00	15,75	0,28
7	3,00	16,75	4,79	-	-	-	-	-	-
8	6,50	21,50	26,34	6,75	21,50	29,76	6,75	22,25	46,29
9	3,00	17,25	9,46	2,75	16,75	4,78	3,25	17,50	15,67
10	3,50	18,25	18,67	3,50	17,75	9,86	3,75	18,50	23,95
11	2,75	16,50	6,85	-	-	-	2,75	16,00	1,34
12	3,25	20,75	12,21	6,00	20,25	3,64	3,25	20,75	13,06
13	3,00	16,75	5,14	2,75	16,00	0,99	2,75	16,75	7,04
14	4,75	19,75	15,37	3,50	17,75	3,72	4,75	19,50	12,56
15a	3,50	18,00	9,03	2,75	17,75	0,41	3,50	17,50	4,82
15b	3,50	18,75	12,63	3,50	17,75	2,59	3,50	18,75	10,36
16	3,25	17,75	5,43	3,25	17,25	2,65	3,50	18,00	10,79
17	3,50	22,00	14,06	3,50	22,00	16,77	3,50	22,50	35,01
18	3,25	17,75	18,94	3,50	17,50	9,05	3,50	17,75	22,80
19	3,25	19,00	20,59	3,50	18,00	3,98	3,50	19,00	13,57

Observações:

Classificação SCS (Ogrosky e Mockus, 1964) : CN = 68,5
 Classificação Lombardi Neto et al. (1989) : CN = 80,9
 HU médio observado determinado para a MHRM

Anexo B: Hidrogramas Calculados na Simulação F e Observados

Figura B1 - Evento 1 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 3/1/1999

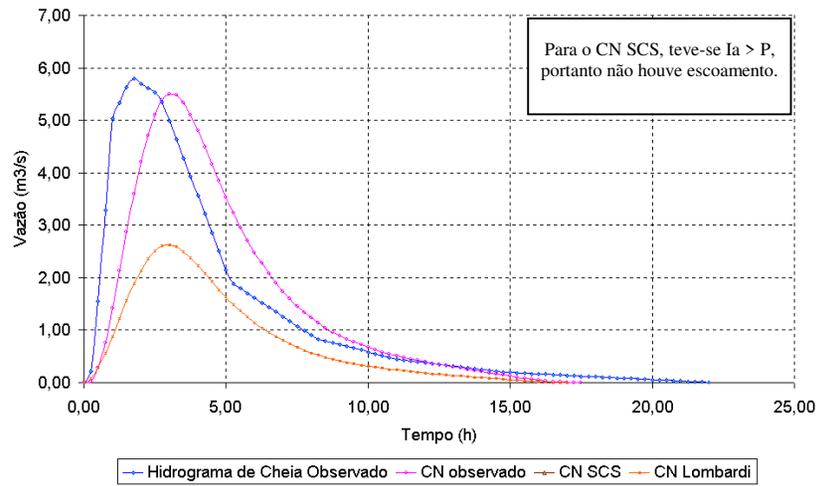


Figura B3 - Evento 3 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 15/1/1999

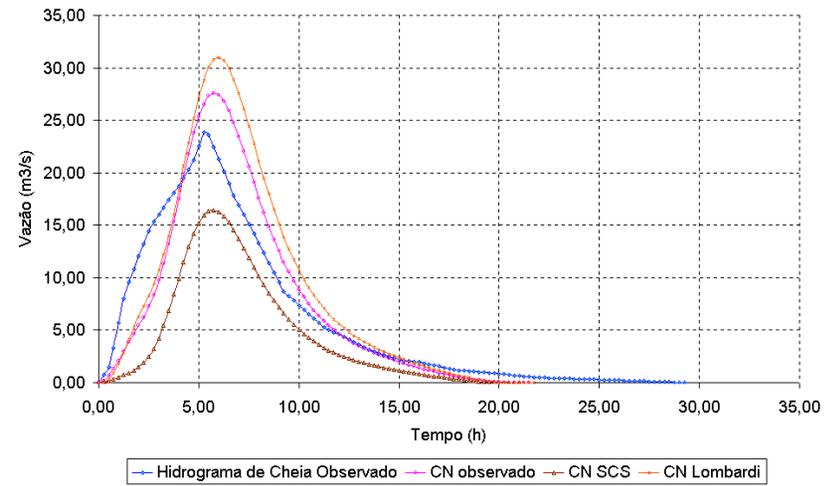


Figura B2 - Evento 2 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 13/1/1999

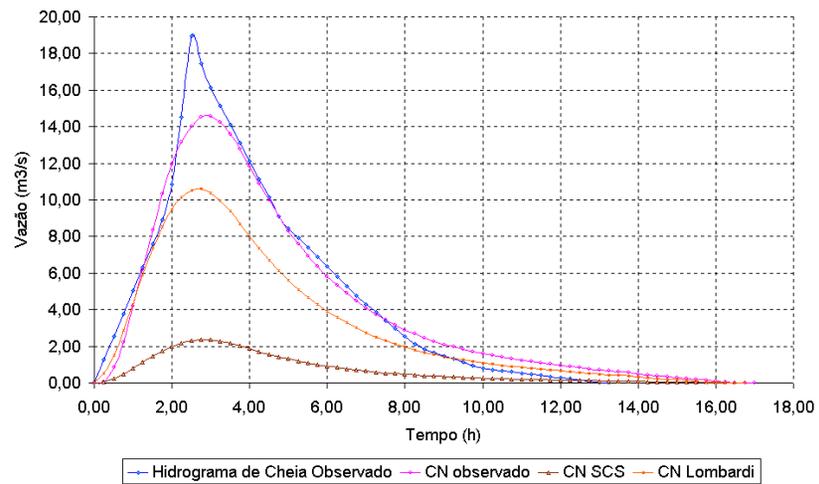


Figura B4 - Evento 4 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 2/2/1999

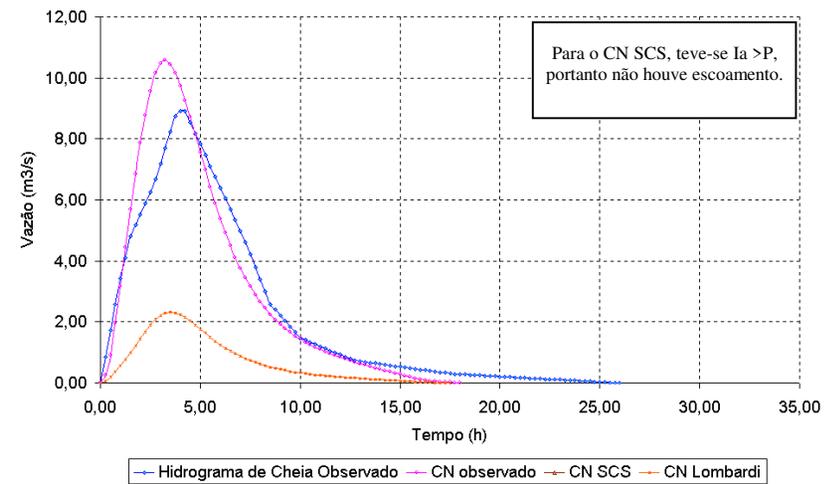


Figura B5 - Evento 5 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 12/2/1999

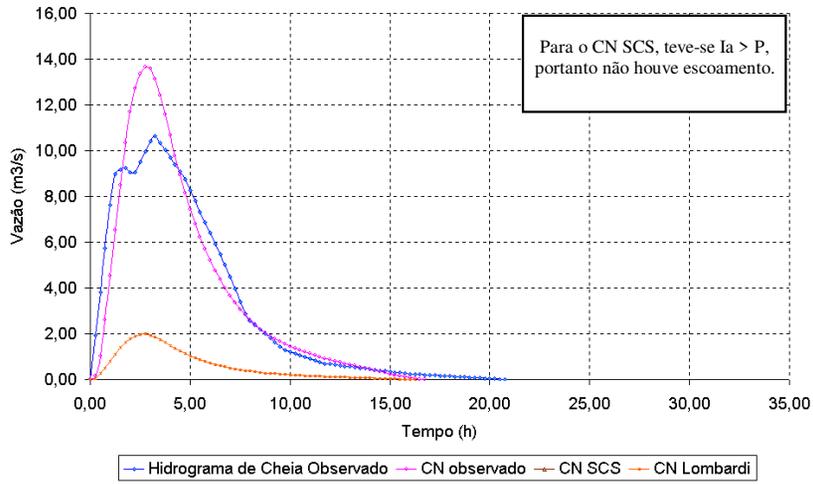


Figura B7 - Evento 7 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 1/3/1999

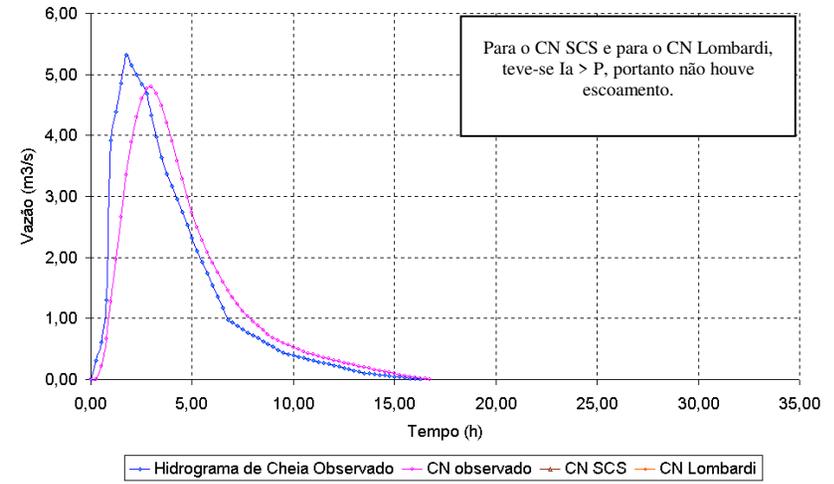


Figura B6 - Evento 6 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 25/2/1999

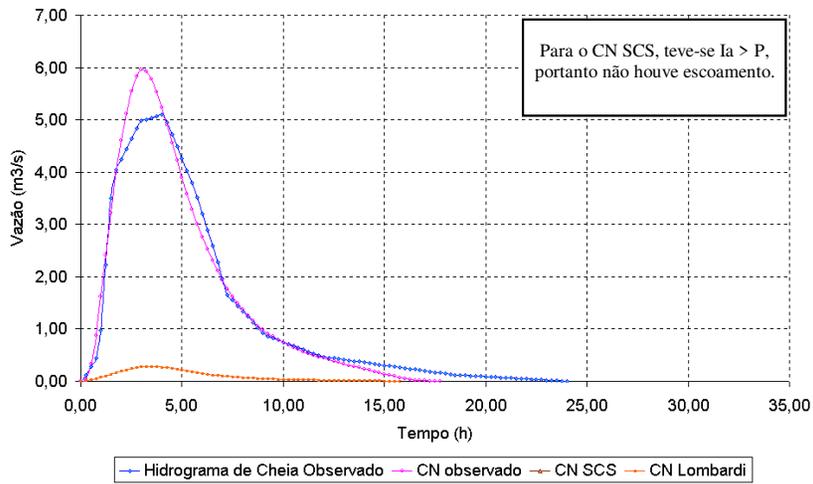


Figura B8 - Evento 8 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 11/3/1999

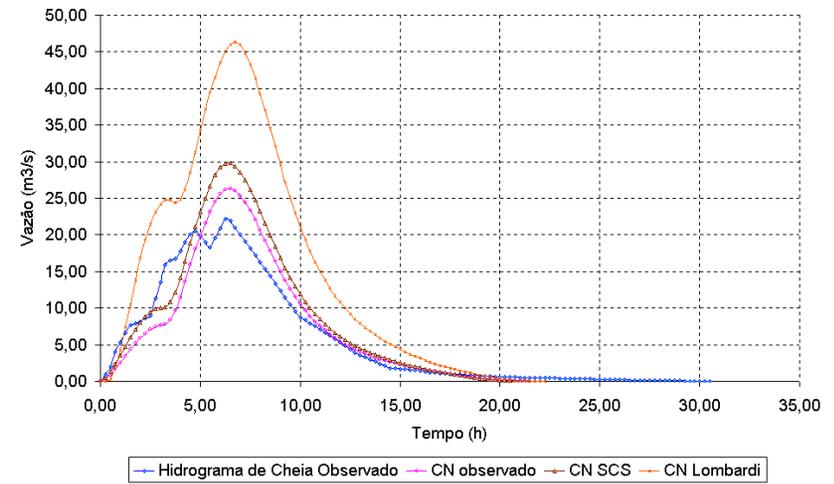


Figura B9 - Evento 9 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 13/12/1999

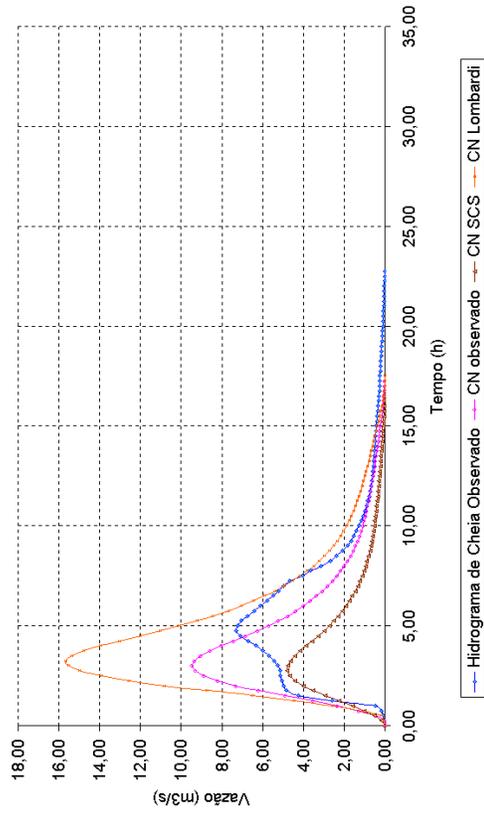


Figura B11 - Evento 11 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 15/9/2000

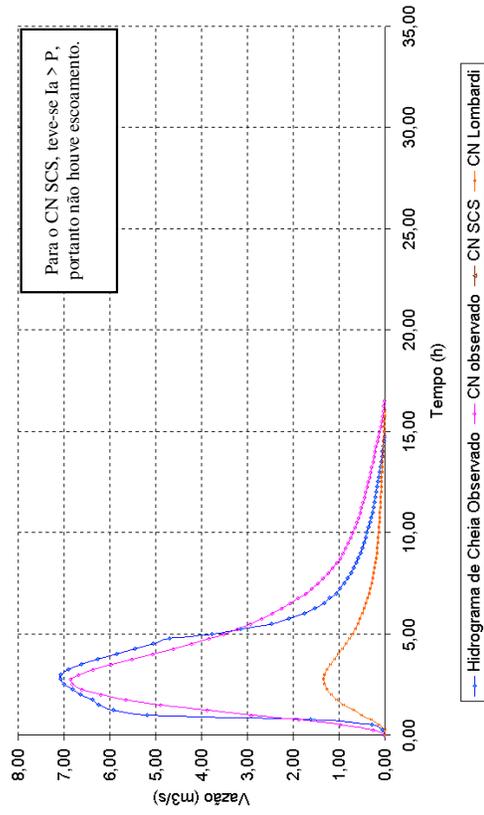


Figura B10 - Evento 10 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 7/1/2000

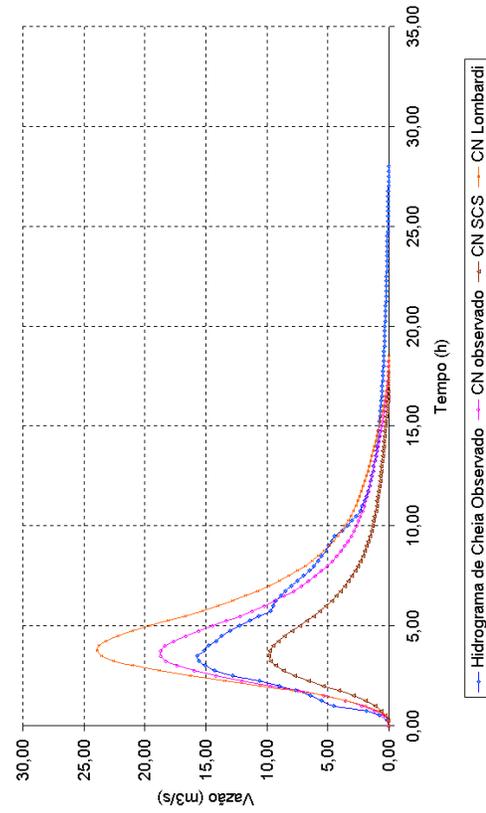


Figura B12 - Evento 12 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 27/12/2000

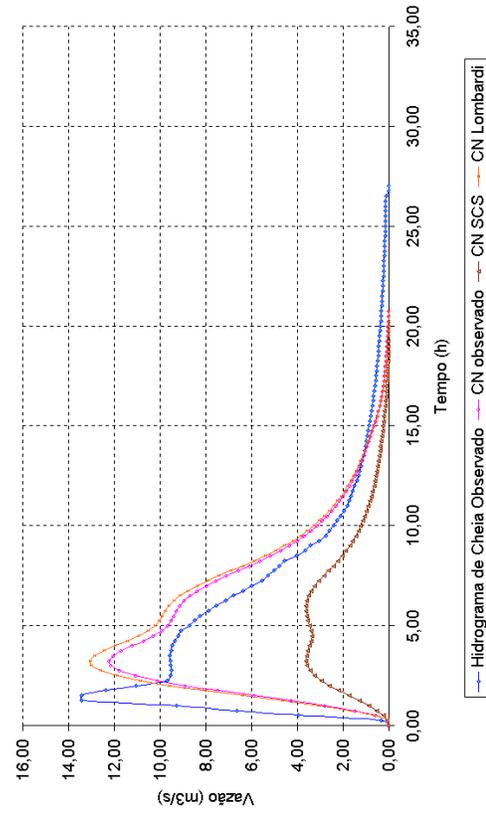


Figura B13 - Evento 13 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 25/1/2001

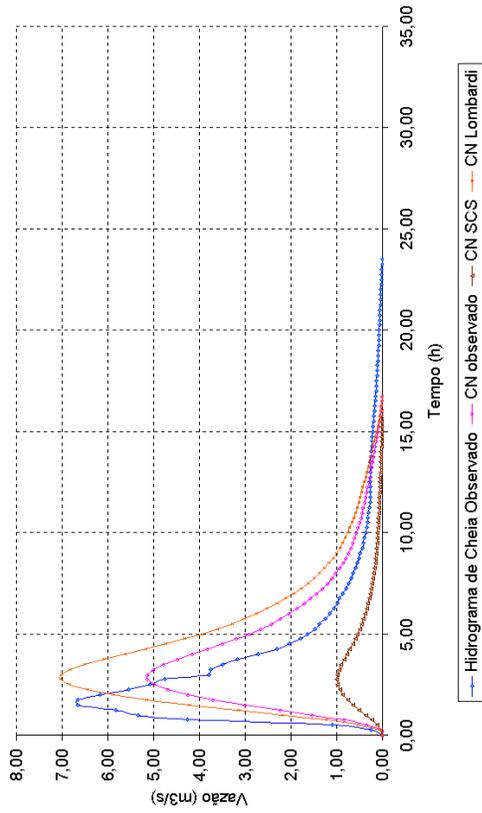


Figura B15 - Evento 15a - Hidrogramas Simulados e Observado dia 10/3/2001

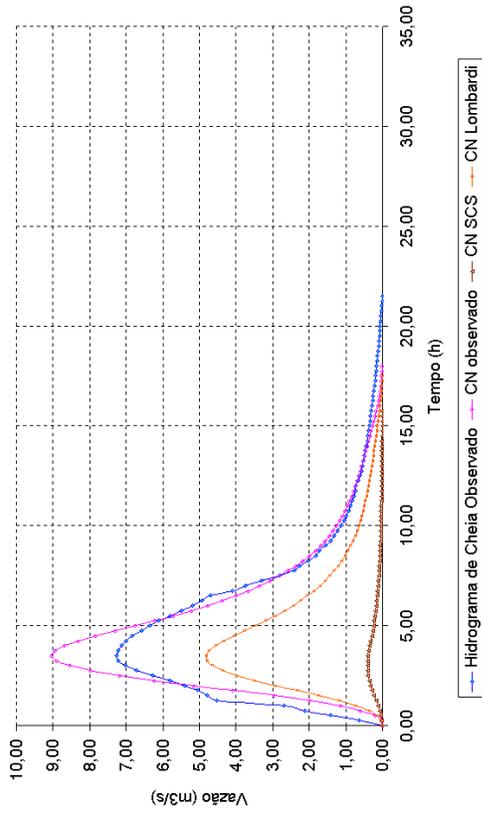


Figura B14 - Evento 14 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 29/1/2001

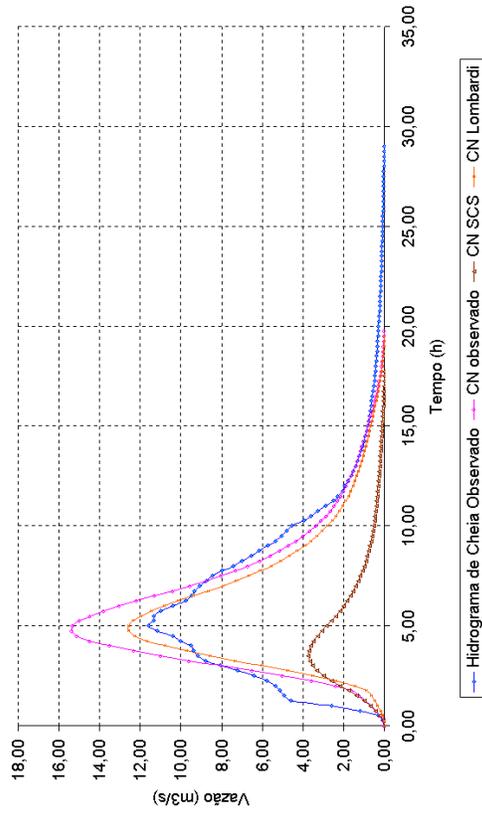


Figura B16 - Evento 15b - Hidrogramas Simulados e Observado dia 10/3/2001

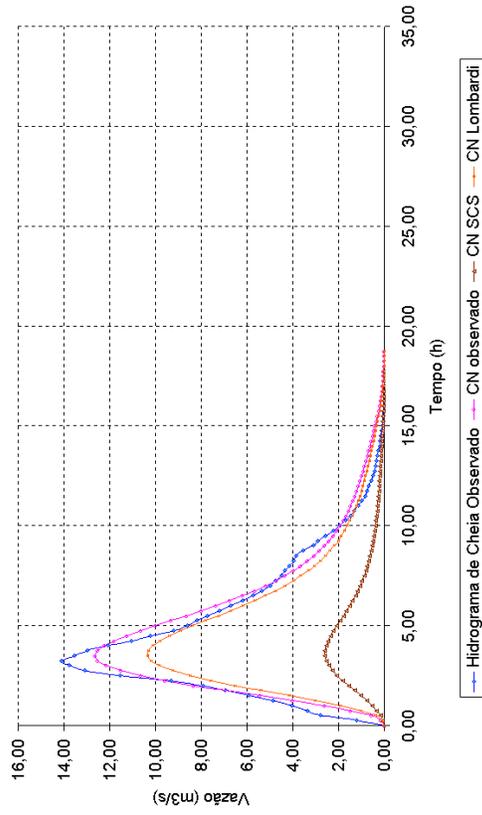


Figura B17 - Evento 16 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 29/11/2001

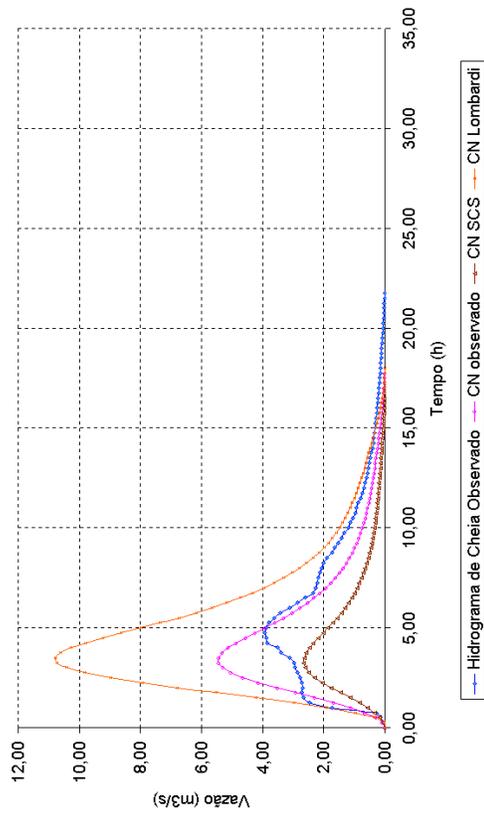


Figura B19 - Evento 18 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 1/2/2002

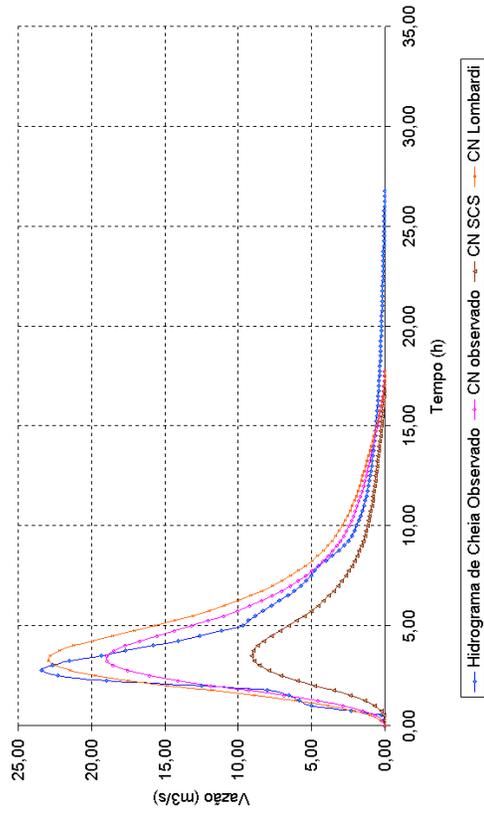


Figura B18 - Evento 17 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 9/1/2002

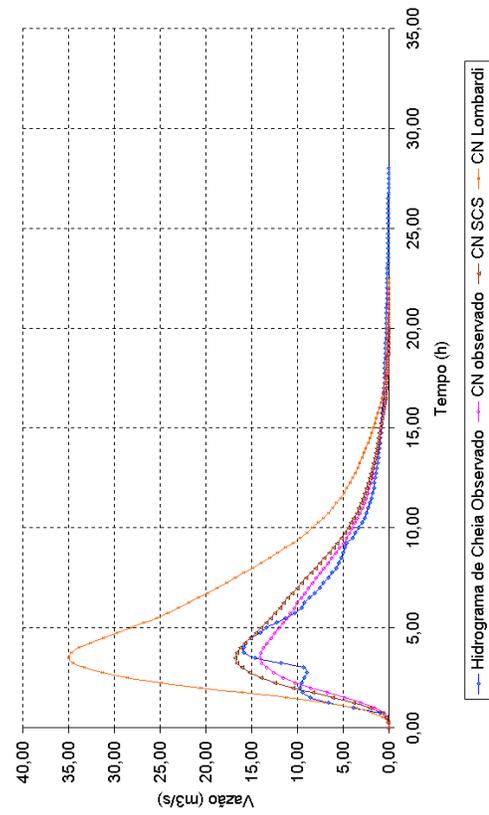
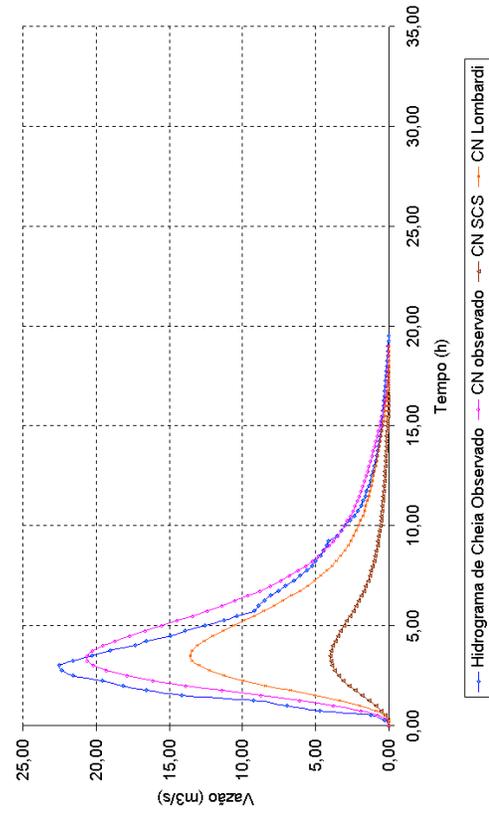


Figura B20 - Evento 19 - Hidrogramas Simulados e Observado dia 9/2/2002



Anexo C: Curvas de escoamento superficial, CN, para diversos tipos de cobertura e manejo agrícola.

Figura C1a: CN determinado para solo sem cultura, com 250 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

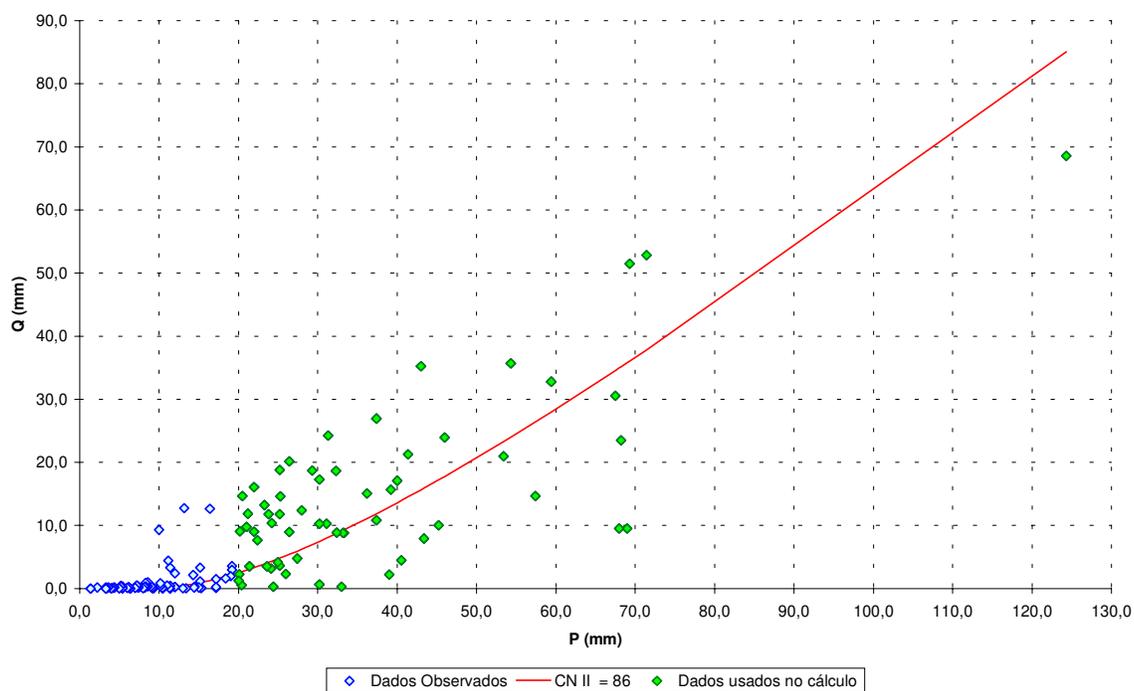


Figura C1b: CN determinado para solo sem cultura, com 250 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

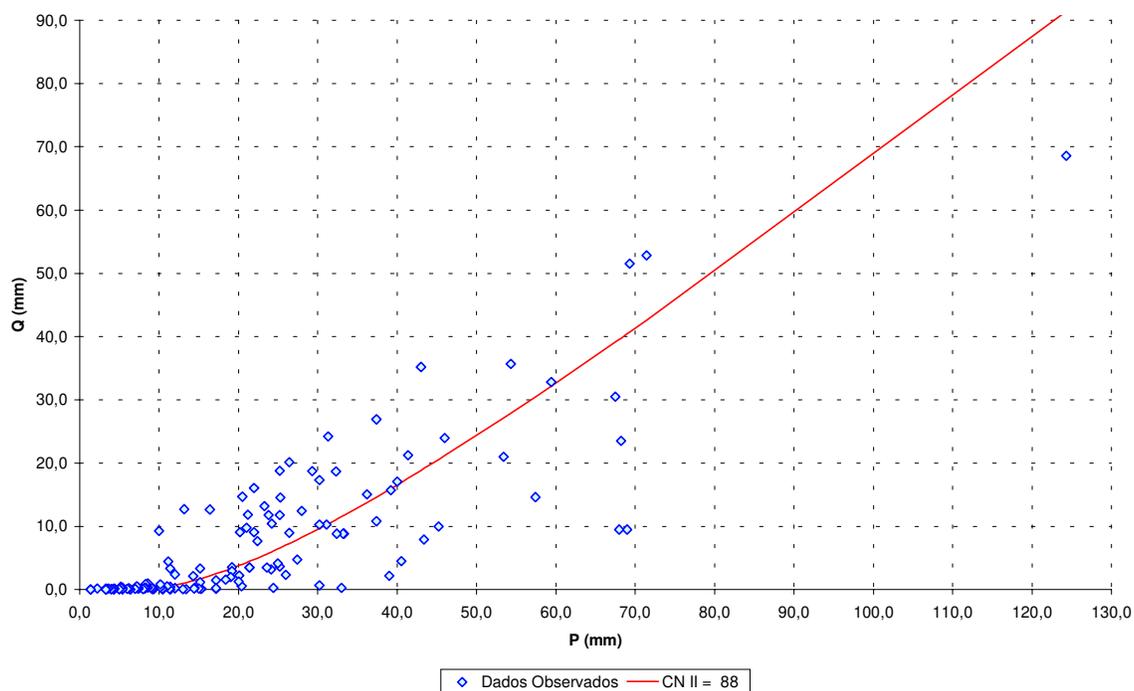


Figura C2a: CN determinado para solo sem cultura, com 8000 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

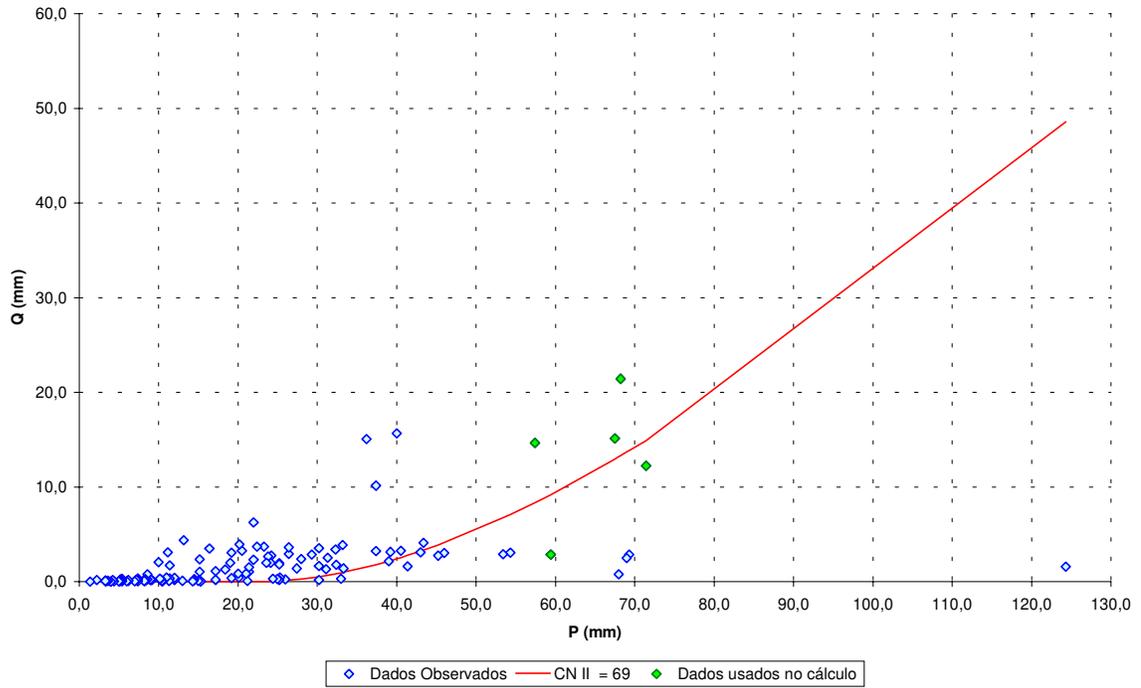


Figura C2b: CN determinado para solo sem cultura, com 8000 kg/ha de restos culturais na superfície. Período de observação 1986 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

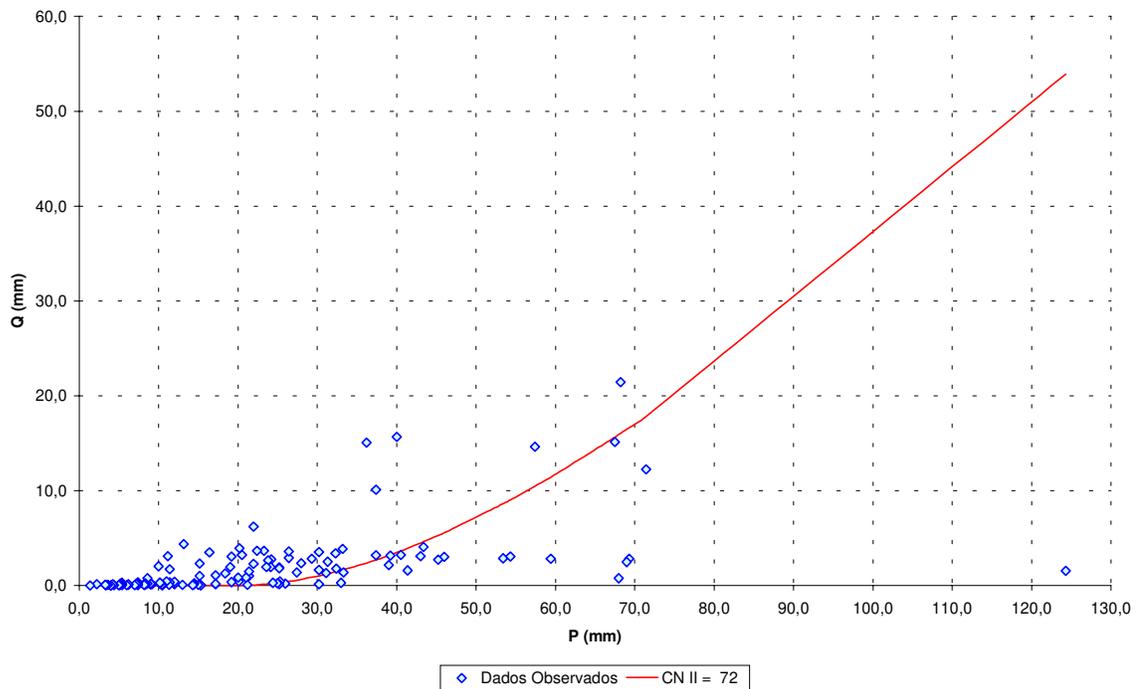


Figura C3a: CN determinado para cultura do milho, preparo convencional e cultivos mecânicos. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

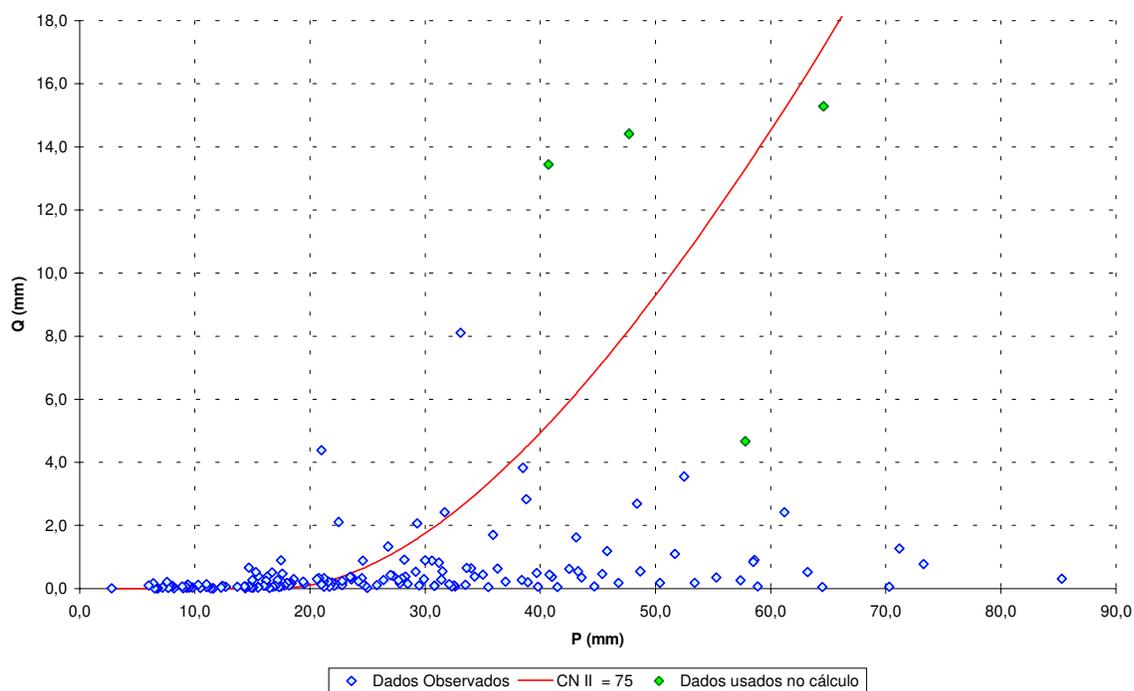


Figura C3b: CN determinado para cultura do milho, preparo convencional e cultivos mecânicos. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

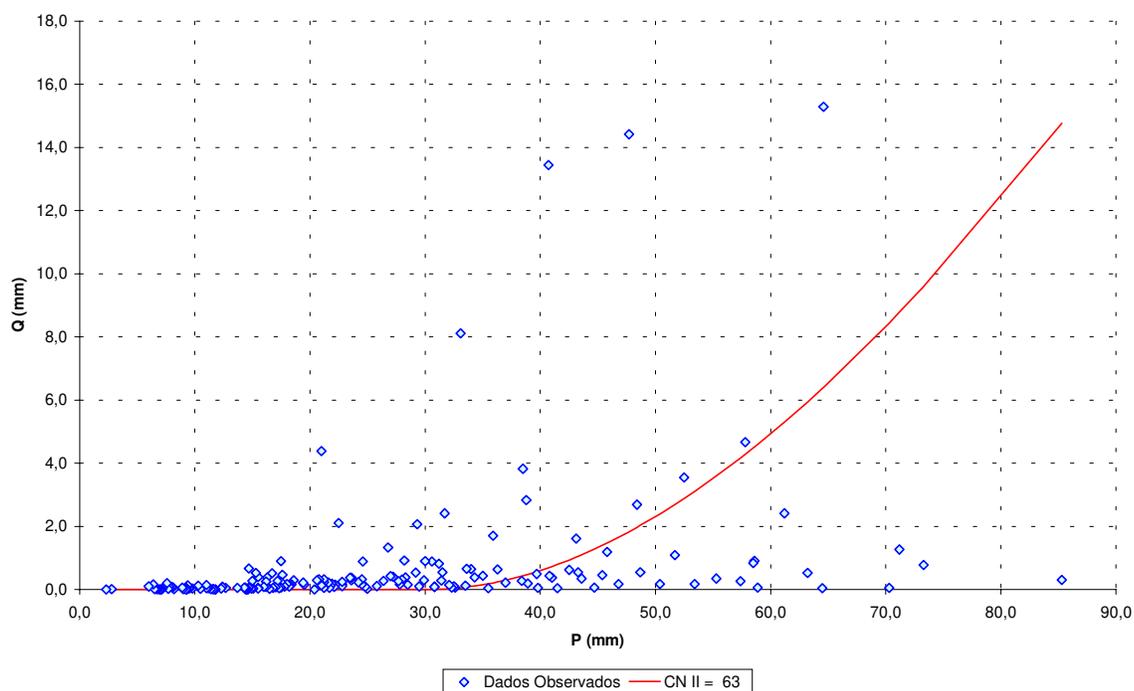


Figura C4a: CN determinado para cultura do milho, plantio direto. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

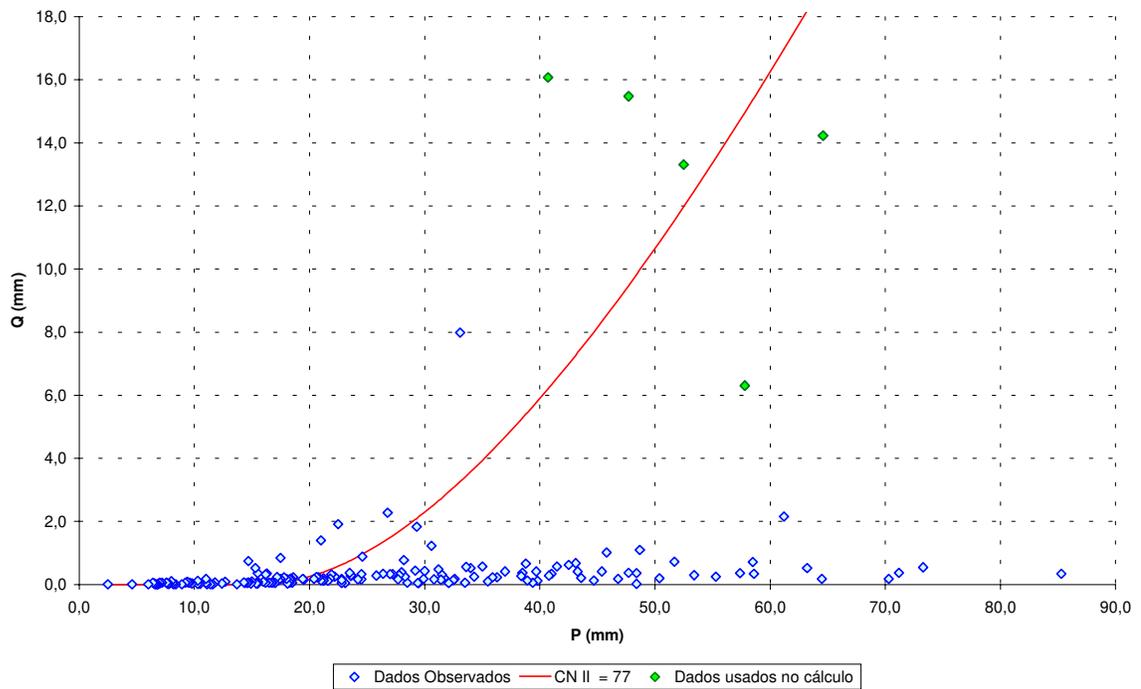


Figura C4b: CN determinado para cultura do milho, plantio direto. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

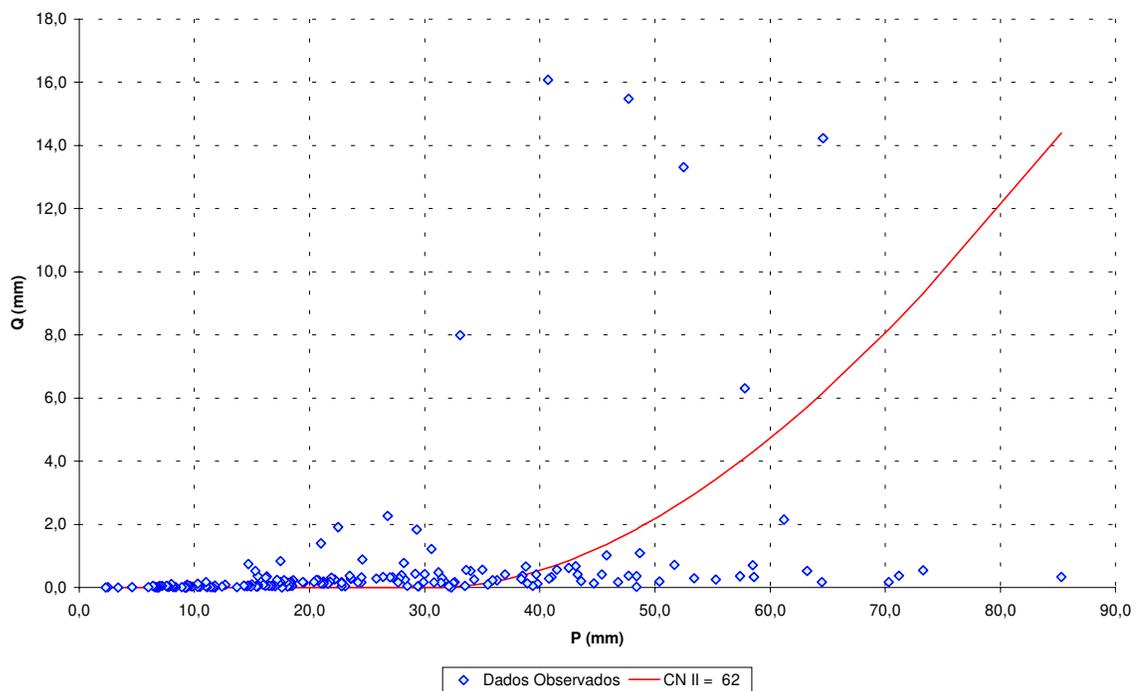


Figura C5a: CN determinado para cultura do milho, preparo com grade pesada e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

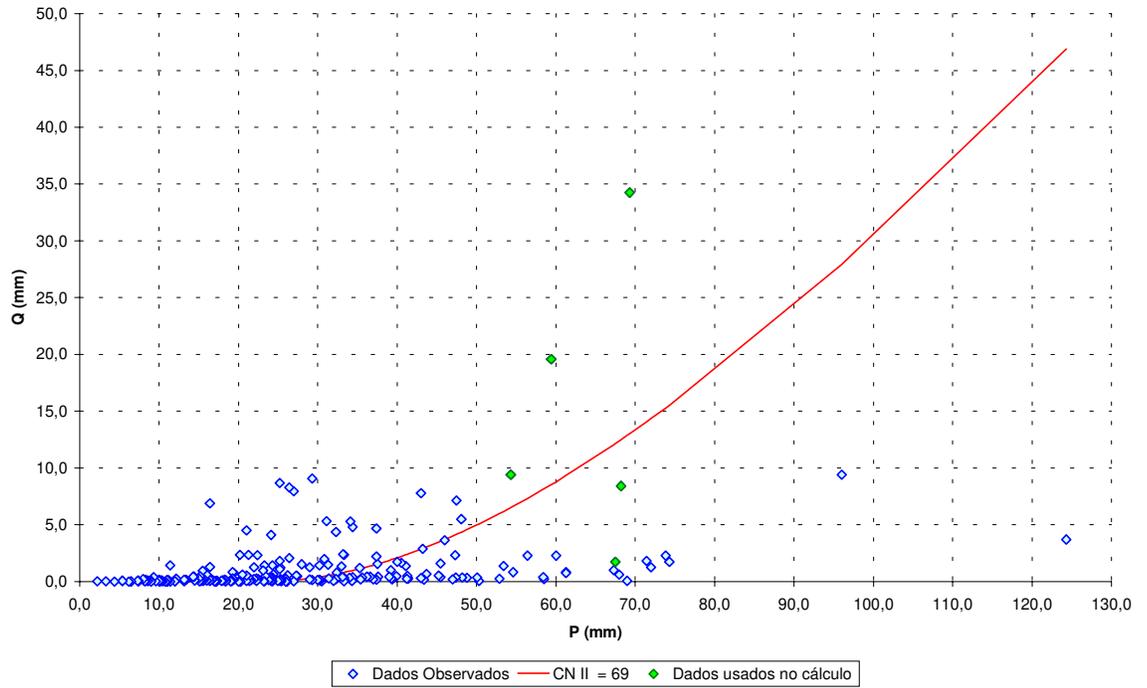


Figura C5b: CN determinado para cultura do milho, preparo com grade pesada e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

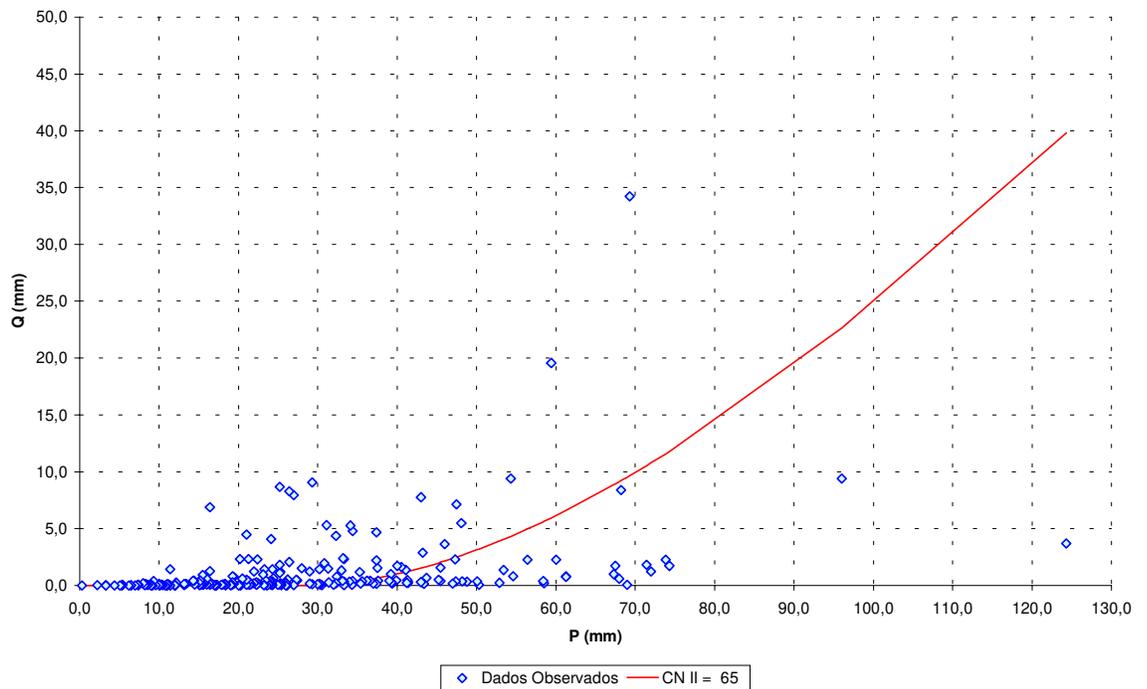


Figura C6a: CN determinado para cultura do milho, plantio direto e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

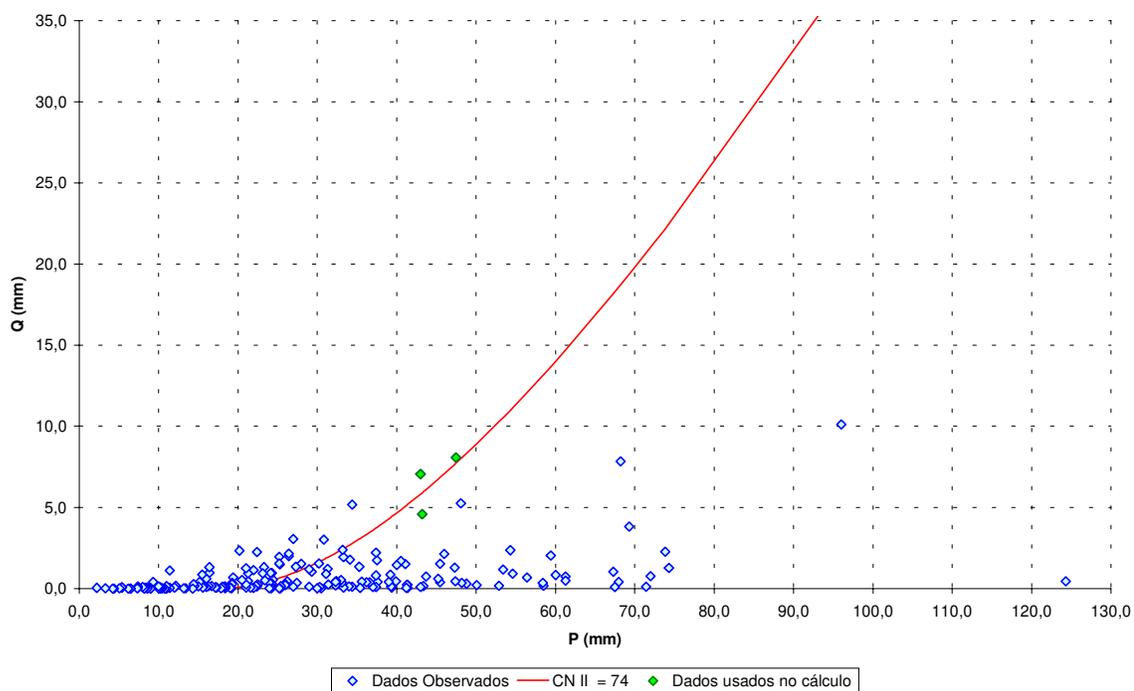


Figura C6b: CN determinado para cultura do milho, plantio direto e plantio morro abaixo. Período de observação 1982 a 1988, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

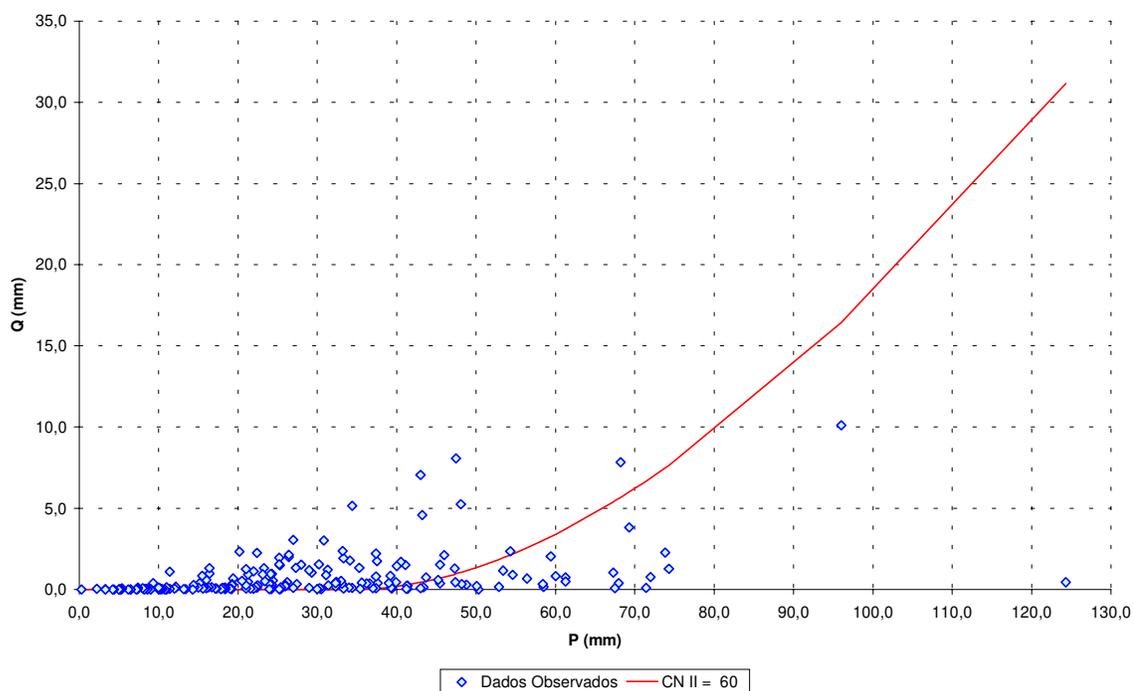


Figura C7a: CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais queimados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

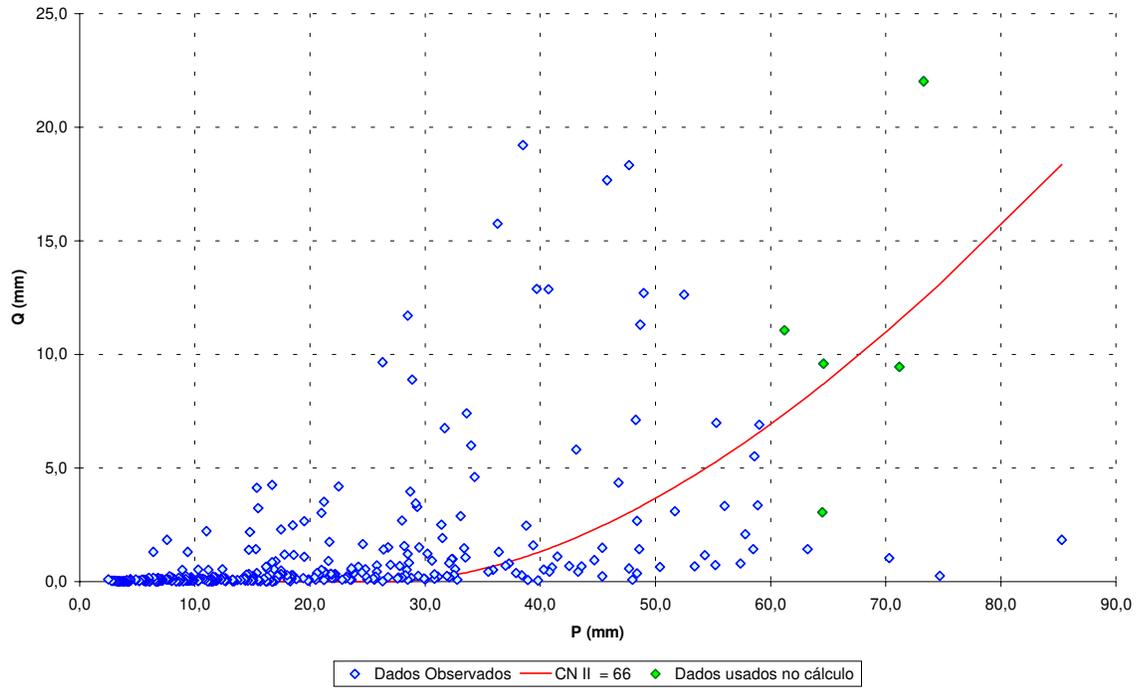


Figura C7b: CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais queimados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

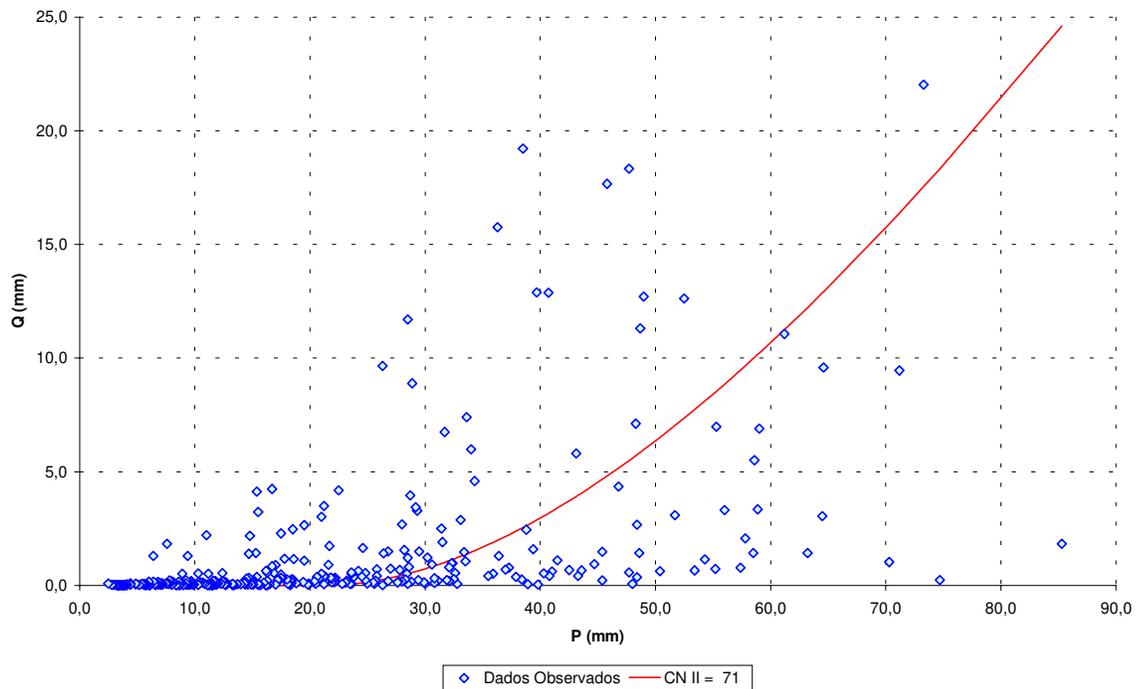


Figura C8a: CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

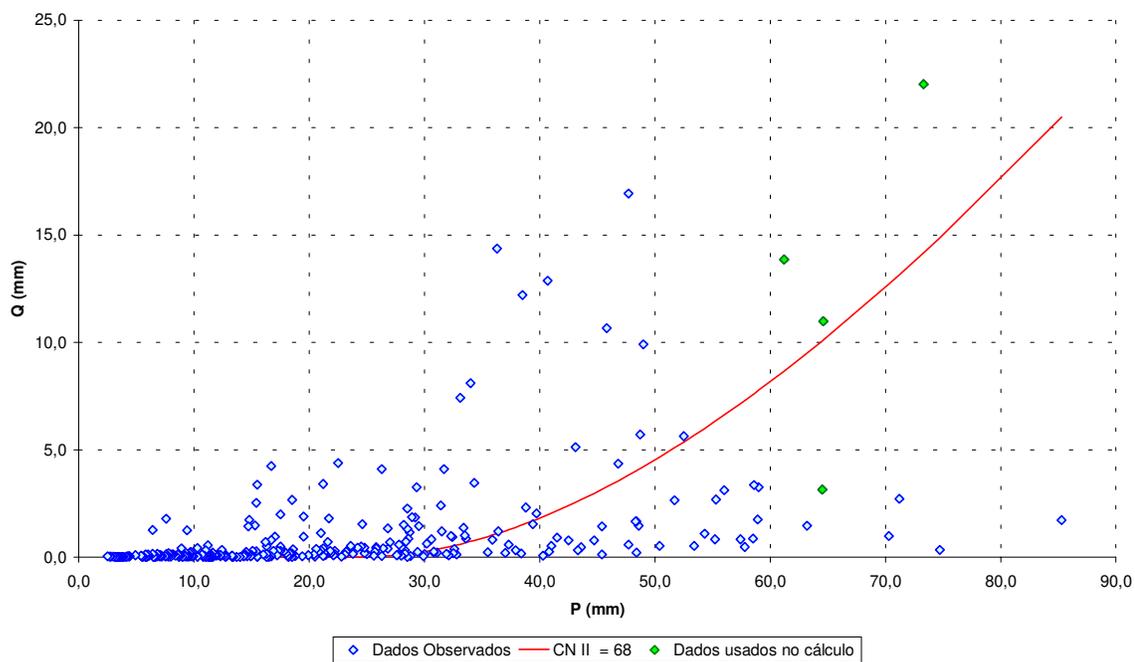


Figura C8b: CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

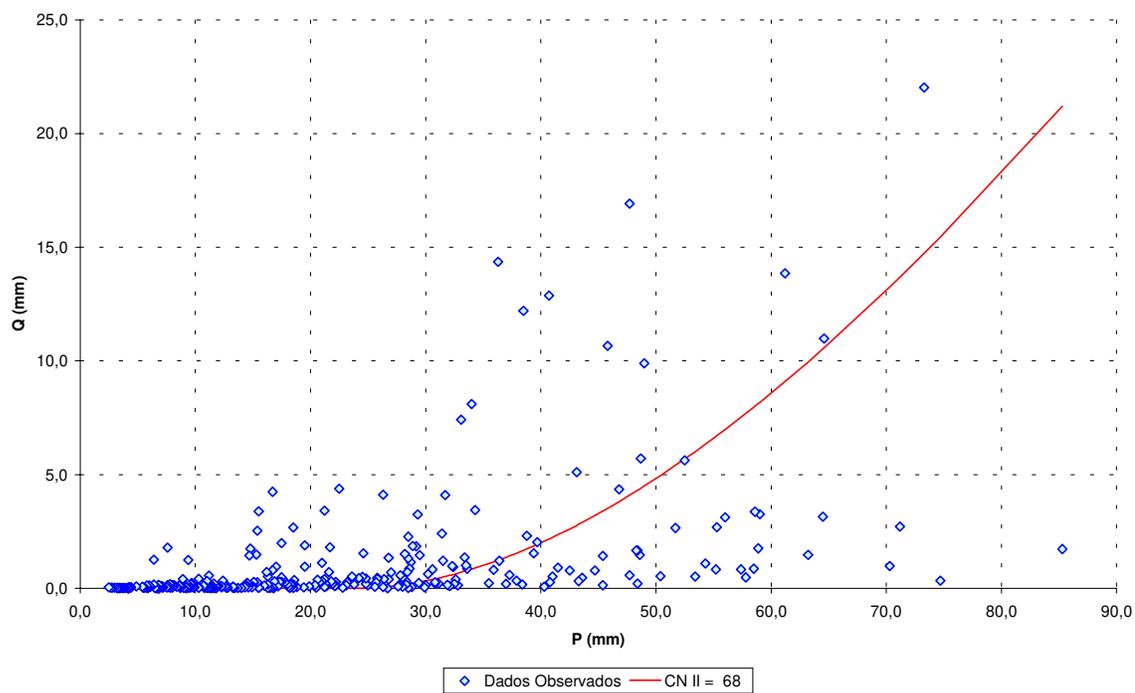


Figura C9a: CN determinado para cultura do milho, plantio em contorno com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

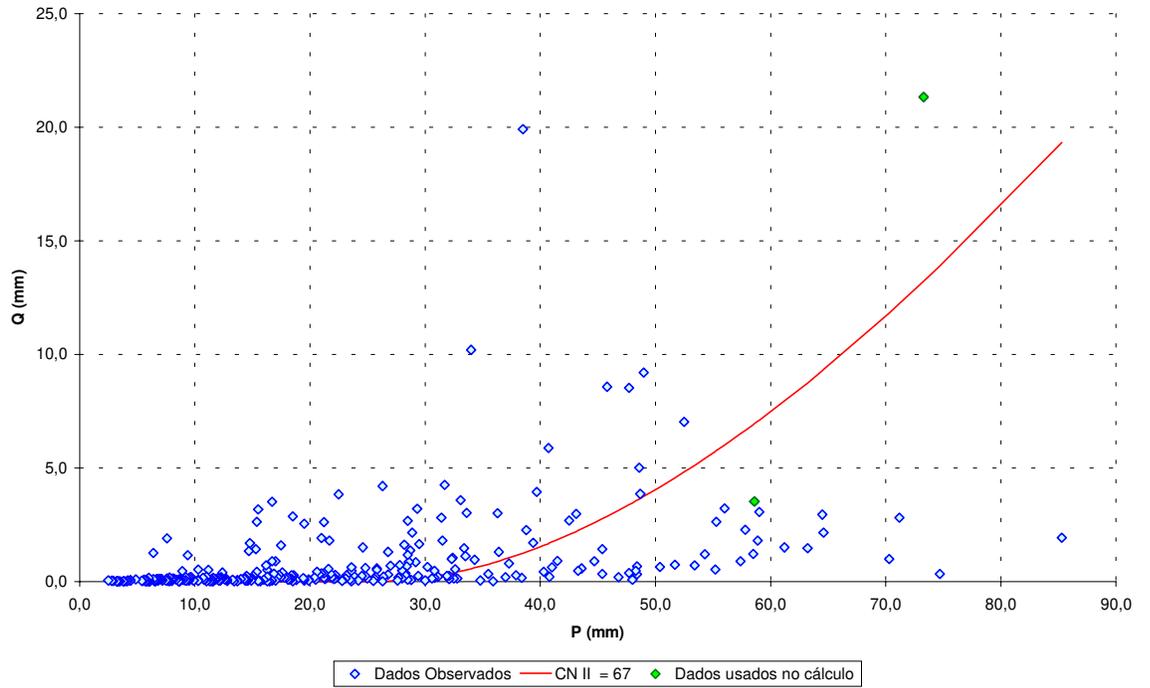


Figura C9b: CN determinado para cultura do milho, plantio em contorno com restos culturais incorporados. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

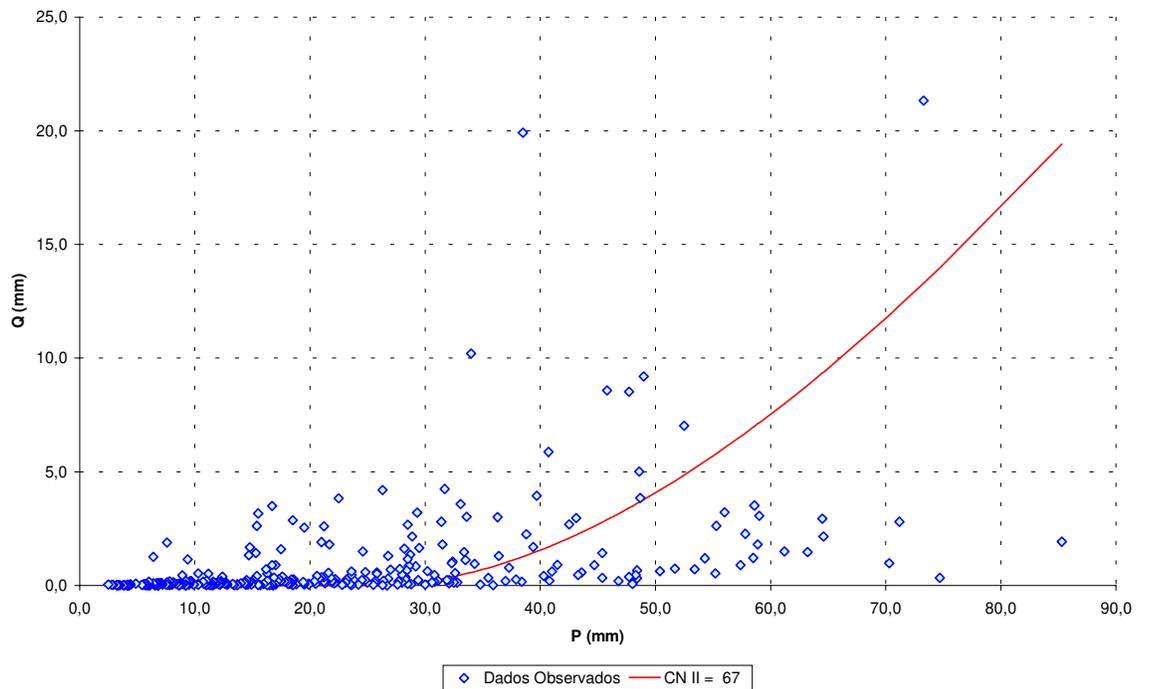


Figura C10a: CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais na superfície. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

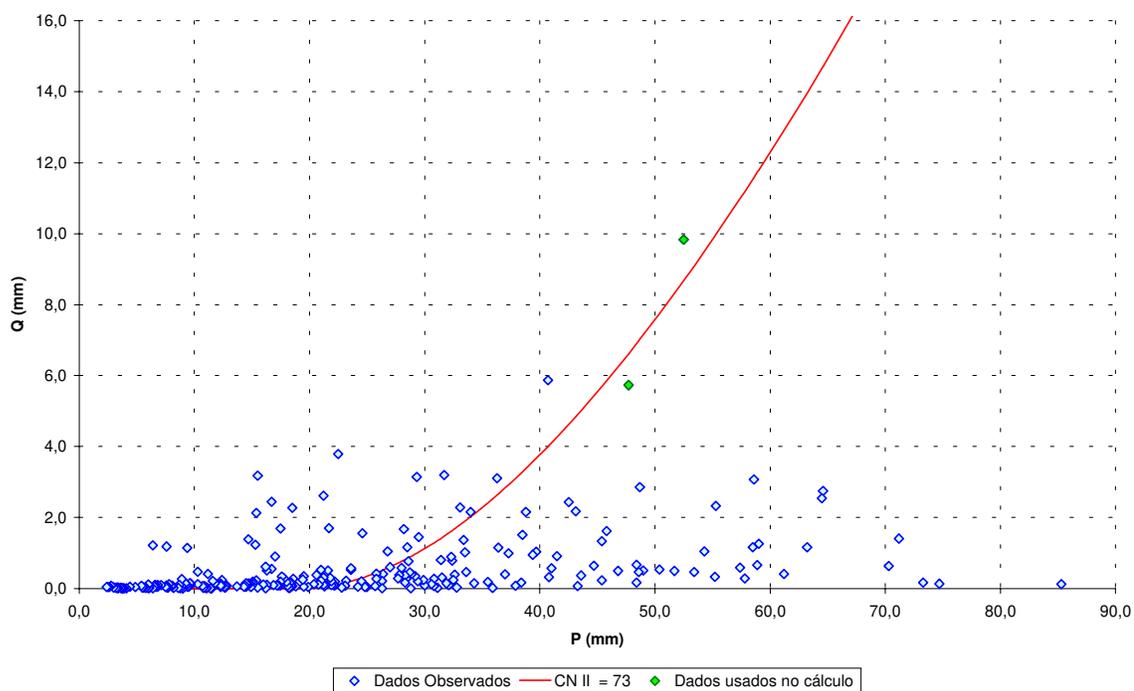


Figura C10b: CN determinado para cultura do milho, plantio morro abaixo com restos culturais na superfície. Período de observação 1973 a 1980, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

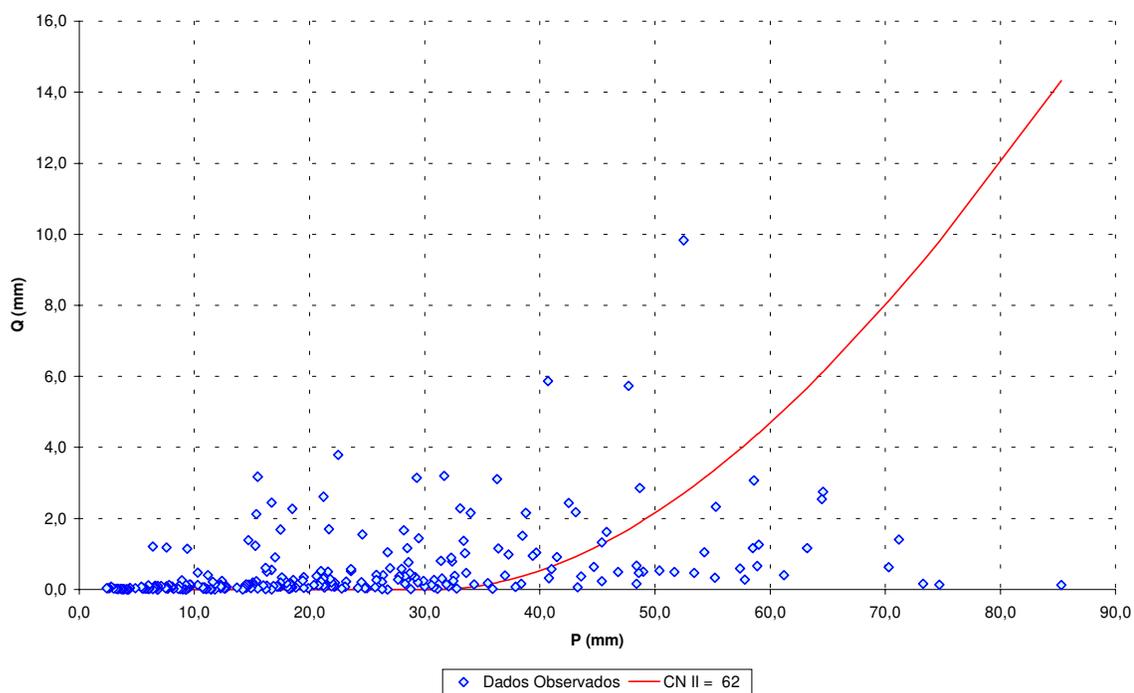


Figura C11a: CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados / Trigo convencional plantio morro abaixo, com restos culturais incorporados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

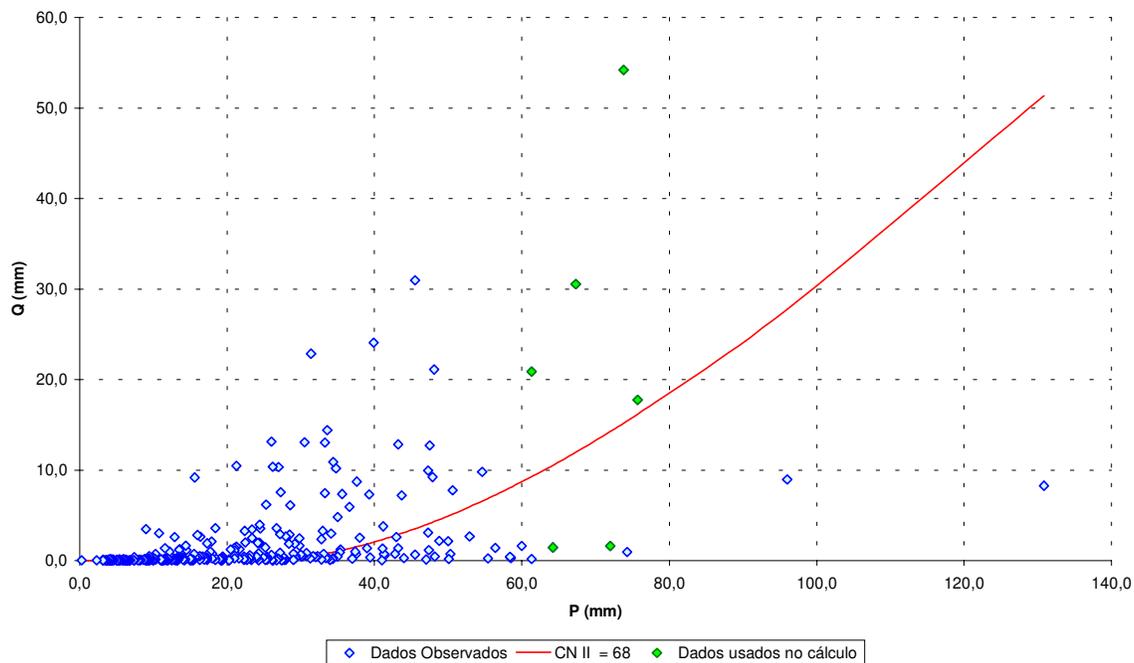


Figura C11b: CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados / Trigo convencional plantio morro abaixo, com restos culturais incorporados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

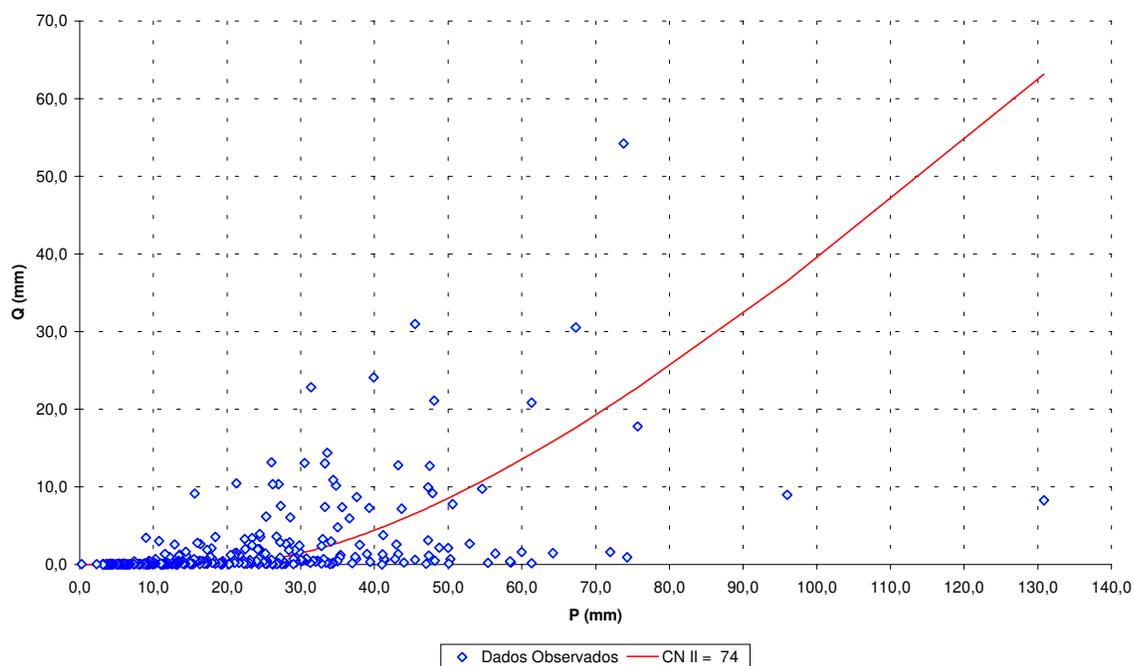


Figura C12a: CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados / Trigo convencional plantio morro abaixo, com restos culturais queimados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

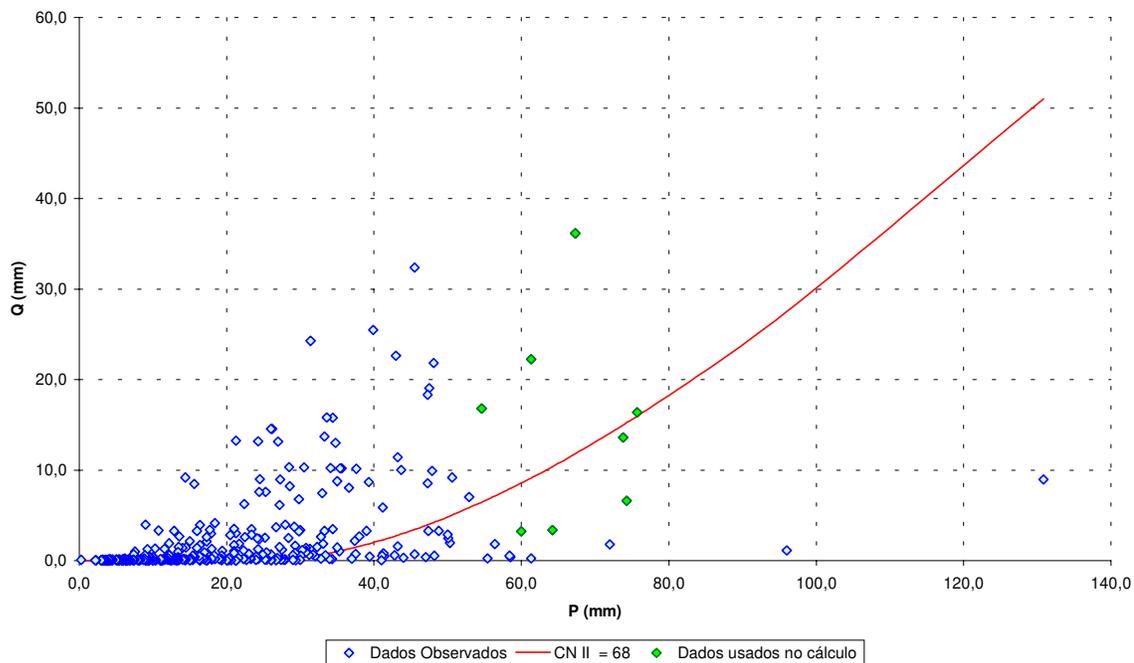


Figura C12b: CN determinado para cultura mista, soja convencional com restos incorporados / Trigo convencional plantio morro abaixo, com restos culturais queimados. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

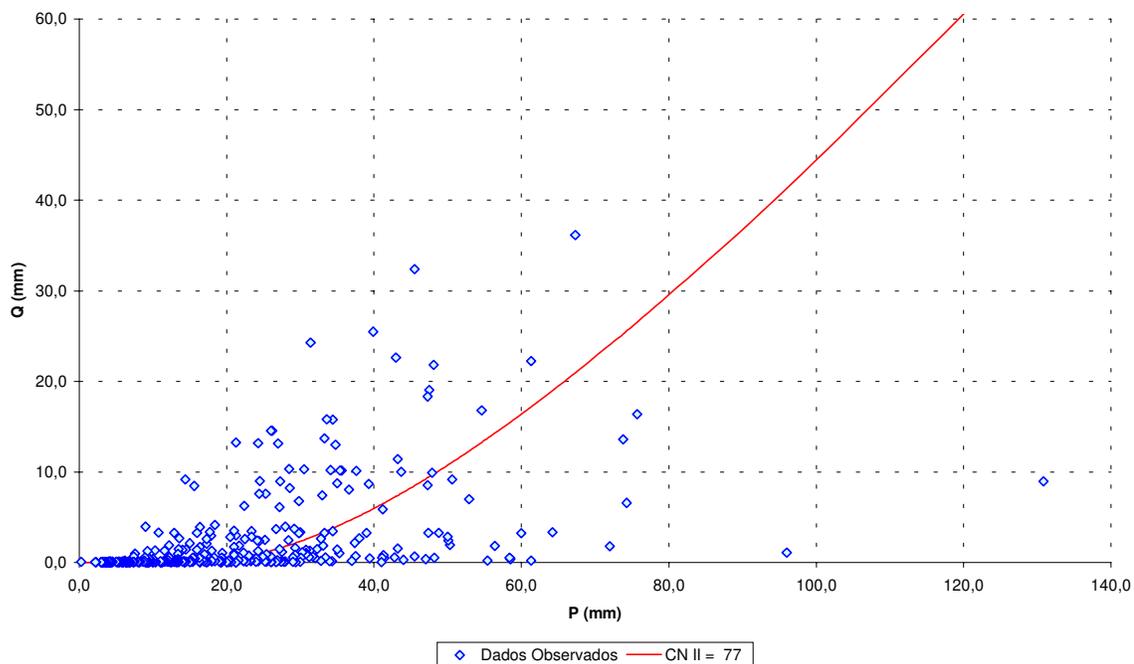


Figura C13a: CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos na superfície / Trigo plantio direto morro abaixo, com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

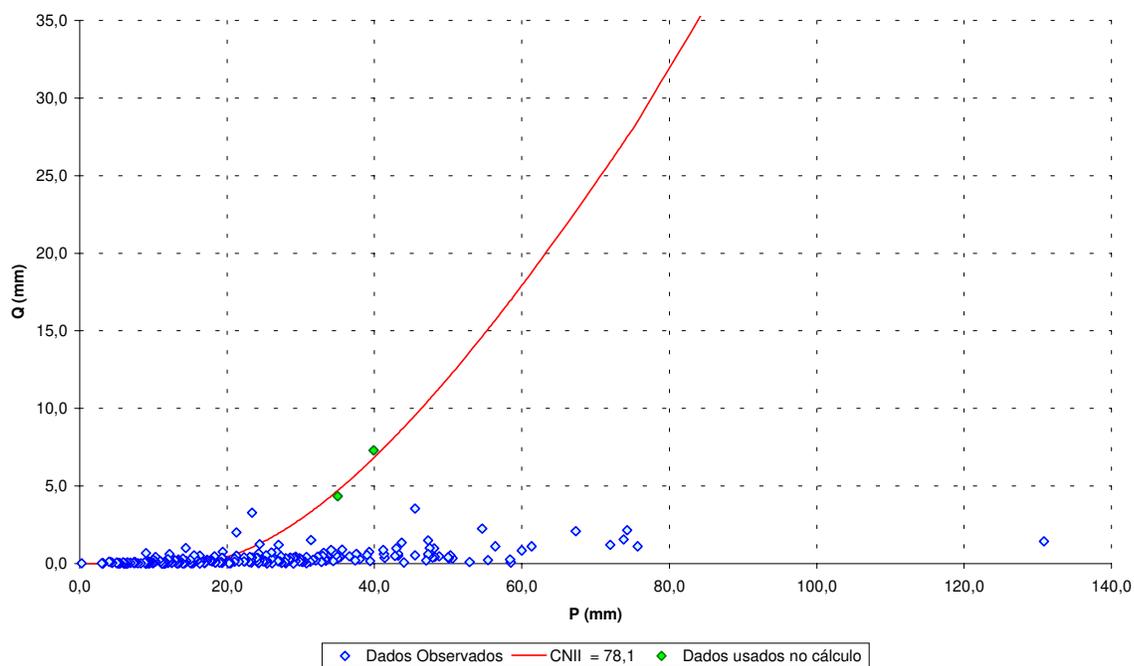


Figura C13b: CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos na superfície / Trigo plantio direto morro abaixo, com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

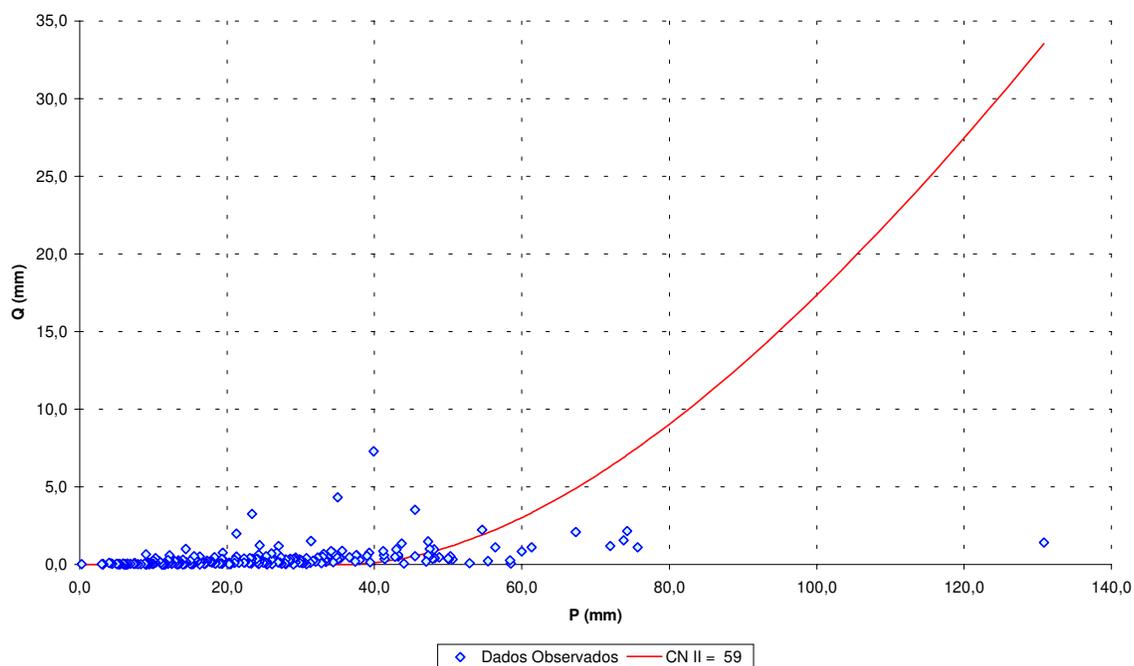


Figura C14a: CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos incorporados / Trigo convencional plantio morro abaixo com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

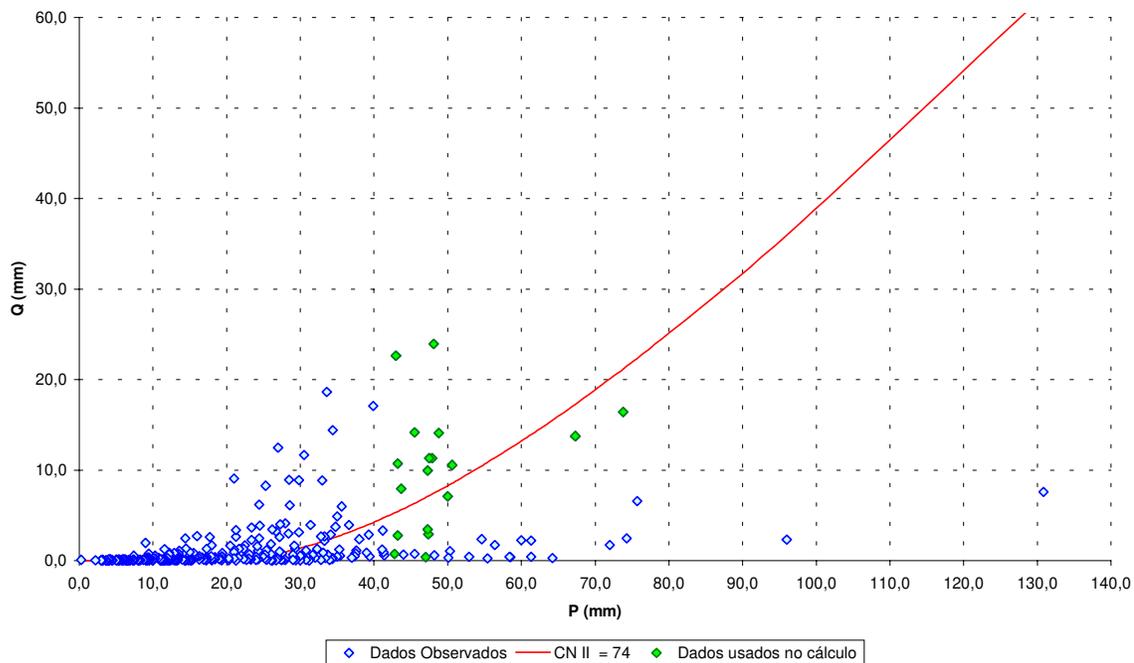


Figura C14b: CN determinado para cultura mista, soja plantio direto com restos incorporados / Trigo convencional plantio morro abaixo com restos culturais na superfície. Período de observação 1980 a 1986, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

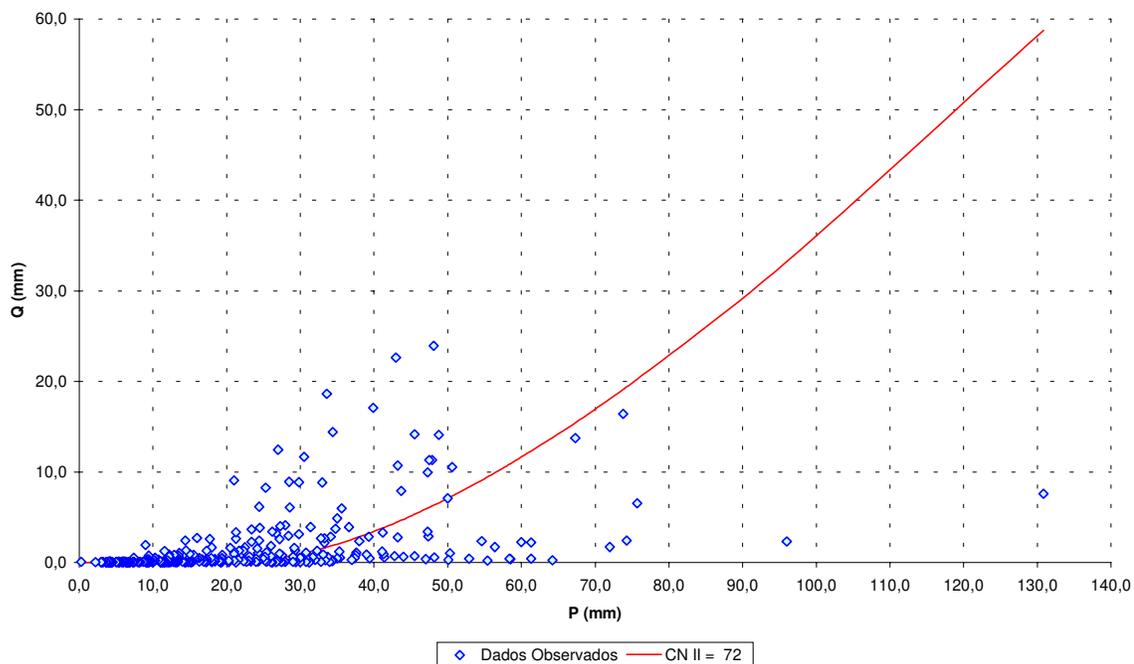


Figura C15a: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 1.º ano. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

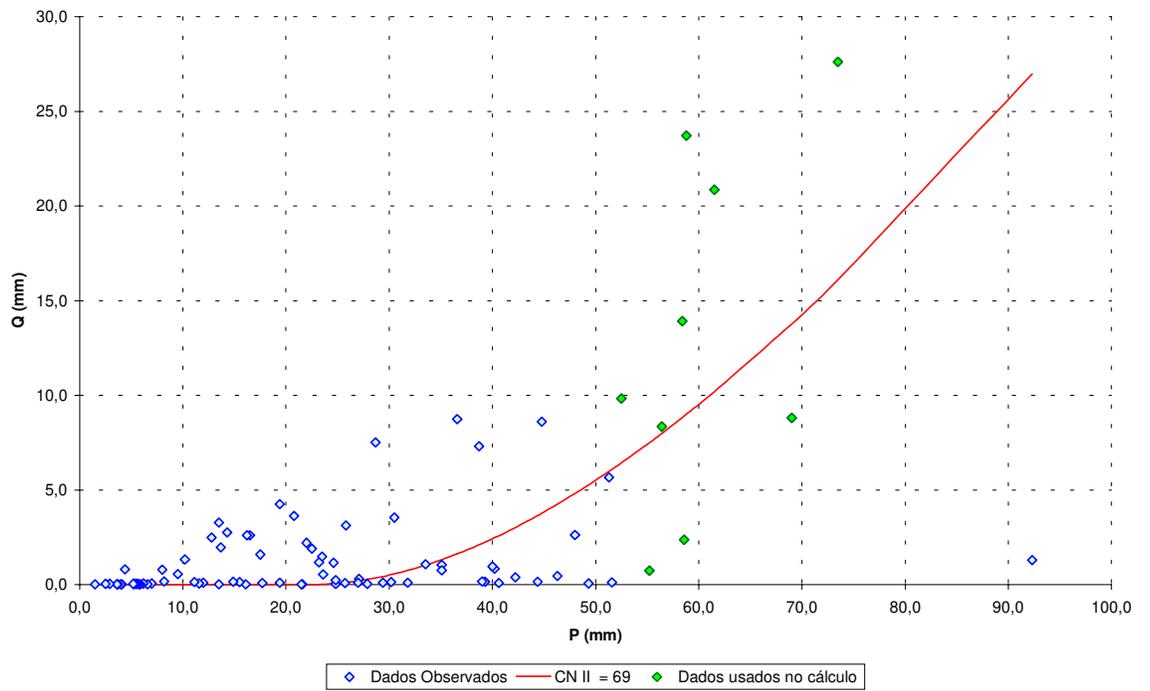


Figura C15b: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 1.º ano. Otimização adaptada de Silva (1996)

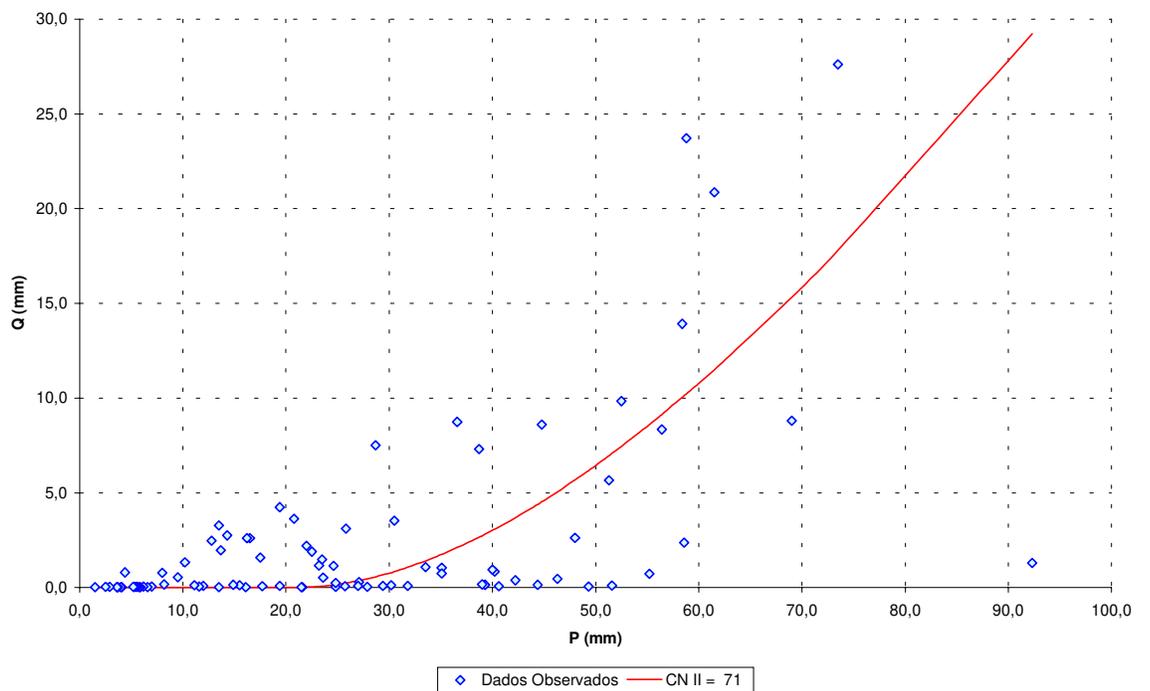


Figura 16a: CN determinado para cultura da cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 2.º e 3.º anos. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

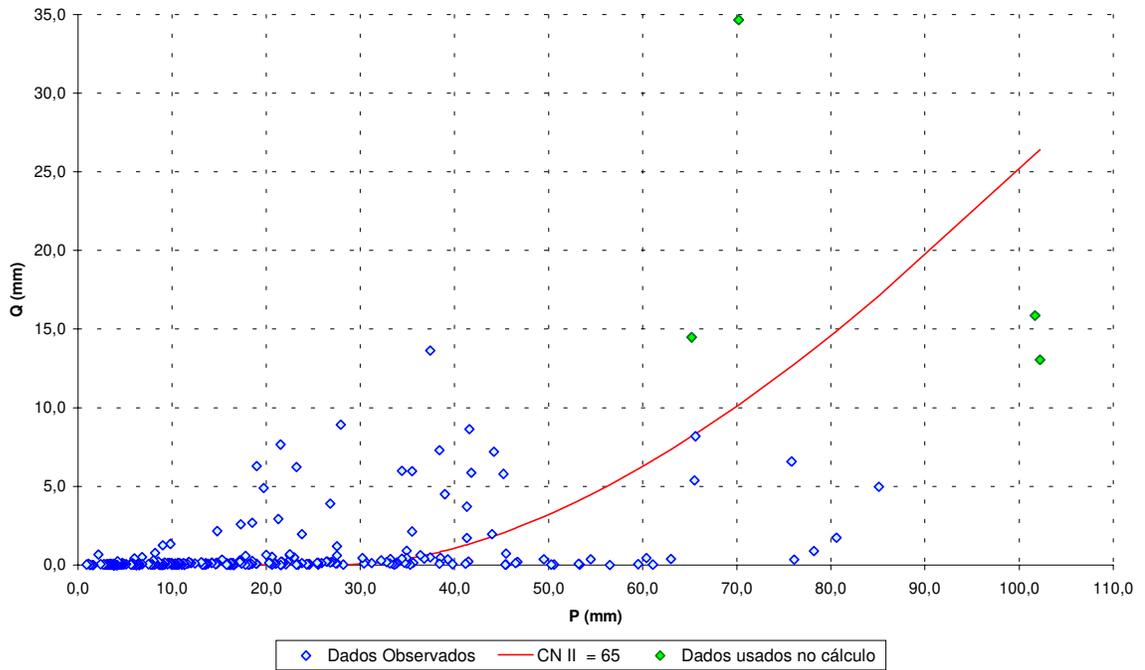


Figura 16b: CN determinado para cultura da cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do 2.º e 3.º anos. Otimização adaptada de Silva (1996)

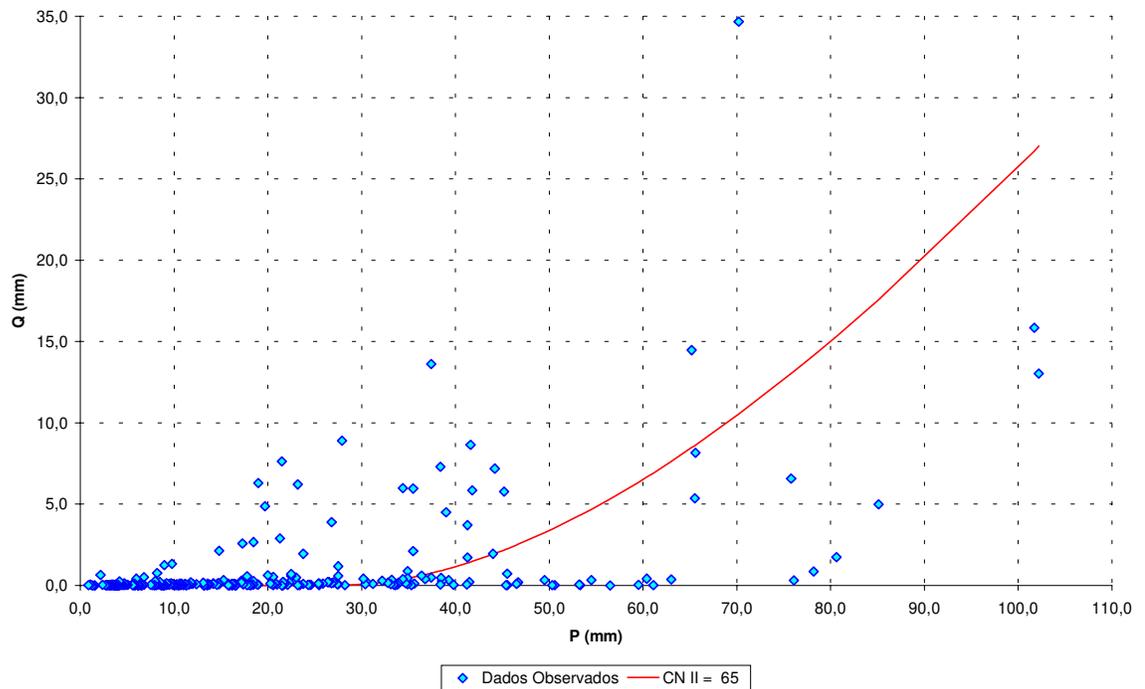


Figura C17a: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do Período. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

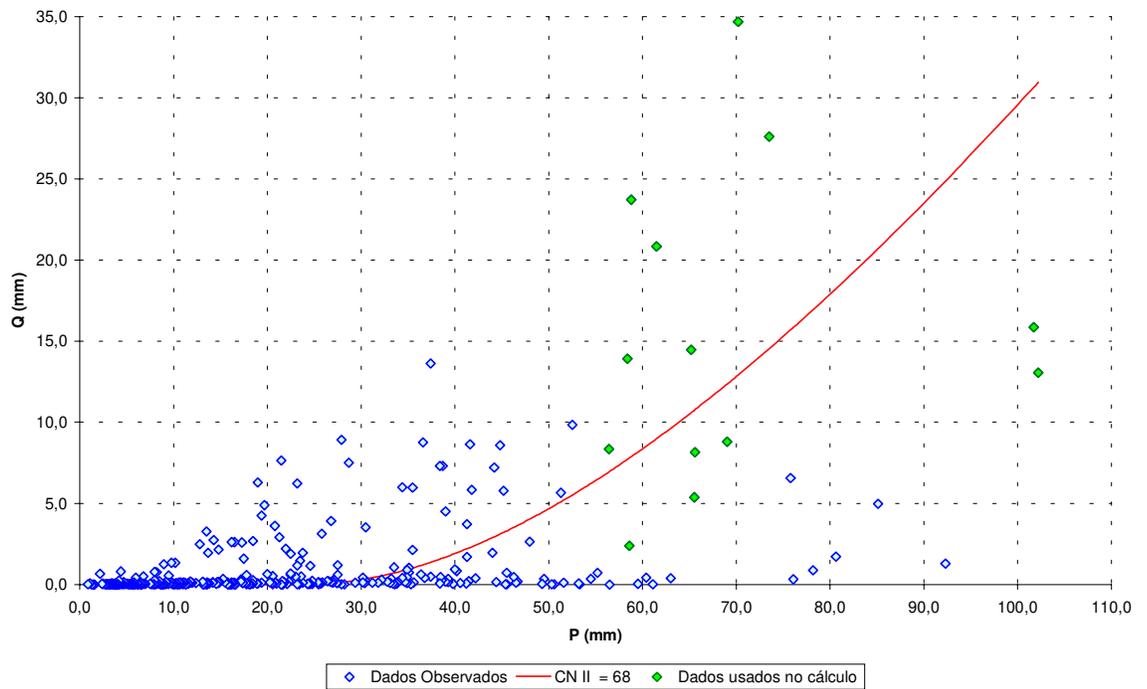


Figura C17b: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1954 a 1972, Campinas. Dados do Período. Otimização adaptada de Silva (1996)

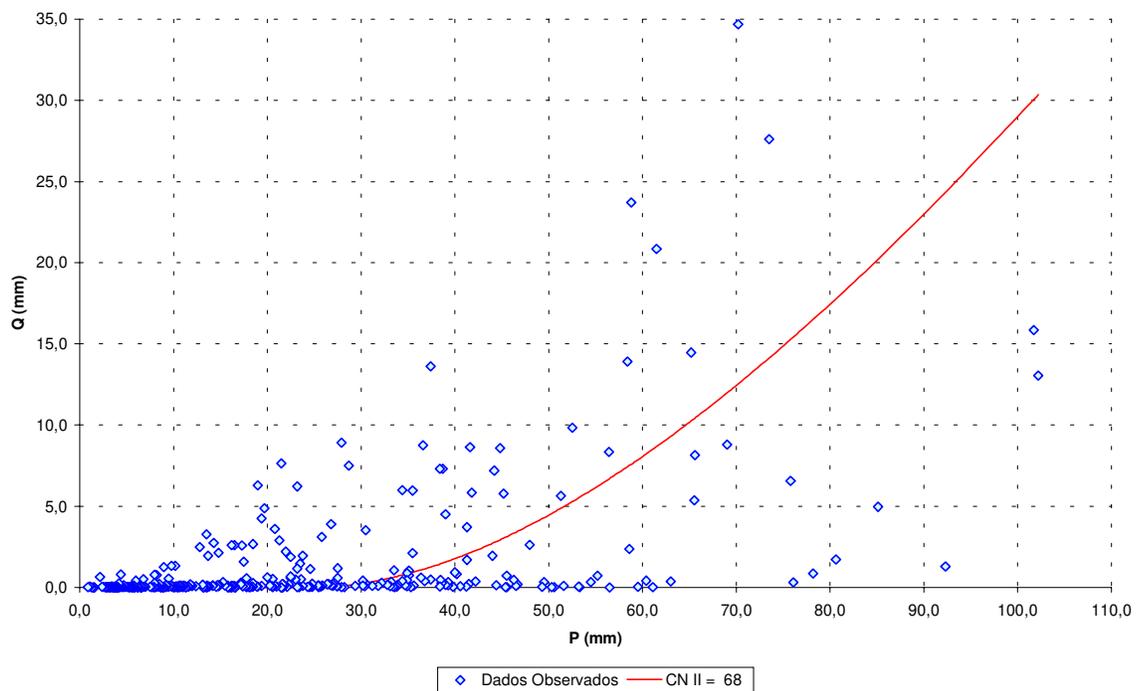


Figura C18a: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 1.º ano. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

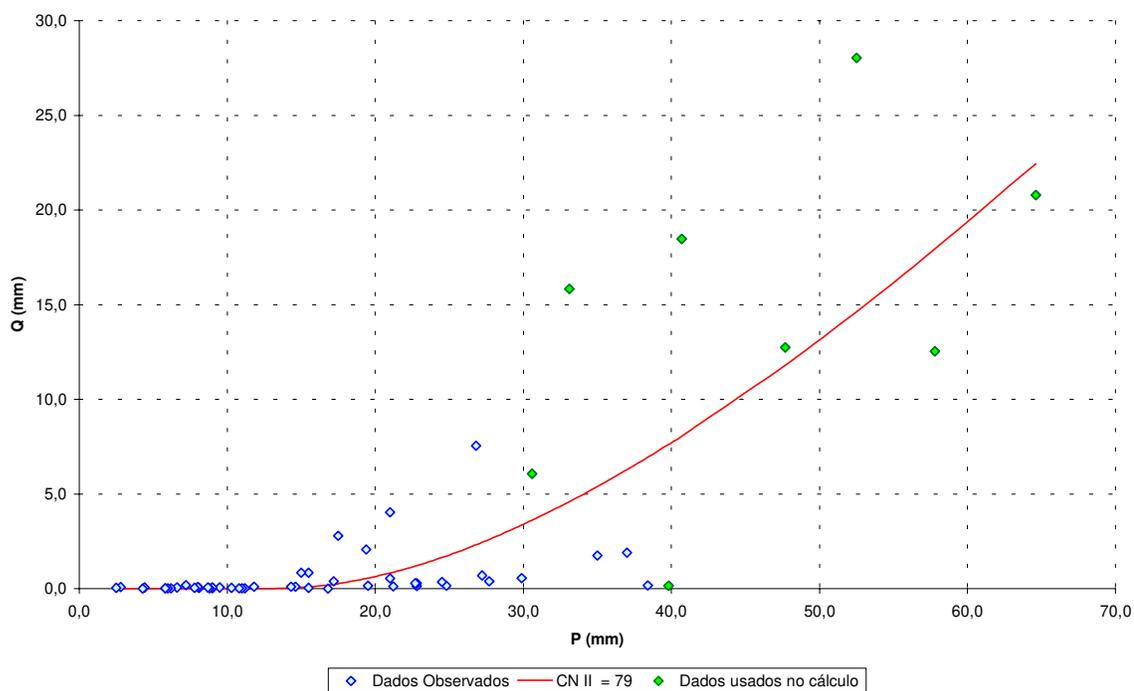


Figura C18b: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 1.º ano. Otimização adaptada de Silva (1996)

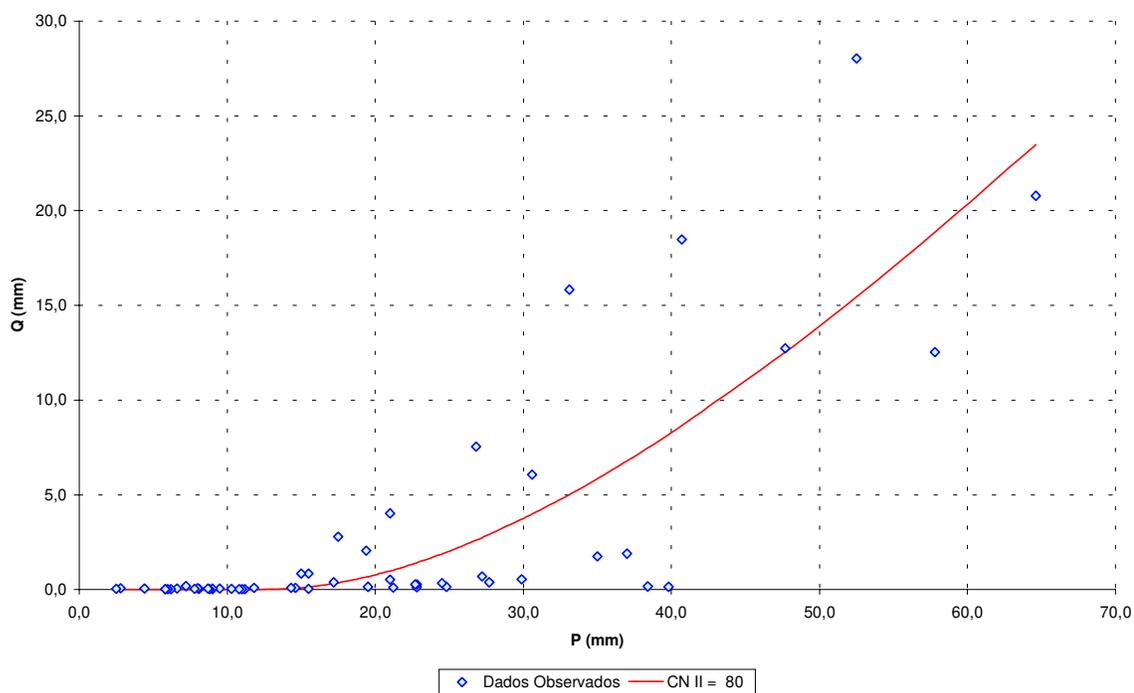


Figura C19a: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 2.º, 3.º etc ... anos. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

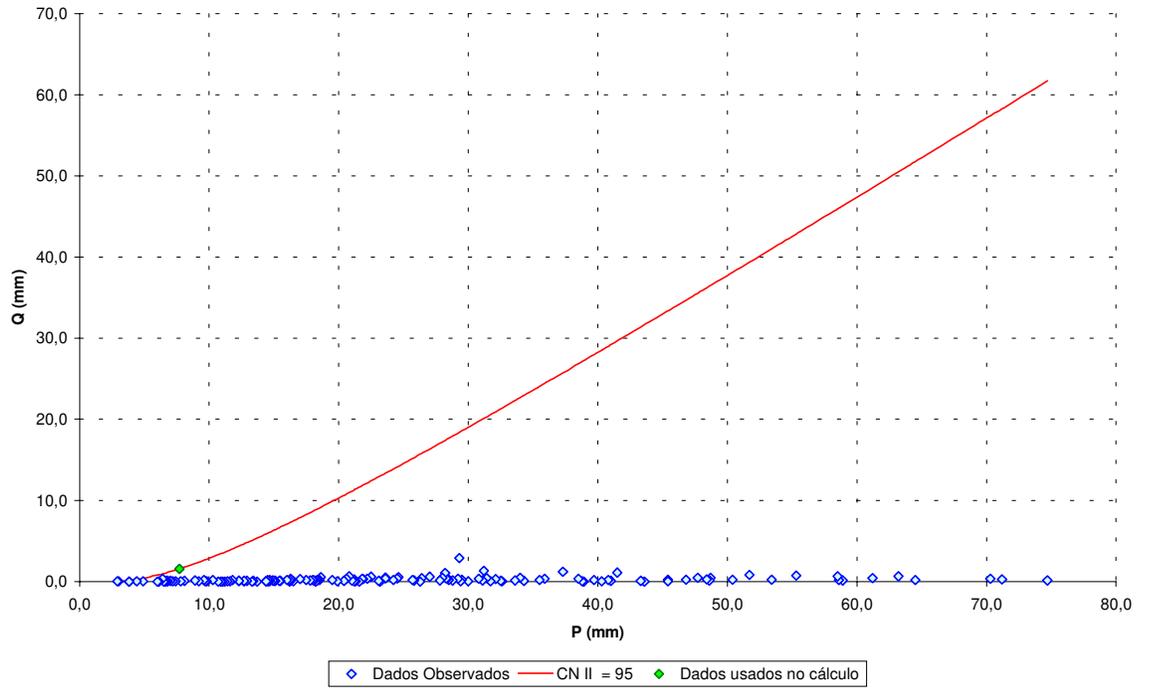


Figura C19b: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do 2.º, 3.º etc ... anos. Otimização adaptada de Silva (1996)

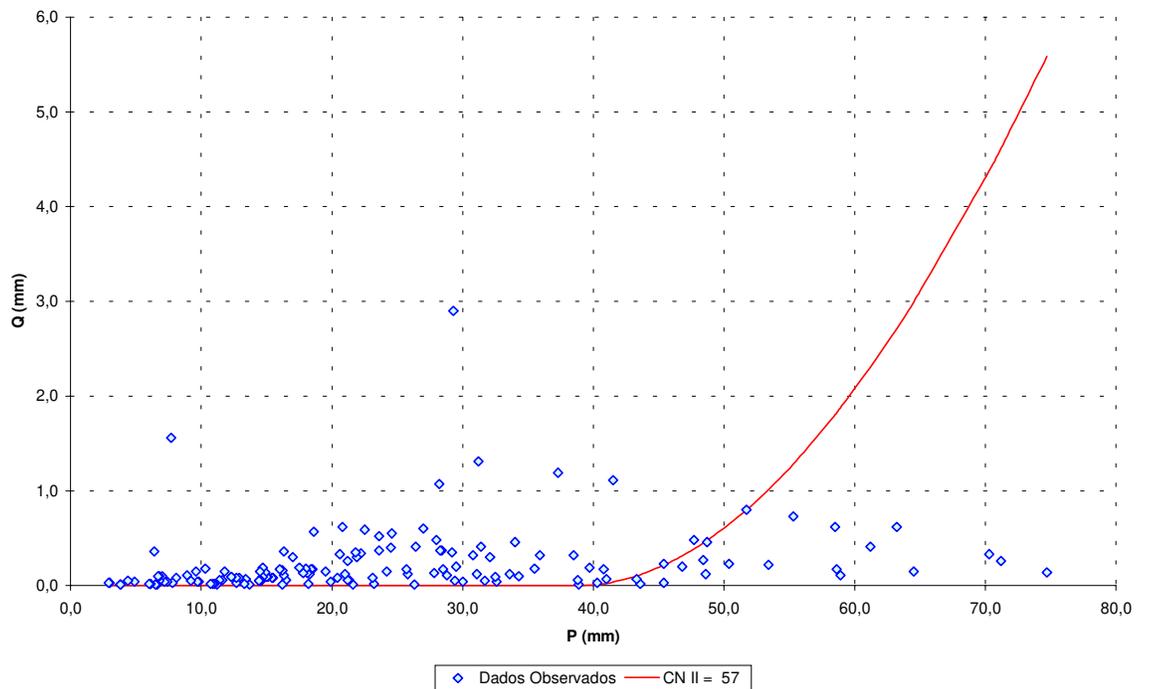


Figura C20a: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do período. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

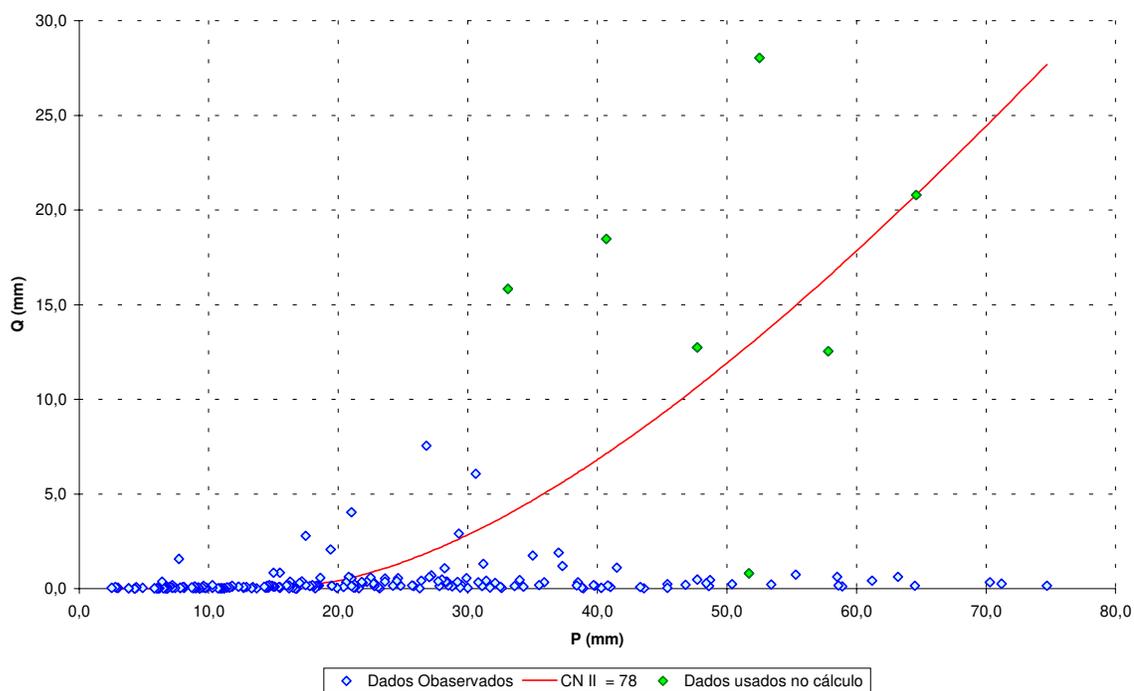


Figura C20b: CN determinado para cana-de-açúcar. Período de observação 1973 a 1979, Campinas. Dados do período. Otimização adaptada de Silva (1996)

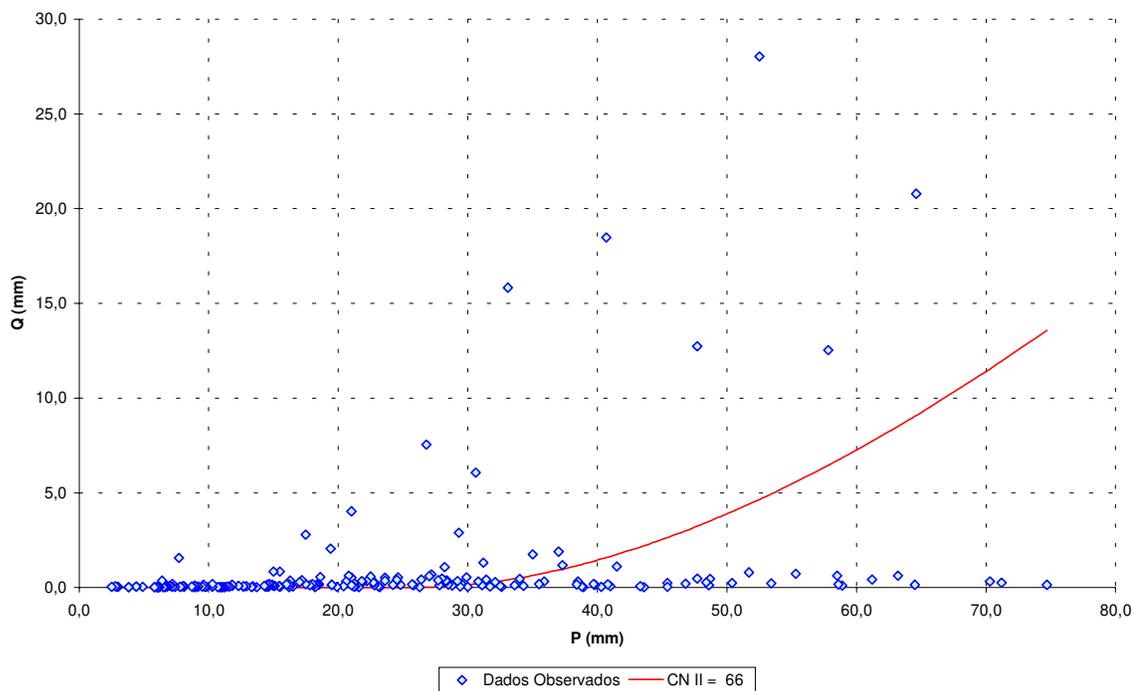


Figura C21a: CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Campinas. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

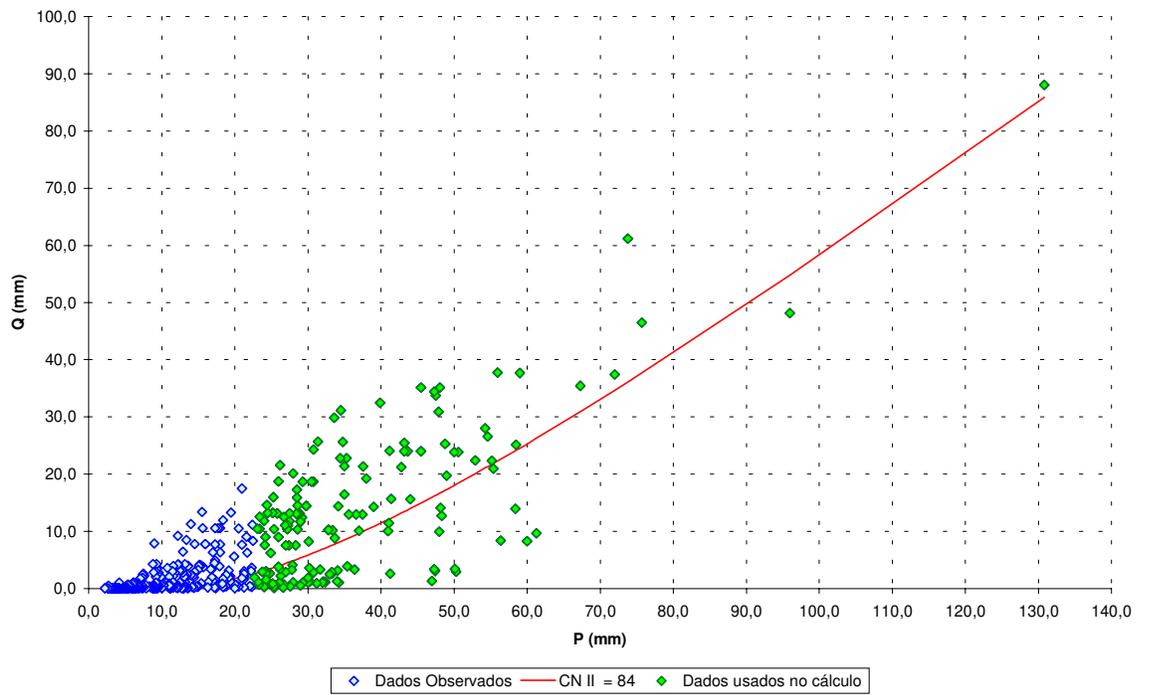


Figura C21b: CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Campinas. Otimização adaptada de Silva (1996)

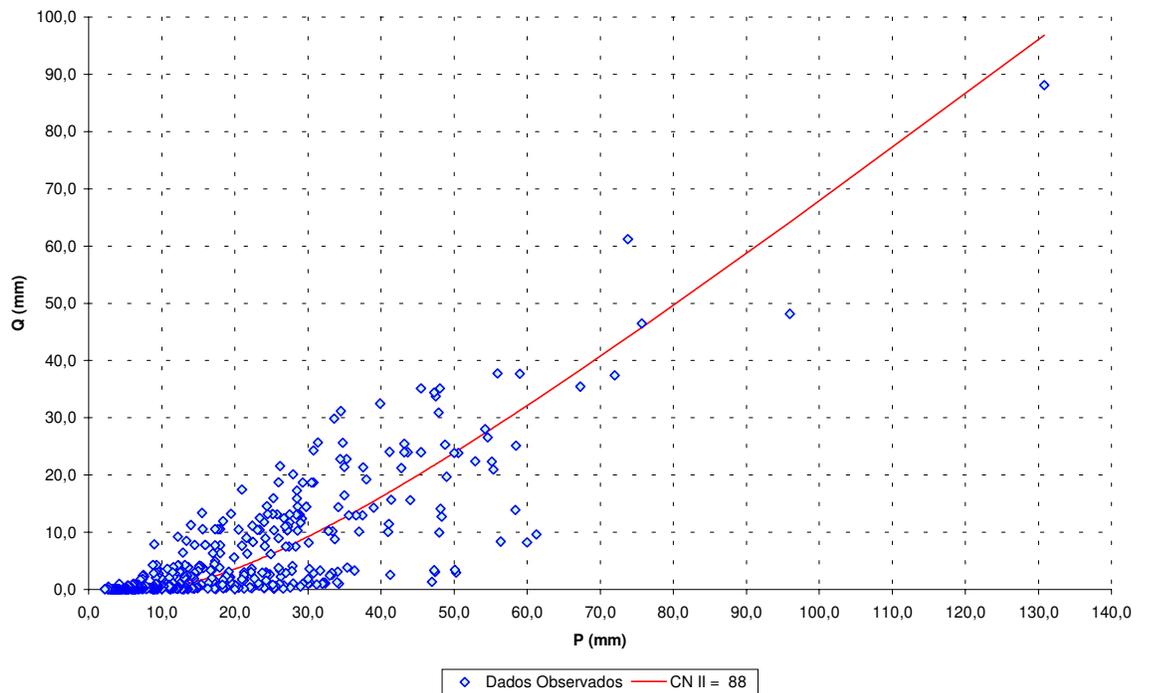


Figura C22a: CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Mococa. Metodologia de Hawkins et al. (1985)

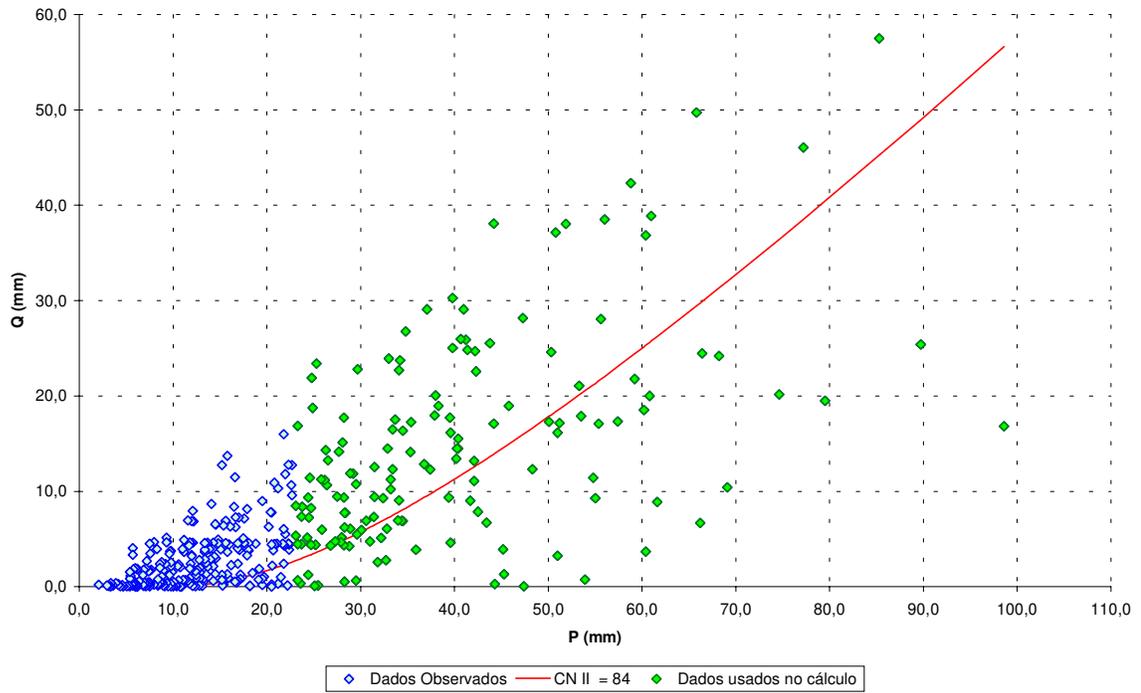
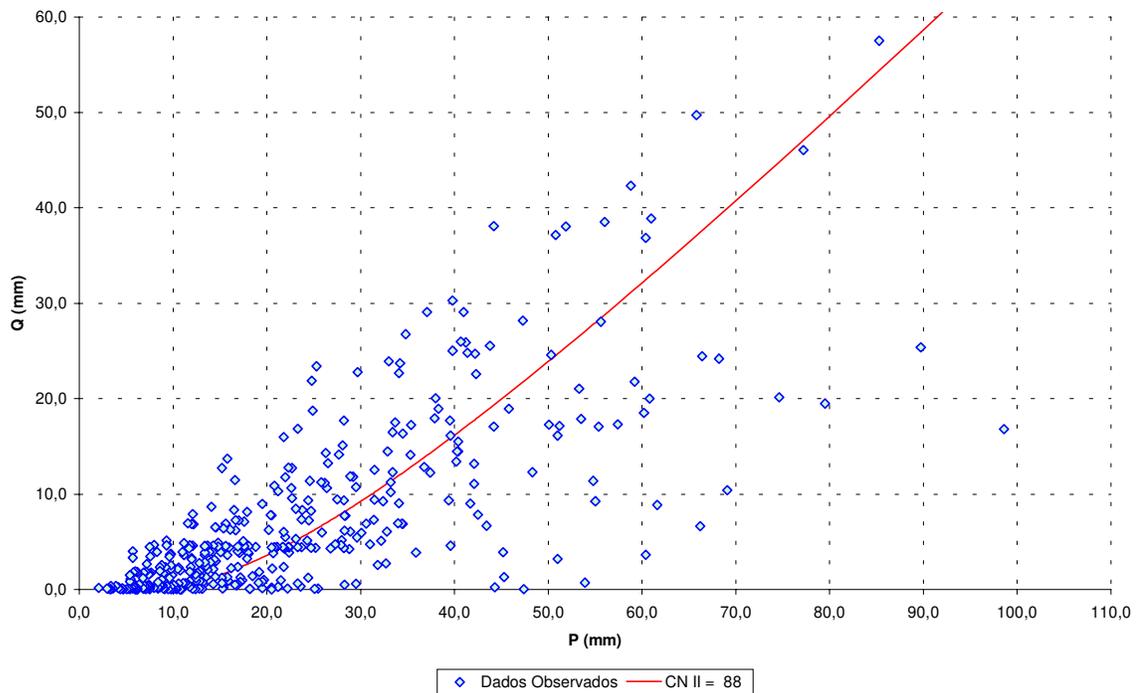


Figura C22b: CN determinado para solo exposto. Período de observação 1979 a 1985, Mococa. Otimização adaptada de Silva (1996)



Anexo D: Classificação Hidrológica do Solo e tabela do CN para usos agrícolas

A tabela D1 apresenta os grupos hidrológicos do solo com as principais características físicas das classes de solo pertencentes a cada grupo. Baseando-se nas características físicas dos solos e na da tabela D1, a tabela D2 apresenta uma proposta para o enquadramento das classes gerais de solos registrados no atual Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira et al., 1999).

Tabela D1: Classificação hidrológica do solo para as condições brasileiras

Grupo Hidrológico do Solo	Principais Características
A	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); ✓ Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; ✓ Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20); ✓ Solos de textura média; ✓ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; ✓ Solos bem drenados ou excessivamente drenados; ✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; ✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.
B	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos profundos (100 a 200 cm); ✓ Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; ✓ Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; ✓ Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média, mas com horizonte superficial arenoso; ✓ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; ✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; ✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.
C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); ✓ Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; ✓ São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; ✓ Solos associados a argila de atividade baixa (Tb); ✓ A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
D	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão; ✓ Solos rasos (prof. < 50 cm); ✓ Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; ✓ Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta); ✓ Solos orgânicos.

Fonte: Adaptada de Lombardi Neto et al. (1989).

Tabela D2: Enquadramento das atuais classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo

Grupo Hidrológico do Solo	Classes gerais de solo
A	<ul style="list-style-type: none"> ✓ LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; ✓ LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso;
B	<ul style="list-style-type: none"> ✓ LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; ✓ LATOSSOLO BRUNO; ✓ NITOSSOLO VERMELHO; ✓ NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ✓ ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ARGISSOLOS pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; ✓ CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ✓ ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; ✓ NEOSSOLO FLÚVICO.
D	<ul style="list-style-type: none"> ✓ NEOSSOLO LITÓLICO; ✓ ORGANOSSOLO; ✓ GLEISSOLO; ✓ CHERNOSSOLO; ✓ PLANOSSOLO; ✓ VERTISSOLO; ✓ ALISSOLO; ✓ LUVISSOLO; ✓ PLINTOSSOLO; ✓ SOLOS DE MANGUE; ✓ AFLORAMENTOS DE ROCHA; ✓ Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ✓ ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Devido à existência de informações e de mapas de solo com a nomenclatura antiga, foi elaborada uma tabela (tabela D3) apresentando uma correspondência entre os grupos hidrológicos do solo com a nomenclatura anteriormente utilizada pela Comissão de solos e Semidetalhados e a nomenclatura do atual SBCS (Embrapa, 1999). Esta tabela foi baseada nos trabalhos de Lombardi Neto et al. (1989) e de Oliveira (1999a). No trabalho de Oliveira (1999a), encontram-se as características de 37 perfis de solo representativos dos grandes grupos de solo encontrados no Estado de São Paulo e também para cada perfil a correspondência entre as nomenclaturas antiga e atual. Os perfis foram analisados e classificados levando-se em consideração as características de cada grupo hidrológico apresentadas na tabela D1.

Tabela D3: Correspondência entre os grupos hidrológicos do solo com as nomenclaturas antiga e atual utilizada em levantamentos pedológicos para os perfis representativos dos grandes grupos encontrados no Estado de São Paulo.

Nomenclatura do Atual SBCS (Embrapa,1999)¹	Nomenclatura anteriormente utilizada pela Comissão de Solos e Semidetalhados¹	Grupo Hidrológico do solo²
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa	Latossolo Amarelo, álico, A moderado, textura argilosa	A
LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico A moderado textura muito argilosa	Latossolo variação Una ácrico, A moderado, textura argilosa leve, imperfeitamente drenado com plintita	A
LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico	Latossolo Roxo ácrico, A moderado textura muito argilosa, com petroplintita	A
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa	Latossolo Vermelho-Amarelo álico, A moderado textura argilosa	A
LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico A moderado textura muito argilosa	Latossolo Roxo Distrófico A moderado textura muito argilosa	A
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa	Latossolo Vermelho-Escuro Álico, A moderado, textura muito argilosa	A
LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico A moderado textura muito argilosa	Latossolo Roxo, A moderado, textura muito argilosa	A
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico A moderado textura argilosa/muito argilosa	Solo Podzólico Vermelho-Escuro Eutrófico, Tm, A moderado, textura argilosa/muito argilosa	B
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A proeminente textura média	Latossolo Vermelho-Amarelo álico, A proeminente textura média	B
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (típico)	Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, A húmico (gigante), textura média	B
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico A fraco	Areia Quartzosa Álica, profundo, A fraco	B

(Continua)

Tabela D3: Correspondência entre os grupos hidrológicos do solo com as nomenclaturas antiga e atual utilizada em levantamentos pedológicos para os perfis representativos dos grandes grupos encontrados no Estado de São Paulo. (Continuação).

Nomenclatura do Atual SBCS (Embrapa,1999) ¹	Nomenclatura anteriormente utilizada pela Comissão de Solos e Semidetalhados ¹	Grupo Hidrológico do solo ²
NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, A moderado, textura média/argilosa	B
NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico chernossólico	Terra Roxa Estruturada Eutrófica, A chernozêmico textura muito argilosa fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado	B
NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa	Podzólico Vermelho-Amarelo escuro, A moderado textura argilosa/muito argilosa	B
NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura muito argilosa	Terra Roxa Estruturada Eutrófica, A moderado textura muito argilosa	B
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	Podzólico Vermelho-Escuro, A moderado, textura média/argilosa	C
ARGISSOLO AMARELO Distrófico arênico A moderado, textura arenosa/média	Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, abrupto, A moderado, textura arenosa/média	C
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, A moderado, textura média/argilosa	C
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico	Cambissolo Álico A moderado textura média	C
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico A moderado textura média	Cambissolo Tb eutrófico	C
CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico	Solos de Campos do Jordão	C
ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico	Podzol Hidromórfico	C
NEOSSOLO FLUVICOS	Solos Aluviais	C
ALISSOLO CRÔMICO Argilúvico abrupto A moderado textura média/muito argilosa	Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba	D
AFLORAMENTOS DE ROCHA	Sem similar	D
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico gleico	Cambissolo Distrófico, Tb, A moderado, substrato de sedimentos aluviais	D
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	Litossolo substrato granito-gnaisse	D
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico A moderado textura argilosa/média	Cambissolo Tb eutrófico A moderado, textura argilosa/média, substrato sedimentos aluviais	D
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	Brunizém Avermelhado textura argilosa	D

(Continua)

Tabela D3: Correspondência entre os grupos hidrológicos do solo com as nomenclaturas antiga e atual utilizada em levantamentos pedológicos para os perfis representativos dos grandes grupos encontrados no Estado de São Paulo. (Continuação).

Nomenclatura do Atual SBCS (Embrapa,1999) ¹	Nomenclatura anteriormente utilizada pela Comissão de Solos e Semidetalhados ¹	Grupo Hidrológico do solo ²
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	Brunizém Avermelhado textura argilosa fase pedregosa, floresta tropical subcaducifólia, relevo montanhoso	D
GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado, textura errática	Glei Húmico	D
GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa	Gley Pouco Húmico Tb álico, textura argilosa	D
GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico	Solonchak sódico	D
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto Ta A moderado e espesso textura arenosa/média	D
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico planossólico A moderado textura arenosa/média	Podzóloco Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto Ta A moderado e espesso textura arenosa/média moderadamente drenado	D
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico	Litosol - fase substrato folhelho-argilito	D
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêrmico típico	Solo Orgânico álico	D
PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	Planossolo Eutrófico Tb, A proeminente, textura média/argilosa	D
PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta	Plintossolo Pétrico Distrófico Tb A moderado textura arenosa/média	D
SOLOS DE MANGUE	Sem similar	D

¹ Fonte: Oliveira, 1999a

² Classificados de acordo com a classificação hidrológica de Lombardi Neto et al. (1989)

Mudança textural abrupta: é o termo usado quando ocorre um aumento considerável no teor de argila dentro de uma pequena distância ($\leq 7,5$ cm) na zona de transição entre o horizonte A ou E e o horizonte subjacente B. Se um dos horizonte A ou E apresentar teor de argila $< 20\%$, o horizonte B deverá ter no mínimo o dobro do teor de argila do horizonte A ou E. Quando o teor de argila dos horizontes A ou E for $\geq 20\%$, o teor de argila do horizonte subjacente B deverá ser no mínimo 20% maior que o teor de argila dos horizontes A ou E.

A tabela D4 traz uma adaptação das tabelas do CN para usos agrícolas, principalmente sobre as definições dos tipos de culturas e manejo agrícola. Os valores dessa tabela foram baseados nos resultados deste estudo, nos trabalhos de Silva (1996) e Lombardi Neto (não publicado), e também nos próprios valores do CN da tabela do SCS.

Tabela D4: Número da curva de escoamento superficial para usos agrícolas (Ia = 0,2.S, condição II de umidade antecedente e condição hidrológica superficial média).

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos			
Uso	Tratamento ou manejo do solo	A	B	C	D
Solo Exposto		83	86	91	94
	Terra arada + SRC	81	85	90	93
	RCS	75	83	88	90
Culturas Anuais (Ca)	N* + SRC	77	84	89	91
	N* + RCI	72	80	85	88
	N* + RCSI	66	74	80	82
	N* + RCS	63	70	77	80
Culturas Temporárias (Ct)	N*	65	75	81	83
	N* + RCS	61	71	78	81
Culturas Perenes (Cp)	N*	43	65	76	82
	N* + RCS	32	58	72	79
Pastagem	Degradada	68	79	86	89
	Nativa	49	69	79	84
	Melhorada	39	61	74	80
Reflorestamento	N*	45	66	77	83
	N* + RCS	35	55	70	77
Vegetação Natural	Capoeira	30	48	65	73
	Mata	20	40	49	52
Estradas e construções rurais < 50 % impermeável		59	74	82	86
Estradas e construções rurais > 50 % impermeável		72	82	87	89

Legenda:

N*: Plantio em nível ou contorno

Ca: Culturas anuais (plantio e colheita anual). Exemplo: milho, soja, etc.

Ct: Culturas temporárias (plantio a cada 3 ou mais anos). Exemplo: cana-de-açúcar

Cp: Culturas perenes. Exemplo: pomar, café.

SRC: Sem resíduo cultural

RCI: Resíduo cultural incorporado < 2 t/ha

RCSI: Resíduo cultural semi-incorporado 2 a 4 t/ha

RCS: Resíduo cultural na superfície > 5 t/ha

Pastagem:

Degradada - presença de compactação superficial, utilização de queimadas, e até 25 % da área sem vegetação, mesmo no período chuvoso.

Nativa: Pasto natural sendo feito controle de manejo de animais e limpezas esporádicas.

Melhorada: Correção de acidez e fertilização, plantio de gramíneas adaptadas, manejo de animais.

Adaptada com a colaboração do prof. Dr. Francisco Lombardi Neto.

BIBLIOGRAFIA

Bertolani, F. C.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 25, p. 987-995, 2001.

Bertoni, J. Sistemas Coletores para determinação de perdas por erosão. **Bragantina**, vol. IX, p. 147-155, 1949.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do Solo**. 4.º Edição. São Paulo: Ícone Editora, 1999, 355p. Coleção Brasil Agrícola.

Brasil, Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas e reconhecimento de solos. **Levantamento e reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960, 643p(SNPA, Boletim, 12).

Chow, V. T. Hydrologic design of culverts. **Journal of Hydraulics Division**, v.88, n.º HY2, p. 39-55, 1962.

Chow, V. T. Runoff. In: Chow, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw-Hill, 1964, cap.14, p. 1-53.

Cronshey, R. G. Antecedent Moisture Condition Probabilities. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.109(2), p. 296-298, 1983.

DAEE. **Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Obras e Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1994, 64p.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

Fregonezi, G. A. F.; Brossard, M.; Guimarães, M. F.; Medina, C. C. Modificações Morfológicas e Físicas de um Latossolo Argiloso sob Pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 1017-1027, 2001.

Genovez, A. M. **Avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo**. Campinas, 1991. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP).

Genovez, A. M. **O Hidrograma Unitário**. Campinas, 1982. 25p. Notas de Aula. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP).

Genovez, A. M. Vazões Máximas. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 33-108.

Hawkins, R. H., Hjelmfelt, A. T., e Zevenberger, A. W. Runoff probability, storm depth, and curve numbers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.111, n.º4, p. 330-340, 1985.

Hjelmfelt, A. T. Curve number procedure as infiltration method. **Journal of Hydraulic Division**, v.106, p. 1106-1111, n.º HY6 , 1980.

Hjelmfelt, A. T. Investigation of Curve Number Procedure. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.117, p. 725-737, n.º 6 , 1991.

Holtan, H. N; Lopez, N. C. **USDAHL - 70 model of watershed hydrology**. Tech. Bull, n.º 1435, USDA, 1971.

Kutner, A. S.; Conte, A. E.; Nitta, T. **Análise Geológica e Caracterização dos Solos para avaliação do coeficiente de escoamento superficial na bacia do Alto Tietê**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracajú-SE, 25 - 29/11/2001, ABRH, 10.pdf.1CD ROM.

Lepsch, I. F.; Bellinazzi Júnior, R.; Bertolini, D.; Spíndola, C. R. **Manual para Levantamento Utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade**

de uso. 4.º Impressão. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983, 175p.

Linsley, R. K.; Franzini, J. B. **Engenharia de Recursos Hídricos.** São Paulo: Editora de Universidade de São Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, 1978. Tradução e adaptação: Luiz Américo Pastorino.

Linsley, R. K.; Kohler, M. A.; Paulhus, J. L. H. **Hydrology for Engineers,** 2.º Edição, McGraw-Hill, New York, 1975.

Lombardi Neto, F.; Bellinazzi Júnior, R.; Galeti, P. A.; Bertolini, D.; Lepsch, I. F.; Oliveira, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. **Simpósio sobre terraceamento agrícola.** Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.

Machado, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Piracicaba, 2002. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo.

McCuen, R. H. **Hydrologic Analysis and Design.** New Jersey: Prentice Hall, 1989. 867p.

Mockus, V. Hydrologic Soil Groups. In: USDA-SCS. **National Engineering Handbook: Section 4, Chapter 7, Hydrology.** 1972

Moretti, L. R. **Avaliação da erosão superficial em pequenas bacias hidrográficas rurais.** São Paulo, 2001. 128p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Ogrosky, H. O.; Mockus, V. Hydrology of Agricultural Lands. In: Chow, V. T. **Handbook of Applied Hydrology.** McGraw-Hill, 1964. cap.21, p. 1-97)

Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano filho, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida.** Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas e Embrapa Solos, 1999. 64p. e mapa.

Oliveira, J. B.; Jacomine, P. K. T.; Camargo, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

Oliveira, J. B. **Pedologia Aplicada.** Jaboticabal, Funep, 2001. 414 p.

Oliveira, J. B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1999a. 112p. (Boletim Científico n.º 45).

Oliveira, J. B; Prado, H. **Carta Pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo: Folha de Piracicaba**. São Paulo, Secretaria da Agricultura/CPC/IA; Secretaria de Economia e Planejamento/CAR/IGC. 1989, Mapa, escala 1:100.000.

Oliveira, J. B. **Solos da folha de Piracicaba**. Campinas, Instituto Agronômico, 1999b. 173p. (Boletim Científico n.º 48).

Pfaffstetter, Otto. **Deflúvio Superficial**. Rio de Janeiro, Serviço de Divulgação do Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 1976. 144p.

Pinto, N. L. de S.; Holtz, A. C. T.; Martins, J. A.; Gomide, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo, Edgard Blucher, 1976. 278p.

Ponce, V. M. **Notes of my conversation with Vic Mockus**. San Diego, Califórnia, July 15, 1996. Disponível em <<http://ponce.sdsu.edu>> acesso em 26/11/2003.

Ponce, V. M; Hawkins, R. H. Runoff Curve Number: Has it Reached Maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**. v.1, n.1, p. 11-19, 1996.

Pott, A. C. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do Estado de São Paulo**. Campinas, 2001. 65p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico/Pós-Graduação.

Prado, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento**. Piracicaba, Hélio do Prado, 2001.

Prakash, A.; Heggen, R. J.; Ponce, V. M.; Replogle, J. A.; Riggs, H. C.; Quimpo, R. G. Runoff, Streamflow, Reservoir Yield, and Water Quality. In: ASCE, **Hydrology Handbook**. Second Edition. New York: ASCE, 1996. p. 331-435. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n.º 28).

Ranieri, S. B. L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacias hidrográficas utilizando sistema de informações geográficas**. São

Carlos, 1996. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

Rawls, W. J.; Goldman, D.; Van Mullen, J. A.; Ward, T. J.; Ahuja, L. R.; Akan, A. O.; Brakensiek, D. L.; DeBarry, P. A.; Heggen, R. J.; Sabol, G. V. Infiltration. In: ASCE, **Hydrology Handbook**. Second Edition. New York: ASCE, 1996. p. 75-124. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n.º 28).

Salomão, F. X. T.; Antunes, F. S. Solos. In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 87-99.

Setzer, J; Porto, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. São Paulo, 1979. **Boletim Técnico DAEE**. v.2, n.2, p. 81-104.

Silva, L. R. B. S. **Medida e Estimativa do Escoamento Superficial em Solo Cultivado sob Diferentes Sistemas de Manejo**. Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, 1996. Relatório de Iniciação Científica. Orientador Prof.º Abel Maia Genovez e Co-orientador Prof.º Francisco Lombardi Neto.

Technical Release 55 (TR-55). **Urban Hydrology of Small Watersheds**. USDA, NRCS, 1986.

Tucci, C. E. M. Escoamento Superficial. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);ABRH, 2000. p.391-441.

USBR U.S. Bureau of Reclamation - United States Department of the interior. **Design of Small Dams**. Companhia Editorial S.A. México, D. F. 1977. 639p.

Villela, S. M; Mattos, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

Wilken, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 1978. 478p.

ABSTRACT

The volume and distribution of the runoff is very important to assist in making decision directed for the control of the agricultural and urban erosion, flood control and hydraulic engineering projects relating with the water resources planning. The Soil Conservation Service (SCS) method for estimating runoff, from the U. S. Department of Agriculture (USDA) determines part of the precipitation that results in the runoff and its volume and distribution with the time. It has as main variable the runoff curve number (CN) that is estimated on the basis of soil and land cover informations. In this work it had been analyzed and compared two soil hydrologic classes (SHC): one of the SCS classification, based on soil characteristics of the United States, and other based on soils characteristics from Brazil. Initially, it was obtained the runoff hydrographs from observed precipitations using both SHC classifications and comparing with the observed data, as well as, the values of the exceeding precipitation obtained were compared too. This procedure was applied for 20 events (hydrographs of direct flow and its precipitations) occurred in the Marins watershed, at Piracicaba, São Paulo State, Brazil, with an area of 21, 87 km². The SHC using the soil characteristics from Brazil was more consistent than that of the SCS that underestimated in 90 % of the observed values. The values of CN for several soil use and management were established for two soils of Sao Paulo State. It was applied two methods: Hawkins et al. (1985) and optimization (Silva, 1996). The Hawkins method did not show the management effects for improvement conditions of water infiltration. The Silva method showed very well the effects of soil management and SHC for soil characteristics from Brazil had a better behavior than that of the SCS. The brazilian soil hydrological classification was adequated in this work and a table for curve number was presented.