LILIANE LOPES COSTA ALVES PINTO

**O DESEMPENHO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO MEDIDA
MITIGADORA DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO**

**São Paulo
2011**

LILIANE LOPES COSTA ALVES PINTO

**O DESEMPENHO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO MEDIDA
MITIGADORA DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia
Hidráulica

Orientador: Prof. Dr. Rubem La
Laina Porto

**São Paulo
2011**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de maio de 2011.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Pinto, Liliane Lopes Costa Alves

O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano / L.L.C.A. Pinto. -- ed.rev. -- São Paulo, 2011.

255 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1. Enchentes urbanas 2. Pavimentação de concreto (Permeabilidade) 3. Reservatórios 4. Drenagem urbana I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.

*Para Rubens, Renan e Rafael pela
compreensão, companheirismo,
paciência, cumplicidade, incentivo,
dedicação e amor.
Vocês são a razão de tudo.*

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Desejo expressar meu agradecimento especial a quatro professores sem os quais esta tese não teria sido desenvolvida.

Professor Doutor Rubem La Laina Porto que mesmo sem me conhecer aceitou ser meu orientador e que com o passar do tempo acreditou na pesquisa. Muito obrigada pelos livros emprestados com desprendimento e presteza. Alguns deles verdadeiras relíquias que só Senhor tem. Durante a elaboração do modelo matemático quando um mar de dúvidas invadiu nossas mentes, suas contribuições foram especiais. Obrigada por sua atenção e incentivo. Foi uma honra tê-lo como orientador. Muito obrigada.

Professor Doutor José Rodolfo Scarati Martins, muito obrigada pelas inúmeras horas em que passamos discutindo todos os itens deste trabalho.

Depois da análise das chuvas monitoradas veio a elaboração do modelo matemático e foram dias e noites em cima desse modelo até que finalmente, um dia após a solicitação de prorrogação de prazo ser aceita, o modelo aderiu e estava concluída a essência da tese, faltando apenas as conclusões.

Na verdade não tenho como lhe agradecer, mas certamente quem já passou por isso sabe o quanto vale essa dedicação, disponibilidade, interesse e incentivo. Foi muito tempo, foram muitas horas, foram muitas discussões, foram muitos gráficos, muitos dos quais não foram incluídos no corpo desta tese, mas serviram para sinalizar que o caminho era aquele ou não. Foram muitas figuras, muitos esquemas, muitos rabiscos. Foi muito tudo. Muito obrigada!

Professor Doutor Carlos Yukio Suzuki sua participação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. As contribuições relacionadas à estrutura do pavimento, o levantamento topográfico e projeto geométrico, o incentivo quando tudo parecia difícil, enfim todas as sugestões, as reuniões, as discussões realizadas em conjunto com os demais professores envolvidos e com o colega Afonso Virgiliis. Tudo isso foi fundamental para concretização deste sonho. Sou-lhe muito grata. Muito obrigada!

Professora Titular Liedí Bariani Bernucci talvez a Senhora não se lembre, mas foi em 2005 quem me forneceu a primeira bibliografia estrangeira sobre o tema

desta tese. Foram inúmeras conversas e discussões. Desejo expressar minha gratidão por todas as horas dispensadas com esta pesquisa.

A todos vocês minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Prefeitura do Município de São Paulo, em especial à SIURB pelo financiamento da obra e por ter acreditado na pesquisa e em seus eventuais resultados.

À FCTH em especial a Prof. Dr^a Monica Ferreira do Amaral Porto que viabilizou a implantação dos protótipos.

Ao DAEE/CTH, especialmente ao eng^o Ricardo Borsari e sua equipe pela paciência e colaboração durante a execução das obras do estacionamento.

Ao eng^o Flavio Conde por toda a contribuição durante a execução da obra, ajuda na fiscalização, coordenação administrativa do contrato, instalação dos equipamentos de monitoramento, paciência e presteza durante toda a pesquisa.

Ao amigo Afonso Luis Corrêa de Virgiliis pela perseverança no convencimento e sensibilização dos financiadores da obra para o objetivo maior desta pesquisa, que é prover e fomentar a utilização de uma técnica compensatória em drenagem urbana para mitigar os efeitos das inundações. Pela elaboração do dimensionamento estrutural dos pavimentos, pela ajuda na fiscalização da obra e durante boa parte desta pesquisa.

À PLANSERVI ENGENHARIA pelo apoio durante a elaboração do projeto geométrico e levantamento topográfico.

Ao eng^o Marcelo Missato pela elaboração do projeto geométrico e presteza durante a execução da obra, quando nos reuníamos no fim de semana para discutir o projeto.

Ao eng^o Fernando Augusto Júnior (IMPERPAV Projetos e Consultoria Ltda.) pelo controle tecnológico e pela dedicação durante a execução da obra.

Aos colegas Kleber e Cristiane, do SAISP (FCTH) na presteza com que dirimiram minhas dúvidas e atenderam minhas solicitações.

A Afonso Reis pela ajuda e paciência que foram essenciais durante as várias aferições que realizamos nos sensores.

Ao eng^o José Carlos Bernardino (FCTH) e sua equipe, em especial ao eng^o Bruno Peccini e Vitor Kikuchi no auxílio durante a aferição dos sensores.

A equipe do eng^o Clovis (FCTH) pela execução e instalação dos vertedouros e das grelhas, sem os quais esta pesquisa não seria possível.

Ao Prof. Dr. Podalyro do Amaral pelas contribuições durante a fase de elaboração do modelo matemático.

À Deric M. Furyama pelo capricho, rapidez e habilidade na elaboração primorosa das figuras desta tese.

À amiga eng^a Cristiane Amaro pela paciência e capricho na formatação e pelos comentários sempre pertinentes, ao longo deste trabalho.

Ao eng^o Hugo Hirata pelo auxílio na elaboração de uma rotina em visual basic para elaboração da distribuição temporal dos eventos hipotéticos.

Ao eng^o Rodrigo Lucci pelas fotografias tiradas durante alguns eventos de chuva quando não foi possível minha presença no local.

A bibliotecária Fátima da POLI pela análise e comentários efetuados na revisão bibliográfica desta tese.

A eng^a Taciana Odajima pela presteza na formatação das referências bibliográficas.

A Edson de Moura, Mariana Linhares e a equipe do Laboratório de Tecnologia da Pavimentação da Escola Politécnica da USP/SP pelas contribuições e elaboração dos ensaios de permeabilidade dos revestimentos permeáveis.

A secretária Wandréa pela boa vontade em fornecer todas as informações solicitadas e agilizar as questões administrativas do programa de doutorado.

A secretária Satie Ishikawa pela solicitude com que sempre me atendeu.

Aos colegas da UNISANTA, em especial Dr. Antonio de Sales Penteado, prof^a Nilene Janini e prof. Valter Prieto por entenderem quando precisei me ausentar.

A Rubens, Renan e Rafael pelos 14 anos de casamento e pela família amorosa que soube compreender as minhas ausências, cansaço, stress, mau humor, ansiedade, dúvidas e impaciência.

A meus pais e a Rutira Fraga Pinto pelo apoio durante toda a fase de desenvolvimento desta tese quando precisei estar ausente.

Aos colegas de trabalho pela paciência e compreensão durante as diversas etapas deste doutorado.

A todos indiscriminadamente que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

A DEUS que me deu ânimo e energia para que eu conseguisse desenvolver esta tese.

RESUMO

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 256 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

É fato que a crescente urbanização e a conseqüente impermeabilização do solo são alguns dos principais fatores que interferem no escoamento das águas de chuva. Isso se retrata na aceleração do escoamento, com a diminuição dos tempos de trânsito e aumento dos picos de vazão. É cada vez mais freqüente a ocorrência de inundações em áreas que anteriormente não eram atingidas. A impermeabilização de grandes áreas que possam vir a interferir nas condições hidrológicas de determinada região, deve ser analisada pelos órgãos fiscalizadores.

O meio técnico e acadêmico se vê frente a frente com o desafio de pesquisar, estudar, analisar e propor técnicas que possam atenuar os efeitos causados pelas chuvas em áreas densamente urbanizadas.

Este trabalho intenciona dar uma contribuição à drenagem urbana e vem propor a adoção de uma técnica compensatória que se mostrou muito eficiente. Trata-se do pavimento permeável do tipo sem infiltração no solo. Este dispositivo foi implantado de maneira convencional em um estacionamento na Universidade de São Paulo e contou com o suporte financeiro da Prefeitura do Município de São Paulo. Foram monitorados dois tipos de estrutura com revestimentos de BCP e CPA, durante o período de 6 meses. A instrumentação constou de uma estação pluviométrica e 4 sensores de nível instalados em caixas coletoras dotadas de vertedouros. Durante a pesquisa foi desenvolvido um modelo matemático para validação do modelo físico.

Ao final dos estudos concluiu-se que o desempenho do pavimento permeável para os dois tipos de estruturas monitoradas resultou em amortecimento da vazão afluente entre 28% e 87% no BCP e 56% e 85% no CPA. Portanto, esse tipo de dispositivo se mostrou muito eficiente.

Palavras-chaves: Enchentes urbanas, reservatórios, pavimentação de concreto (permeabilidade), concreto leve.

ABSTRACT

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 256 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

The increasing urbanization and the consequent imperviousness of the soil are the main factors that may interfere with the flow of stormwater. It causes the accelerating of the flow with the decrease in transit times and the increase of peak flows. The occurrence of flooding in areas not previously affected is getting more frequently. The imperviousness of large areas that may interfere with the hydrological conditions of a region should be analyzed by the technicians.

The technicians and academics find themselves face to face with the challenge of researching, studying, analyzing and proposing techniques that can mitigate the effects caused by rain in densely urbanized areas.

This study intends to give a contribution to the urban drainage and is proposing the adoption of a compensatory technique that has proved very efficient. This is the type of permeable pavement without infiltration into the soil. This device was implanted in a conventional way in a parking lot at the University of São Paulo with the financial support of the São Paulo City Hall. During 6 months two types of permeable pavements covered with permeable interlocking concrete pavement and porous pavement were monitored. The instrumentation consisted of a rain collector and four level sensors installed in collection boxes provided with spillways. During the research it was developed a mathematical model to validate the physical model.

At the end of the studies it was concluded that the performance of permeable pavement for the two types of structures monitored resulted in weakening of flow between 28% and 87% in the permeable interlocking concrete pavement and 56% and 85% in the porous pavement. Therefore, this type of device was very effective.

Keywords: Urban floods, reservoirs, concrete pavement (permeability), porous pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coeficiente de Runoff x Porcentagem Impermeável	8
Figura 2 - Tendência Geral da Relação População-Impermeabilização	10
Figura 3 - Relação área impermeável e densidade de domicílios	11
Figura 4 - Trincheiras de infiltração com poço de observação	16
Figura 5 - Vala de infiltração.....	20
Figura 6 - Poço de infiltração com dois tipos de introdução da água nos poços, por escoamento direto e por rede de condutos	23
Figura 7 - Poço integrado a uma área de lazer infantil, região de Lyon, França	24
Figura 8 - Telhado vegetalizado na cidade de São Paulo	25
Figura 9 - Blocos intertravados de concreto	29
Figura 10 - Sistemas de pavimentos permeáveis com infiltração.....	31
Figura 11 - Sistemas de pavimentos permeáveis a) blocos com canais laterais e b) blocos de pavimentos porosos	34
Figura 12 - Sistemas de pavimentos permeáveis gramados: a) blocos com pequenas aberturas e b) blocos com juntas amplas	34
Figura 13 - Equipamento de teste com um pavimento poroso com estrutura reservatório conforme as normas alemãs.....	35
Figura 14 - Seções de pavimentos permeáveis consistindo (da esquerda para direita) de concreto poroso, blocos intertravados Octabrick, blocos vazados de concreto e blocos de concreto Rima.....	38
Figura 15 - Seção transversal do estacionamento	40
Figura 16 - Lay-out da bacia de detenção com revestimento poroso.....	45
Figura 17- Foto do pavimento permeável. Fonte: ACIOLI (2005).....	47
Figura 18- Distribuição dos dispositivos de monitoramento do pavimento permeável.Fonte: ACIOLI (2005).....	47
Figura 19- Seção transversal do pavimento permeável. Fonte: ACIOLI(2005)	48
Figura 20- Esquema ilustrativo (fora de escala) dos reservatórios coletores dos escoamentos com suas dimensões. Fonte: Adaptado de ACIOLI (2005)	49
Figura 21 - Geogrelhas	54
Figura 22 - Geocélulas	54

Figura 23 - Concreto Poroso	55
Figura 24 - Blocos vazados	55
Figura 25 - Blocos intertravados de concreto	56
Figura 26 - Concreto poroso asfáltico	57
Figura 27 - Distribuição de eventos de chuva para uma região em função do período de retorno	58
Figura 28 - Esquema de execução do ensaio de permeabilidade	64
Figura 29 - Sequencia do ensaio de permeabilidade realizado nos corpos de prova de BCP.	66
Figura 30 - Perfil da área revestida com Blocos Intertravados de Concreto	71
Figura 31 - Perfil da área revestida com Concreto Asfáltico Poroso tipo CPA	71
Figura 32 – Resumo das características físicas das camadas integrantes dos módulos de BCP e CPA.....	72
Figura 33 - Planta de locação das sondagens a trado	73
Figura 34 - Seção transversal do pavimento de concreto poroso asfáltico	76
Figura 35 - Relação Espessura da camada de sub-base x CBR (%) pelo método PMSP - IP - 06 - Procedimento A	78
Figura 36 - Relação Espessura da camada de sub-base x Número “N” pelo método PMSP - IP - 06 - Procedimento A	78
Figura 37 - Relação Espessura total x CBR (%) pelo método PMSP - IP - 06 - Procedimento A	79
Figura 38 - Parâmetros de projeto para o dimensionamento da camada de reservatório para pavimentos permeáveis intertravados de concreto.....	81
Figura 39 - Parâmetros da equação proposta pela UNI-GROUP referentes a área de drenagem.....	83
Figura 40 - Lay-out dos modelos físicos.....	86
Figura 41 - Seção transversal tipo da camada reservatório.	87
Figura 42 – Lay-out final em agosto de 2009.	92
Figura 43 - Projeto de drenagem.....	95
Figura 44 - Perspectiva do sistema projetado no módulo de BCP.	96
Figura 45 – Perspectiva do sistema projetado no módulo de CPA.	96
Figura 46 – Seção transversal da estrutura reservatório com a locação do tubo dreno	96
Figura 47 - Sequência construtiva da obra do estacionamento.....	98

Figura 48 - Sequência construtiva da obra do estacionamento.....	99
Figura 49 - Sequência construtiva da pavimentação do estacionamento.	100
Figura 50 - Estação pluviométrica	102
Figura 51 - Vertedouro projetado para monitoramento do escoamento subsuperficial	102
Figura 52 - Curva de descarga dos vertedouros	103
Figura 53 - Instalação dos vertedouros.	103
Figura 54 - Instrumentação instalada no módulo de BCP.	104
Figura 55 -- Instrumentação instalada no módulo de CPA.....	104
Figura 56 - Localização dos sensores e da estação pluviométrica.	105
Figura 57 - Página do SAISP com os dados referentes a instrumentação do estacionamento.	106
Figura 58 - Precipitação do dia 4/2/2010 sobre o módulo de BCP.....	108
Figura 59 – Chuva máxima anual observada no posto E3-035 – IAG/USP no período de 1936 a 2004	109
Figura 60 - Precipitação Observada x Período de Retorno.....	109
Figura 61 - Distribuições Probabilísticas – Posto E3-035 – IAG/USP	112
Figura 62 - Distribuições Probabilísticas – Posto E3-035 – IAG/USP – para períodos de retorno entre 1 e 10 anos.....	113
Figura 63 - Níveis registrados nos sensores durante o evento de 4/2/2010	117
Figura 64 - Vazões geradas a partir dos níveis registrados durante o evento	119
Figura 65 - Vazões geradas em relação aos dados registrados nos sensores de BCP x Vazão Potencial	119
Figura 66 - Chuva de 25/2/2010 desagregada.....	124
Figura 67 - Níveis registrados nos sensores durante o evento de 25/2/2010.	124
Figura 68 - Vazões geradas a partir dos níveis registrados durante o evento.....	125
Figura 69 - Vazões geradas em relação aos dados registrados nos sensores do módulo de CPA x Vazão Potencial.	126
Figura 70 - Chuva de 25/3/2010 desagregada.	129
Figura 71 - Níveis registrados nos sensores durante o evento de 25/3/2010.	129
Figura 72 - Vazões geradas no módulo de BCP a partir dos níveis registrados durante o evento.....	131
Figura 73- Vazões geradas no módulo de CPA a partir dos níveis registrados nos sensores x Vazão Potencial.....	131

Figura 74 - Vazões geradas em relação aos dados registrados nos sensores de BCP x Vazão Potencial.	132
Figura 75 - Fluxograma do modelo desenvolvido.....	138
Figura 76 - Adaptado de Tucci; Porto; Barros (1995).....	140
Figura 77 - Esquema de cálculo do modelo desenvolvido.	142
Figura 78 - Precipitação x Chuva excedente – evento de 1/2/2010 – 1ª Fase	147
Figura 79 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 1ª Fase	147
Figura 80 - Vazão efluente no dreno (modelo matemático) x Vazão observada – 2ª Fase.....	148
Figura 81 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem	148
Figura 82 – Precipitação x Chuva excedente – evento de 4/2/2010	149
Figura 83 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 1ª Fase	149
Figura 84 -Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 2ª Fase	150
Figura 85 -- Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem.....	150
Figura 86 – Precipitação x Chuva Excedente – evento de 25/3/2010	150
Figura 87 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 1ª Fase	151
Figura 88 - Vazão efluente no dreno (modelo matemático) x Vazão observada - 2ª Fase.....	152
Figura 89 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem	152
Figura 90 – Desempenho do módulo de BCP para chuvas de diversas durações e TR's.	153
Figura 91 – Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 25/2/2010.....	154
Figura 92 – Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada.....	154
Figura 93 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem	155
Figura 94 - Precipitação x Escoamento Infiltrado – evento de 6/3/2010	155
Figura 95 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada	156
Figura 96 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem	156
Figura 97 – Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 14/3/2010.....	157
Figura 98 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada	157
Figura 99 -- Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem.....	157
Figura 100 - Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 23/4/2010.....	158
Figura 101 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada	158
Figura 102 -- Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem.....	159
Figura 103 – Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 8/5/2010.....	159

Figura 104 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada	160
Figura 105 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem	160
Figura 106 - Amortecimento promovido pelo módulo de CPA para chuvas de diversas durações.....	161
Figura 107 – Geomembrana do módulo de CPA coberta de água de chuva.	166
Figura 108 – Módulo de CPA revestido de geomembrana com a presença de ondulações.	166
Figura 109 - Camada de areia executada sobre a geomembrana no módulo de BCP.	166
Figura 110 – Retirada manual da camada de areia sobre a geomembrana.	166
Figura 111 – Camada de areia final executada sobre a geomembrana no módulo de BCP.	166
Figura 112 – execução do CPA em 03/10/2010. Acervo de Afonso Virgiliis.	167
Figura 113 –Data do Lote de areia de rejunte.....	168
Figura 114 – sacos de areia de rejunte utilizada para execução do BCP.	168
Figura 115 – Equipe executando o revestimento de BCP	168
Figura 116 – Compactação do BCP	168
Figura 117 – Execução final do BCP.....	168
Figura 118 - Lâminas d'água formadas pela chuva do dia 04/02/2010.	169
Figura 119 - Empoçamentos causados em decorrência da chuva de 04/02/2010. .	169
Figura 120 - Chuva de 13/07/2010.....	169
Figura 121 - Sensor instalado na boca de lobo do módulo de BCP	170
Figura 122 - Sensor instalado na boca de lobo do mdulo de CPA.....	170
Figura 123 - Sensor instalado para registro do ESS do módulo de BCP	170
Figura 124 - Sensor instalado para registro do ESS do módulo de CPA	170
Figura 125 - Aferição dos sensores de nível.	171
Figura 126 - Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do BCP superficial.	172
Figura 127 - Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do BCP subsuperficial (fundo).	172
Figura 128 - Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do CPA superficial.	173
Figura 129- Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do CPA subsuperficial (fundo).	174

Figura 130 – Vazão potencial x Vazão efluente do evento de 6/3/2010 registrada no módulo de CPA.....	177
Figura 131 – Desempenho do módulo de BCP para chuvas de diversas durações e TR's.	179
Figura 132 - Amortecimento promovido pelo módulo de CPA para chuvas de diversas durações.....	181
Figura 133 - Eventos ocorridos em fevereiro de 2010.....	187
Figura 134 – Evento de 25/2/2010.	187
Figura 135 - Evento de 6/3/2010.....	188
Figura 136 - Espessura média da camada do reservatório para porosidade da brita 20% - Módulo BCP	197
Figura 137 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 25% - Módulo BCP.....	198
Figura 138 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 30% - Módulo BCP.....	199
Figura 139 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 35% - Módulo Blocos Intertravados	200
Figura 140 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 40% - Módulo Blocos Intertravados	201
Figura 141 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 20% - Módulo CPA.....	202
Figura 142 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 25% - Módulo CPA.....	202
Figura 143 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 30% - Módulo CPA.....	203
Figura 144 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 35% - Módulo CPA.....	204
Figura 145 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 40% - Módulo CPA.....	204

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores Região Metropolitana de São Paulo (CAMPANA; TUCCI, 1994)...	9
Tabela 2 - Valores Região Metropolitana de Curitiba (CAMPANA; TUCCI, 1994).....	9
Tabela 3 - Taxa média de redução de escoamento superficial do pavimento permeável em relação ao pavimento asfáltico.....	41
Tabela 4 - Redução total do volume de escoamento superficial do pavimento permeável em comparação ao asfalto.....	41
Tabela 5 - Taxas de pico de vazão do escoamento superficial do asfalto e de infiltração dos pavimentos permeáveis.....	42
Tabela 6 - Equação intensidade-duração-frequência do posto IAG/USP – E3-035, em mm/h.....	59
Tabela 7 - Previsão de máximas alturas de chuvas, em mm.....	59
Tabela 8 - Matriz de aplicabilidade de projetos.....	60
Tabela 9 - Períodos de retorno para diferentes ocupações da área.....	61
Tabela 10 - Ensaio de permeabilidade do BCP.....	63
Tabela 11 - Ensaio de permeabilidade do CPA.....	67
Tabela 12 - Ensaio de permeabilidade do CPA (continuação).....	68
Tabela 13 - Coeficientes de permeabilidade do módulo de BCP.....	69
Tabela 14 - Coeficientes de permeabilidade do módulo de CPA.....	69
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de caracterização do subleito.....	74
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de compactação e CBR.....	74
Tabela 17 - Dimensionamento de Blocos Intertravados de concreto pelo método da PMSP – Procedimento A.....	77
Tabela 18 - Cálculo da contribuição para dimensionamento dos tubos de descarga na rede de drenagem local.....	94
Tabela 19 - Resumo dos eventos selecionados para análise.....	107
Tabela 20 – Distribuições Probabilísticas–Posto E3-035–IAG/USP–Precipitações.....	107
Tabela 21 - Resumo do evento do dia 4 de fevereiro de 2010 até 5 de fevereiro as 17:20hs, antes do início do próximo evento.....	117
Tabela 22 - Resumo do evento do dia 25 de fevereiro de 2010.....	125
Tabela 23 - Resumo do evento do dia 25 de março de 2010.....	132
Tabela 24- Resumo geral dos eventos selecionados para análise.....	134

Tabela 25 - Resumo geral do módulo de CPA dos eventos selecionados para análise	135
Tabela 26 - Resumo geral do módulo de BCP dos eventos selecionados para análise	136
Tabela 27 - Resumo da aferição dos eventos observados no módulo de BCP - Superficial.....	144
Tabela 28 - Resumo da aferição dos eventos observados no módulo de BCP – Subsuperficial	144
Tabela 29 – Resumo da aferição dos eventos observados no módulo de CPA - Subsuperficial	144
Tabela 30 - Dados de entrada e resultados - evento de 1/2/2010 – 1ª Fase	146
Tabela 31 - Dados de entrada e resultados - evento de 1/2/2010 - 2ª Fase	147
Tabela 32 - Dados de entrada e resultados - evento de 4/2/2010 - 1ª Fase	147
Tabela 33 - Dados de entrada e resultados - evento de 4/2/2010 – 2ª Fase	149
Tabela 34 - Dados de entrada e resultados - evento de 25/3/2010 – 1ª Fase	150
Tabela 35 - Dados de entrada e resultados - evento de 25/3/2010 – 2ª Fase	151
Tabela 36 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos eventos observados BCP.....	152
Tabela 37 – Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva – Eventos hipotéticos BCP.	153
Tabela 38 - Dados de entrada e resultados - evento de 25/2/2010 – 2ª Fase	154
Tabela 39 -- Dados de entrada e resultados - evento de 6/3/2010- 2ª Fase.....	155
Tabela 40-- Dados de entrada e resultados - evento de 14/3/2010 – 2ª Fase	156
Tabela 41 - Dados de entrada e resultados - evento de 23/4/2010 – 2ª Fase	158
Tabela 42 - Dados de entrada e resultados - evento de 8/5/2010 – 2ª Fase	159
Tabela 43 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos eventos observados CPA.....	159
Tabela 44 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos eventos hipotéticos – CPA.	161
Tabela 45 - Espessura da camada reservatório segundo Bettess	162
Tabela 46 - Espessura da camada reservatório segundo o Interlocking Concrete Pavement Institute	163
Tabela 47 - Comprimento equivalente e declividade resultante - método da UNI-GROUP.....	163

Tabela 48 - Volume precipitado sobre o pavimento de blocos intertravados	163
Tabela 49 - Espessura da camada reservatório pelo método da UNI-GROUP	163
Tabela 50 - Resumo – Espessura da camada reservatório com declividade variável	164
Tabela 51 - Verificação do sensor BCP - superficial em 13/04/2010	171
Tabela 52 - Verificação do sensor BCP - subsuperficial em 04/05/2010.....	172
Tabela 53 - Verificação do sensor CPA - superficial em 04/05/2010	173
Tabela 54 - Verificação do sensor CPA - subsuperficial em 13/04/2010.....	173
Tabela 55 – Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva para o BCP.....	179
Tabela 56 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos Eventos Observados no BCP	179
Tabela 57 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva para o CPA	180
Tabela 58 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos Eventos Observados no CPA	180
Tabela 59 - Relação de eventos e eventos antecedentes.....	186
Tabela 60 – Precipitação obtida a partir da equação de chuvas da cidade de São Paulo – Posto E3-035 – IAG/USP.	196
Tabela 61 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=20\%$	196
Tabela 62 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=20\%$	196
Tabela 63 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=25\%$	197
Tabela 64 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=25\%$	197
Tabela 65 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=30\%$	198
Tabela 66 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=30\%$	199
Tabela 67 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=35\%$	199
Tabela 68 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=35\%$	200
Tabela 69 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=40\%$	200
Tabela 70 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=40\%$	201
Tabela 71 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=20\%$	201
Tabela 72 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=25\%$	202

Tabela 73 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=30\%$	203
Tabela 74 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=35\%$	203
Tabela 75 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=40\%$	204
Tabela 76 – Desagregação de chuvas a partir da chuva de 24 horas obtida pela distribuição de Gumbel	2045
Tabela 77 – Relatório de dados e volumes resultantes do evento de 4 de fevereiro de 2010.....	208
Tabela 78 – Relatório de dados e volumes resultantes do evento de 25 de fevereiro de 2010.....	213
Tabela 79– Relatório de dados e volumes resultantes do evento de 25 de março de 2010.....	214
Tabela 80 – Resultados da modelação matemática do evento de 1/2/2010 – 1ª Fase.	219
Tabela 81 - Resultados da modelação matemática do evento de 1/2/2010 – 2ª Fase.	222
Tabela 82 – Resultados da modelação matemática do evento de 4/2/2010 – 1ª Fase	226
Tabela 83- Resultados da modelação matemática do evento de 4/2/2010 – 2ª Fase	229
Tabela 84 - Resultados da modelação matemática do evento de 25/3/2010 – 1ª Fase.....	233
Tabela 85 - Resultados da modelação matemática do evento de 25/3/2010 – 2ª Fase.....	236
Tabela 86- Resultados da modelação matemática do evento de 25/2/2010.....	240
Tabela 87 - Resultados da modelação matemática do evento de 6/3/2010.....	242
Tabela 88 - Resultados da modelação matemática do evento de 14/3/2010.....	245
Tabela 89 - Resultados da modelação matemática do evento de 23/4/2010.....	248
Tabela 90 - Resultados da modelação matemática do evento de 8/5/2010.....	250
Tabela 91 - Planilha utilizada no cálculo do balanço hídrico para o evento de 8/5/2010.....	252

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	American Society of Civil Engineers
BCA	British Cement Association
BCP	Blocos de concreto de cimento Portland permeável
BCV	Blocos de concreto vazados
BGS	Brita graduada simples
BMP's	Best Management Practices
CBR	California bearing ratio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIRIA	Construction Industry Research and Information Association
CP	Concreto Poroso
CPA	Concreto Poroso Asfáltico
CTH	Centro Tecnológico de Hidráulica
DEPAVE	Departamento de Parques e Áreas Verdes
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S.A.
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DP	Diretrizes de projeto
EPA	Environmental Protection Agency
ESD	Escoamento superficial direto
ESS	Escoamento Subsuperficial
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
FGSV	Forschungsgesellschaft für StraBen- und Verkehrswesen
HRB	Highway Research Board
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
ICPI	Interlocking Concrete Pavement Institute
IDF	Intensidade, duração e frequência
IP	Instrução de projeto
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas

IPL	Índice de Plasticidade
LID	Low impact development
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
MCT	Metodologia miniatura, compactado, tropical
ME	Método
NBR	Norma Brasileira
NRCS	Natural Resources Conservation Service
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PHD	Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da USP
PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
PRO	Procedimento
PTR	Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP
PVC	Policloreto de vinila ou cloreto de polivinila
RDC	Resíduo de Construção Civil
SAISP	Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo
SCS	Soil Conservation Service
SIURB	Secretaria de Infra-estrutura Urbana e Obras
ST	Sondagem a trado
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SVMA	Secretaria do Verde e Meio Ambiente
TCA	Termo de Compensação Ambiental
TR	Período de retorno
UFRS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USACE	United States Army Corps of Engineer
USEPA	United States of Environmental Protection Agency
USP	Universidade de São Paulo
USWDCM	Urban Stormwater Drainage Criteria Manual
Ø	Diâmetro da tubulação
γ_d	Massa específica aparente seca do material (g/cm ³)
γ_w	Densidade da água (g/cm ³)
μ	Porosidade do material de preenchimento
σ	Desvio padrão

A	Área da bacia, para uma chuva unitária de 1 cm (km ²)
A _c	Área de contribuição
a ₅₀	Superfície efetiva da área para infiltração (m ²)
AD	Área de drenagem
A _i	Área impermeável (m ²)
a _i	Coeficiente estrutural da i-ésima camada
A _p	Área de pavimento permeável
B	Comprimento da área de drenagem
B _d	Largura (m)
C	Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente corretivo
CN	Número de curva
d _s /d _t	Relação entre o volume de entrada e o volume armazenado
D	Duração da chuva (h)
D _i	Espessura da i-ésima camada
dx	Derivada de x
ΔQ _c	Precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto (m)
e _t	Espessura total da camada filtrante
f	Taxa de infiltração no solo (m/h)
F	Frequência média da precipitação
f(x)	Função de x
F(x)	Função de probabilidade acumulada
F _{ck}	Resistência a compressão
G _s	Densidade real dos grãos (g/cm ³)
h	Lâmina d'água no tubo
h _{máx}	Profundidade máxima (m)
H _{máx}	Espessura total da camada reservatório (m)
h _{or}	Inclinação horizontal do talude
H ₁	Espessura da camada de areia
H'	Espessura média da camada reservatório (m)
h _t	Valor médio da chuva máxima de duração D horas
h ₂₄	Valor médio da chuva máxima de 24 horas
i	Intensidade da chuva (m/h, mm/h, mm/min)

I	Gradiente hidráulico
k	Constante de permeabilidade
KN	Kilo Newton
K_1	Condutividade hidráulica da areia
I	Altura da amostra
L	Comprimento (m)
L_1	Comprimento do reservatório na direção de montante
L_2	Comprimento do reservatório na direção de jusante
L_R	Comprimento de drenagem resultante (m)
ln	Logaritmo neperiano
m	Média da amostra
m_i	Coeficiente de drenagem da i-ésima camada
n	Coeficiente de Manning
N	Newton
N_R	Número de repetições do eixo padrão
P	Precipitação de projeto
ph	Potencial hidrogenado
Q	Vazão de saída do permeâmetro
Q_e	Vazão de entrada (m^3/s , l/s)
Q_p	Vazão de pico (m^3/s)
Q_{pl}	Vazão a seção plena
Q_s	Vazão de saída do reservatório
r	Coeficiente de desagregação
R	Relação entre a área drenada e a área de infiltração
S	Retenção potencial máxima do solo (mm)
S_1	Declividade longitudinal (m/m)
S_2	Declividade transversal (m/m)
S_m	Declividade adotada no projeto na direção de montante
S_j	Declividade adotada no projeto na direção de jusante
SN_1	Número estrutural necessário sobre a base
SN_2	Número estrutural necessário sobre a sub-base
SN_3	Número estrutural necessário sobre o subleito
S_R	Declividade resultante na direção do fluxo (m/m)

T	Tempo de escoamento da água
t	Tempo de esvaziamento (h)
t_A	Tempo de ascensão
t_B	Tempo de base
t_c	Tempo de concentração
t_{cs}	Tempo de concentração do escoamento superficial
t_{css}	Tempo de concentração do escoamento subsuperficial
T_e	Tempo efetivo de enchimento da camada reservatório (h)
t_R	Tempo de retardamento
v	Velocidade (m/s)
Va	Armazenamento (m ³)
V	Volume (m ³)
v_e	Inclinação vertical do talude
V_{esd}	Volume de escoamento superficial direto
$V_{m\acute{a}x}$	Volume máximo da camada reservatório
v_{pl}	Velocidade a seção plena
x	Amostra
y	Profundidade efetiva (m)
Y	Profundidade da carga hidráulica (m)

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Impactos da Impermeabilização	7
3.2 Medidas Mitigadoras	13
3.2.1 <i>Trincheiras drenantes</i>	<i>15</i>
3.2.2 <i>Valas de infiltração</i>	<i>19</i>
3.2.3 <i>Poços de infiltração</i>	<i>22</i>
3.2.4 <i>Telhados armazenadores</i>	<i>25</i>
3.2.5 <i>Pavimentos permeáveis</i>	<i>27</i>
4 MODELO CONCEITUAL DO PAVIMENTO TESTE	52
4.1 Objetivos do Modelo	52
4.2 Materiais Disponíveis	53
4.3 Dimensionamento do Modelo	57
4.3.1 <i>Chuva de projeto</i>	<i>57</i>
4.3.2 <i>Permeabilidade das camadas de revestimento</i>	<i>62</i>
4.3.3 <i>Porosidade das camadas de base e sub-base (camadas reservatório) ..</i>	<i>69</i>
4.3.4 <i>Tipo de tráfego</i>	<i>75</i>
4.3.5 <i>O dimensionamento hidrológico-hidráulico da estrutura reservatório</i>	<i>79</i>
5 MODELO FÍSICO – O PROTÓTIPO DO PAVIMENTO TESTE	89
5.1 Projeto e Execução	90
5.1.1 <i>Levantamento topográfico</i>	<i>90</i>
5.1.2 <i>Serviços geológico-geotécnicos</i>	<i>90</i>

5.1.3 Projeto de geometria e terraplenagem.....	90
5.1.4 Projeto de drenagem.....	93
5.2 Execução da Obra	97
5.3 Instrumentação.....	101
6 MONITORAMENTO DO PAVIMENTO TESTE.....	105
6.1 Estatística de extremos	109
6.2 Análise dos eventos monitorados	114
6.2.1 Evento de 4 de fevereiro de 2010	115
6.2.2 Evento de 25 de fevereiro de 2010	120
6.2.3 Evento de 25 de março de 2010	127
6.2.4 Resumo geral dos demais eventos.....	133
7 A MODELAÇÃO MATEMÁTICA.....	137
8 ANÁLISE CRÍTICA.....	162
8.1 O método de dimensionamento.....	162
8.2 A construção do modelo físico	164
8.3 O monitoramento.....	169
8.4 O desempenho dos pavimentos permeáveis	176
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	182
9.1 Conclusões	182
9.2 Recomendações	189
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191
 APÊNDICE A – PLANILHAS DE DIMENSIONAMENTO	
HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DO MODELO FÍSICO.....	196
 APÊNDICE B – DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DE 24 HORAS PELA	
DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL	205
 APÊNDICE C – RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DO EVENTO DE	
04/02/2010 (CONTINUA)	208

APÊNDICE D – RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DO EVENTO DE 25/02/2010 (CONTINUA)	213
APÊNDICE E – RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DO EVENTO DE 25/03/2010 (CONTINUA)	214
APÊNDICE F – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 01/02/2010 – BCP (CONTINUA).....	219
APÊNDICE G – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 04/02/2010 – BCP (CONTINUA).....	226
APÊNDICE H – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 25/03/2010 – BCP (CONTINUA).....	233
APÊNDICE I – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 25/02/2010 – CPA (CONTINUA).....	240
APÊNDICE J – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 06/03/2010 – CPA (CONTINUA).....	242
APÊNDICE K – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 14/03/2010 – CPA (CONTINUA).....	245
APÊNDICE L – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 23/04/2010 – CPA (CONTINUA).....	248
APÊNDICE M – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 08/05/2010 – CPA (CONTINUA).....	250
APÊNDICE N – EVENTO DE 08/05/2010 (CONTINUA)	252

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos centros urbanos no Brasil e em grande parte do mundo se deu, na grande maioria das vezes, de maneira desordenada e sem a preocupação com o meio ambiente urbano. A falta de planejamento aliada à urbanização descontrolada, usualmente pressionada por aspectos econômicos como a falta de moradias, o êxodo rural e a industrialização, resultou em altas taxas de impermeabilização do solo e, conseqüentemente na ausência de espaços urbanos, como parques e jardins, que propiciam a infiltração da água no solo e a recarga dos lençóis freáticos. Principalmente nas grandes metrópoles, em decorrência dos elevados índices de impermeabilização do solo e da ocupação das várzeas, a ocorrência de inundações se dá com maior frequência, na medida em que os tempos de pico dos hidrogramas diminuíram e as vazões, por outro lado, aumentaram.

Em meados dos anos 80, o meio técnico percebeu a necessidade da mudança de paradigmas na gestão da drenagem urbana, pois estavam claras as interfaces entre as questões técnicas, econômicas, sociais e principalmente, ambientais. As questões relacionadas à qualidade da água também vieram à tona. É fato, que os efeitos causados pelo escoamento superficial direto devem ser tratados na fonte produtora e não mais transferidos às populações de jusante. O princípio de que o afastamento da água da chuva deve se dar o mais rapidamente possível para jusante tem sido reconhecido como “errado” (TUCCI, 2007). Surgiram, então, conceitos que agregam questões sócio-econômico-ambientais. A participação da comunidade como agente fiscalizador tornou-se importante dentro do contexto da drenagem urbana.

A preocupação com a sustentabilidade das bacias hidrográficas fez surgir o conceito conhecido como LID, introduzido no final dos anos 90 (JONES, 2001) e chamado no Brasil de “impacto zero” e de “vazão de restrição ou vazão de referência”, que tem como princípio a anulação e a atenuação dos efeitos provocados pelo uso urbano do solo da bacia. De acordo com o LID o sistema de drenagem não deve produzir impactos superiores aos naturais da bacia, tanto a montante como a jusante do ponto de interesse. Deve-se observar que o LID engloba um conceito mais amplo relacionado também à integração urbanística.

Novas práticas têm que ser adotadas e novos conceitos assumidos. A sustentabilidade dessas ações está relacionada à implantação de medidas mitigadoras na drenagem urbana. Estas podem ser de caráter estrutural, compostas pelas obras implantadas na bacia ou no rio com finalidade de evitar o transbordamento dos córregos quando da ocorrência de enchentes (TUCCI, 2007). Existem ainda, as medidas de controle não estruturais, que são aquelas implantadas na bacia, que não se constituem em obras, e que têm caráter preventivo e gerencial. Podem-se citar como exemplo, os sistemas de alerta contra inundações, a educação ambiental, o planejamento e a gestão do uso do solo integrados com o desempenho da bacia hidrográfica, a gestão dos resíduos sólidos e por fim, os dispositivos que promovem a infiltração e o armazenamento (TUCCI, 2007). Baptista et al. (2005) referem-se às medidas não estruturais como sendo aquelas de caráter institucional, enquanto as demais são as chamadas **medidas de controle compensatórias**, e que podem atuar distribuídas ou na fonte e na micro-drenagem.

As medidas compensatórias na drenagem urbana interferem no hidrograma por meio de armazenamento do escoamento superficial direto, percolação e infiltração. São utilizadas como técnicas alternativas de **drenagem para reduzir ou controlar os excedentes pluviais gerados pela** impermeabilização e pela poluição de origem pluvial, além de propiciar a recarga dos aquíferos subterrâneos. Porém isoladamente, não promovem o controle de inundações. São estruturas destinadas ao manejo de águas pluviais. Podem ser implantadas em diferentes escalas espaciais e, sempre que possível próximo às fontes geradoras (NASCIMENTO; HELLER, 2005). Estas medidas são também consideradas obras, assim como as medidas estruturais.

Parece lógico, portanto, em se tratando do impacto originado pela impermeabilização, a demanda pelo desenvolvimento de tecnologias aplicáveis às necessidades urbanas, que contribuam para a reversão do fenômeno, anulando seus efeitos ou compensando-os. Assim, na linha da atenuação dos impactos, um dispositivo utilizado para promover a infiltração das águas da chuva no solo urbano e, conseqüentemente, atuar como um retardador dos tempos de pico das cheias é o **pavimento permeável**. Embora diversas experiências tenham sido propostas e já venham sendo praticadas no mundo, seu uso não é comum e nem amplamente disseminado, em razão de diversos fatores, como por exemplo, seu custo de

implantação. Da mesma forma, no sentido da compensação dos impactos, o uso de **reservatórios subterrâneos**, formados pela base porosa utilizada na pavimentação de vias, desponta como uma variante eficaz para o armazenamento temporário de volumes precipitados, constituindo-se numa alternativa simples aos grandes reservatórios de retenção.

Drenagem urbana depende da disponibilidade de espaços urbanos. A ausência desses espaços destinados principalmente às várzeas e a impermeabilização do solo como já mencionado, transformaram o espaço urbano. É comumente nas épocas de verão quando as chuvas se apresentam de maneira mais constante em algumas regiões do Brasil, verificar-se a ocorrência de inundações. A população ribeirinha e, muitas vezes áreas que nunca sofreram com os impactos dessas chuvas começaram a ter suas ruas inundadas e seus pertences perdidos. Começam a surgir inúmeras técnicas e especulações a cerca de como se pode resolver os problemas em suas mais variadas características. Mas, todos são unânimes e até certo ponto repetitivos, quando afirmam que isso tudo é consequência da urbanização, ou seja, das ações antrópicas.

Portanto, cabe ao Homem tentar resolver os problemas que causou. Não se pode permitir que medidas sejam tomadas sem o bom senso, e para isso cabe ao meio técnico propor instrumentos mitigadores. Esta tese trata de medidas estruturais compensatórias ou mitigadoras em drenagem urbana que têm efeito compensador sobre os impactos causados pela urbanização nos processos hidrológicos. Entretanto, estas medidas ainda estão longe de prover a sustentabilidade quando implantadas isoladamente. Engana-se quem acha que em drenagem urbana pode-se prescindir de obras ou de grandes obras.

Nos próximos capítulos, este trabalho será estruturado da seguinte maneira:

- Objetivo,
- Revisão bibliográfica com abordagem a cerca dos impactos causados pela urbanização na drenagem urbana e a descrição das principais medidas implantadas para controle, também chamadas de técnicas compensatórias;
- Descrição do modelo conceitual, onde serão apresentados os critérios adotados na elaboração da pesquisa, como a chuva de projeto, a permeabilidade e a porosidade das camadas de revestimento, base e sub-base (estrutura reservatório) e o tipo de tráfego considerado;

- Descrição do modelo físico construído nas dependências da Universidade de São Paulo onde foram monitorados eventos de chuva e analisadas as performances de dois tipos de pavimentos permeáveis;
- Monitoramento;
- Modelação matemática;
- Análise crítica e resultados;
- Conclusão e recomendações;
- Referências bibliográficas;
- Apêndice.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho hidrológico/hidráulico de um sistema experimental composto por um revestimento permeável e um reservatório subterrâneo formado pela base estrutural da pavimentação, com vistas à captação e armazenamento temporário de águas de chuva. Esta avaliação terá como foco principal a quantificação da capacidade de detenção e retardo do sistema, de forma a caracterizar seu potencial de compensação dos impactos da impermeabilização.

O trabalho se desenvolve a partir da instrumentação e análise dos dados obtidos de um modelo físico instalado no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH), com suporte da Prefeitura do município de São Paulo e que consiste em uma pista experimental destinada ao estacionamento de veículos e tráfego leve. Pretende-se também promover a discussão e a consolidação de técnicas compensatórias para mitigação dos impactos causados por precipitações de diversas magnitudes na micro-drenagem.

O modelo físico construído é composto por uma camada de revestimento permeável, base de material granular e manta de impermeabilização, sendo considerado do tipo 'sem infiltração'. Através do monitoramento instantâneo dos volumes precipitados, escoados superficialmente e ainda dos volumes efluentes do reservatório subterrâneo, pretende-se também determinar a capacidade de retenção desta estrutura específica.

Desta forma, pretende-se proporcionar ao meio técnico um instrumento que possa fornecer respostas quantitativas sobre a contribuição deste tipo de medida, bem como parâmetros de projeto destes tipos de pavimento.

Este trabalho não visa avaliar as questões relacionadas à qualidade da água, devendo ser objeto de estudos futuros.

Neste estudo pretende-se:

- Avaliar quantitativamente o comportamento dos pavimentos permeáveis em precipitações de diversas magnitudes no tocante a sua frequência e a sua duração;

- Avaliar e mensurar a eficiência dos reservatórios de detenção temporária sem infiltração para os dois tipos de estruturas propostas (blocos intertravados de concreto permeável, concreto poroso asfáltico e respectivos reservatórios) para precipitações de diversas magnitudes no tocante ao risco e a sua duração;
- Avaliar as fórmulas propostas para o dimensionamento desse tipo de estrutura;
- Elaborar modelo matemático para validação do modelo físico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Impactos da Impermeabilização

O crescimento da população urbana e da urbanização ao longo das últimas décadas no Brasil e no mundo gerou problemas relacionados à infra-estrutura urbana. A população urbana no Brasil de acordo com o censo de 2007 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) representa cerca de 74% da população total, hoje estimada em 108.765.037 de habitantes. Diretamente ligada à urbanização, está a impermeabilização do solo urbano, presente nas vias pavimentadas, nos estacionamentos e em telhados, esta causa a diminuição da infiltração de água no solo e da evapotranspiração. Quando da ocorrência de chuvas, essa contribuição se transforma em escoamento superficial tendo como consequência o aumento dos volumes escoados, das vazões de pico e a redução do tempo de concentração da bacia que eleva os picos dos hidrogramas de cheias.

Essa situação pode acarretar a obsolescência gradual e incontrolável das redes de drenagem convencional levando a inundações cada vez mais freqüentes em áreas urbanizadas, causando imensas consequências sociais, ambientais, políticas e econômicas. Dentre elas pode-se citar, resumidamente:

- a perda de vidas;
- a degradação do ambiente e da paisagem urbana;
- os prejuízos patrimoniais, econômicos e financeiros que recaem sobre as pessoas, empresas e órgãos públicos e;
- os danos intangíveis.

Entende-se por escoamento superficial direto a parcela da precipitação total que escoar sobre a superfície do solo (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995). É fato que o escoamento superficial aumenta com a porcentagem de impermeabilização do solo.

De acordo com estudo realizado durante doze anos pelo Urban Drainage and Flood Control no Distrito de Denver apud Urbonas (1992), o coeficiente de escoamento superficial aumenta em função do aumento do volume de precipitação, ou seja, para várias intensidades de precipitação sobre a mesma bacia, resultarão diferentes coeficientes de escoamento superficial. E, portanto, não se pode

considerá-lo constante e ainda, que aumenta na medida em que a impermeabilização também aumenta. A Figura 1 ilustra os resultados obtidos na pesquisa do Urban Drainage and Flood Control District em Denver.

Figura 1 - Coeficiente de Runoff x Porcentagem Impermeável
Fonte: adaptado de Urbonas (1992)

A impermeabilização é um parâmetro muito importante para o gerenciamento dos impactos causados pela urbanização nos sistemas de drenagem urbana e a porcentagem de área diretamente conectada é um dos fatores mais importantes na definição das porcentagens de área impermeável de uma bacia hidrográfica (LEE; HEANEY, 2003).

Campana e Tucci (1994) estimaram as áreas impermeáveis das regiões metropolitanas de cidades brasileiras como, São Paulo (Tabela 1), Porto Alegre e Curitiba (Tabela 2), a partir da análise de imagens de satélite e de um algoritmo. Correlacionaram a área impermeável à densidade habitacional de cada uma dessas cidades (Figura 2) concluindo que a impermeabilização tem uma tendência assintota no intervalo entre 60 e 70 % (≈ 65) e, que para densidades habitacionais maiores que 120 hab/ha, pode haver tendenciosidade a um valor uniforme. Propõem que o modelo seja utilizado em bacias com áreas maiores que 2 km².

Tabela 1 - Valores Região Metropolitana de São Paulo (CAMPANA; TUCCI, 1994)

Localização da Área (bairro)	Taxa de Áreas Impermeáveis (%)	Densidade Populacional (hab/ha)
Santo André	37,8	71,4
V. Floresta	45,0	88,1
Planalto	27,4	58,3
Jordanópolis	24,4	44,9
Rudge Ramos	44,6	82,3
Baeta Neves	58,9	110,5
Assunção	41,7	82,2
São Caetano	64,7	141,8
Diadema	30,0	62,5
Vila Alice	61,5	124,5
Piraporinha	59,6	117,3

Tabela 2 - Valores Região Metropolitana de Curitiba (CAMPANA; TUCCI, 1994)

Localização da Área (bairro)	Taxa de Áreas Impermeáveis (%)	Densidade Populacional (hab/ha)
Água Verde	46,3	>90
Centro	57,9	>90
Rebouças	36,4	70-90
Prado Velho	22	35-50
J. das Américas	24,3	35-50
Bairro Alto	21,7	35-50
Xaxim	32,6	50-70
C. Comprido	5,3	10-20
Uberaba	14	20-35
Boqueirão	23,6	50-70

Figura 2 - Tendência Geral da Relação População-Impermeabilização

Fonte: adaptado de Campana e Tucci (1994)

Em estudo desenvolvido para oito cidades brasileiras com diferentes características de ocupação: Bertioga, Ilha Comprida, Itanhaém, Mongaguá e Peruíbe, localizadas na costa do estado de São Paulo, Mogi das Cruzes, integrante da região metropolitana de São Paulo, Tupã, localizada no interior do estado de São Paulo e Nova Friburgo localizada na região serrana do estado do Rio de Janeiro, Pinto e Martins (2008) apresentaram uma análise da variabilidade das taxas de impermeabilização do solo urbano, na qual consideraram a relação de densidade de domicílios x hectare e concluíram que esta relação é mais apropriada do que a relação habitantes x hectare, pois permite captar tanto o efeito da verticalização demonstrado por Campana e Tucci (1994) como também o efeito dos domicílios ocasionais, que não se refletem na população e, portanto, não afetam os resultados (Figura 3). Esta análise estende e complementa aquela proposta por Campana e Tucci (1994).

Figura 3 - Relação área impermeável e densidade de domicílios

Fonte: Pinto e Martins (2008)

Ojima (2007) afirma que duas aglomerações urbanas podem apresentar taxas de crescimento populacional semelhantes no mesmo período, porém uma pode apresentar uma forma urbana compacta, verticalizada e monocêntrica, enquanto a outra se desenvolveu de maneira dispersa, horizontalizada e policêntrica, ou seja, com a formação de núcleos separados espacialmente. A fragmentação da população, certamente afeta a impermeabilização. Esta afirmação vem comprovar os resultados obtidos por Pinto e Martins (2008), quando comparadas as relações domicílios/ha e porcentagem de área impermeável entre municípios litorâneos, onde a ocupação se faz de maneira mais dispersa, municípios do interior, onde a cultura ainda é por moradias térreas e impermeabilização total dos terrenos e, portanto resultando em valores elevados, e as regiões metropolitanas, onde há concentração e verticalização e a tendência a estabilização é mais acentuada, como também observado por Campana e Tucci (1994). Pode-se afirmar então, que a variabilidade da taxa de impermeabilização pode ser associada às condições topográficas, pedológicas, de flutuação da população e à localização.

Hoje um dos grandes desafios na gestão da drenagem urbana é a mitigação dos impactos causados pela impermeabilização do solo urbano. É fato, que o principal fator que altera a magnitude do escoamento superficial direto gerado em uma bacia hidrográfica é decorrente da urbanização resultante da cidade legal, da

cidade ilegal e da cidade informal. O meio técnico e acadêmico vêm se esforçando no desenvolvimento de pesquisas para a descoberta de medidas que possam de alguma maneira mitigar os feitos causados pelo Homem no tocante à impermeabilização do solo. Outro fator determinante é a ocupação das várzeas, que ocorre, por vezes, em função da ausência de fiscalização, mas que afeta sobremaneira a bacia hidrográfica e a população de seu entorno, quando da ocorrência de chuvas intensas.

O conceito conhecido como LID introduzido no final dos anos 90 (JONES, 2001) e adotado no Brasil como “Impacto Zero”, é um dos mais importantes princípios adotados na gestão da drenagem urbana. Segundo este princípio, o melhor sistema de drenagem é aquele que conduz o escoamento superficial sem gerar impactos superiores aos supostamente naturais da bacia, tanto a montante como a jusante do ponto de interesse. Este conceito encontra, nos centros urbanos onde a ocupação se processou de forma não planejada, grandes dificuldades para sua implantação, principalmente em decorrência da falta de espaços disponíveis.

O conceito de “Impacto Zero” traduz-se pela eliminação ou a diminuição dos impactos gerados pela urbanização sobre o sistema de drenagem existente e pelo retorno às vazões de pré-urbanização, ou seja, àquela resultante da bacia hidrográfica quando esta não era ocupada. Entretanto, esta não é uma atribuição apenas do meio técnico envolvido, mas também do poder público, responsável pela implantação de medidas de ordem institucionais que viabilizarão sua sustentabilidade e, da própria população, no tocante ao cumprimento das medidas, assim como, colaboração e fiscalização/monitoramento. A impermeabilização deve ser encarada como um problema a ser solucionado pela sociedade em geral, que necessita explorar a superfície da bacia hidrográfica para sua sobrevivência e manutenção, criando como consequência, além dos problemas típicos de drenagem urbana, a deterioração da qualidade das águas.

É fato que os excessos de escoamento gerados a montante nas bacias hidrográficas, e que afetam os usuários situados a jusante, bem como a deterioração da qualidade das águas, ainda não são tratados fora do ambiente técnico e científico, porém não tarda a que estas situações de conflito passem a ser objeto de demandas políticas e/ou mesmo jurídicas.

Em cidades cuja densificação urbana atingiu quase ou a totalidade da área da bacia ou para empreendimentos que venham a alterar as características atuais das bacias, há necessidade da busca por novas soluções que atuando junto à micro-drenagem possam resultar em menores volumes a serem encaminhados à macrodrenagem.

Uma alternativa é o emprego de elementos de detenção temporária e conseqüentemente, de retardamento do escoamento, como os pavimentos permeáveis. Este trabalho pretende analisar os efeitos causados pelo emprego de pavimentos permeáveis na mitigação dos impactos à bacia hidrográfica e, da possibilidade de obtenção do princípio de “Impacto zero”.

No item seguinte apresenta-se uma compilação das principais medidas mitigadoras utilizadas em drenagem urbana.

3.2 Medidas Mitigadoras

Em junho de 1986 foi realizado em Henniker, New Hampshire, Estados Unidos, o evento intitulado: “Engineering Foundation Research Conference”, cuja finalidade foi rever o conhecimento e a experiência alcançados na questão da qualidade da água no tocante ao escoamento superficial direto desde o lançamento do Clean Water Act em 1972 pelo governo americano (ROESNER; URBONAS; SONNEN, 1988). Esta conferência deu origem ao Water Quality Act de 1987 que ocasionou mudanças de paradigmas na engenharia americana. Percebeu-se que o gerenciamento das águas de chuva deveria focar a prevenção dos impactos na quantidade e na qualidade da água, ou seja, não somente no controle das inundações urbanas, mas também na minimização dos impactos físicos, biológicos e químicos.

Ao longo dos anos, no gerenciamento da drenagem urbana tem-se procurado a redução na frequência e na severidade das inundações a jusante das bacias hidrográficas (SCHUELER, 1987). Isso, certamente demandou do meio técnico um esforço no sentido de propor medidas mitigadoras e/ou compensatórias inovadoras, na medida em que estas possuem enfoque diferente daquelas propostas no modelo higienista, pois atuam diretamente na qualidade da água e na quantidade de escoamento direcionado à macrodrenagem. Estas medidas são também conhecidas

como BMP's (URBONAS; STAHERE, 1993) ou SUDS (BUTLER; DAVIES, 2004). Em uma visão mais ampla, pode-se ainda afirmar que essas medidas podem ser divididas em duas categorias principais, são elas:

- medidas de controle estruturais e;
- medidas de controle não-estruturais.

As medidas de controle estruturais caracterizam-se por obras de engenharia que podem vir a alterar as características dos rios e diminuir os riscos a enchentes (TUCCI, 2007; CANHOLI, 2005).

As medidas não estruturais caracterizam-se por ações preventivas. São aquelas de caráter extensivo, com ações abrangendo toda a bacia, ou de natureza institucionais, administrativas ou financeiras, adotadas individualmente ou em grupo, espontaneamente ou por força de legislação, destinadas a atenuar os deflúvios ou adaptar os ocupantes das áreas potencialmente inundáveis a conviverem com a ocorrência periódica do fenômeno. Cabe ressaltar, que as medidas não estruturais atuam sempre em conjunto com as medidas estruturais. É imprescindível comentar ainda, que a implantação de medidas estruturais (obras) é fundamental no contexto das cidades atuais.

Na sequencia apresenta-se uma discussão das medidas de controle estruturais também chamadas de tecnologias compensatórias (NASCIMENTO; HELLER, 2005). Estas medidas podem ser classificadas em função de sua atuação na bacia hidrográfica em:

- medidas de controle na fonte (ASCE, 1992; BUTLER; DAVIES, 2004; BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005; POMPEO, 2000) ou distribuídas (TUCCI, 2007). Significa dizer que a água de chuva será controlada na fonte produtora do escoamento superficial. Estes dispositivos atuam diretamente sobre os lotes, praças, estacionamentos, empreendimentos de grande porte e podem estar localizados em um ponto da bacia ou pulverizados. São dispositivos de pequenas dimensões e que propiciam a infiltração e o armazenamento e;
- medidas de controle centralizado (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005) ou controle a jusante (URBONAS; STAHERE, 1993). São medidas de grande porte e que privilegiam o armazenamento rápido (bacias de retenção) ou por longos períodos (bacias de retenção).

As medidas de controle compensatórias têm por finalidade principal promover a infiltração e o armazenamento das águas de chuva. Com relação à infiltração podem-se apontar benefícios como a recarga das águas do subsolo, a redução do escoamento superficial e a melhoria da qualidade da água (ASCE, 1986). As medidas que promovem o armazenamento tem por finalidade principal aumentar os tempos de concentração nas sub-bacias onde são implantadas e, conseqüentemente os tempos de formação e trânsito da onda de cheia, diminuindo os picos dos hidrogramas. Como principais medidas pode-se citar:

- trincheiras drenantes;
- valas de infiltração;
- poços de infiltração;
- telhados armazenadores;
- microrreservatórios ou reservatórios individuais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005)
- pavimentos permeáveis;

A seguir apresenta-se uma compilação das principais medidas de controle na fonte, visto que o foco deste trabalho será uma delas, pavimentos permeáveis.

3.2.1 *Trincheiras drenantes*

As trincheiras de infiltração são elementos que podem ser instalados junto à superfície ou sob o solo a pequena profundidade. Para Urbonas e Roesner (1992), esse tipo de dispositivo deve ser projetado para bacias com área entre 20.000 m² e 40.000 m² e em locais cujo solo apresente alta permeabilidade e lençol freático não próximo à superfície. As trincheiras são técnicas compensatórias lineares (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005), geralmente implantadas junto a sistemas viários, estacionamentos, parques e jardins. Constituem-se em longas valetas implantadas a profundidades que podem variar entre 0,90 m e 3,70 m preenchidas de material granular e envoltas em uma camada de material fino ou geotêxtil (Figura 4) que fará o papel de filtro impedindo ou dificultando a colmatção da trincheira.

O material granular utilizado na trincheira tem a finalidade de armazenamento temporário, na medida em que a água de chuva ficará retida nos poros do material

granular. Esta brita deverá apresentar diâmetros entre 0,02 m e 0,07 m e ser livre de finos (URBONAS; ROESNER, 1992). Após o armazenamento a água deverá infiltrar no solo. Segundo (URBONAS; ROESNER, 1992) o tempo de esvaziamento de uma trincheira deve estar entre 48 e 72 horas.

Para permitir a verificação do funcionamento das trincheiras de infiltração podem ser construídos poços de observação que se constituem em tubos perfurados de PVC de diâmetro entre 0,10 m e 0,15 m apoiados em uma placa no fundo da trincheira e dotados de uma tampa para monitoramento (ROESNER; URBONAS; SONNEN, 1988).

No topo da trincheira deverá ser instalada camada de material vegetal para minimizar a contaminação do solo;

Figura 4 - Trincheiras de infiltração com poço de observação
Fonte: adaptado de Roesner; Urbonas e Sonnen (1988)

A seguir apresentam-se algumas vantagens e desvantagens desse tipo de dispositivo.

- Vantagens

- A infiltração das águas de chuva possibilita a redução do escoamento superficial lançado na rede de drenagem e, conseqüentemente;
- O aumento dos tempos de pico dos hidrogramas;
- Possibilidade de redução nas dimensões das redes de drenagem a jusante das trincheiras (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005);
- Fácil implantação;
- Baixo custo;
- Valorização paisagística;
- Preservação natural da recarga do lençol freático (SCHUELER, 1987);
- Melhora da qualidade da água (ASCE, 1986).

- Desvantagens

- Durante a construção devem ser tomados cuidados com a contaminação e entupimento da trincheira;
- As trincheiras deverão ser inspecionadas regularmente, principalmente após grandes chuvas, em virtude de possíveis represamentos dentro do reservatório (ASCE, 1992);
- A colmatção pode ocorrer em função do tipo de solo;
- Limitação quanto à permeabilidade do solo;
- Manutenção periódica e;
- Possibilidade de contaminação do lençol freático (SCHUELER, 1987).

O dimensionamento das trincheiras de infiltração pode ser feito a partir do descrito em Butler e Davies (2004) segundo dois métodos:

1) BRE Digest 365 (BRE, 1991)

O armazenamento do escoamento superficial para uma dada chuva crítica e período de retorno 10 anos, é dado por:

Armazenamento = volume de escoamento – infiltração durante a chuva

Se a chuva crítica tem duração D (h), então o armazenamento Va (m^3) é dado por:

$$Va = iA_iD - fa_{50}D \quad (1)$$

Na qual,

i = intensidade da chuva (m/h);

A_i = área impermeável (m^2);

f = taxa de infiltração do solo (m/h);

a_{50} =superfície efetiva da área para infiltração (m^2).

onde,

$$a_{50} = y(B_d + L) \quad (2)$$

Na qual,

y =profundidade efetiva (m);

B_d =largura (m);

L =comprimento (m).

Portanto, o volume de armazenamento na trincheira será dado por:

$$Va = yB_d L\mu \quad (3)$$

Na qual,

μ é a porosidade do material de preenchimento da trincheira.

Ainda de acordo com Butler e Davies (2004), a taxa de infiltração no solo deve ser suficiente para esvaziar pelo menos 50% do volume armazenado dentro de um período de 24 horas após o evento de chuva, critério este que não é acompanhado de explicações ou cálculos justificativos.

2) CIRIA 156 (BETTES, 1996)

Para um evento de chuva e considerando-se infiltração no solo a profundidade máxima da água será:

$$h_{m\acute{a}x} = a(\exp(-bD) - 1) \quad (4)$$

Na qual:

$$a = \frac{A_b}{P_e} - \frac{iA_i}{P_e f} \quad (5)$$

$$b = \frac{e}{\mu A_b} \quad (6)$$

onde,

D= duração da chuva (h);

A_b = área da base (m²);

P_e = perímetro da área de infiltração (m);

i= intensidade da chuva (m/h);

A_i = área impermeável onde o escoamento superficial será recebido (m²);

f= taxa de infiltração (m/h);

μ = porosidade do material de preenchimento da trincheira.

O tempo t, em horas, para esvaziamento de 50% do volume da trincheira será de:

$$t = \frac{\mu A_b}{f P_e} \ln \left[\frac{h_{m\acute{a}x} + \frac{A_b}{P_e}}{\frac{h_{m\acute{a}x}}{2} + \frac{A_b}{P_e}} \right] \quad (7)$$

3.2.2 Valas de infiltração

As valas de infiltração são as técnicas compensatórias mais antigas, sendo inicialmente utilizadas ao longo de ruas, rodovias e estradas rurais, com a finalidade de transportar a vazão afluente ao mesmo tempo em que facilitavam sua infiltração. Atualmente, as valetas ou valas de infiltração têm também outras conotações, como a minimização da área diretamente conectada, a diminuição da velocidade do escoamento que, por sua vez, favorece a infiltração no solo e deve ser menor que

0,30 m/s (BUTLER; DAVIES, 2004). A Figura 5 ilustra o mecanismo da vala de infiltração.

Figura 5 - Vala de infiltração
Fonte: adaptado de Urbonas e Stahre (1993)

Durante eventos de pequena magnitude, as valas também promovem a filtragem do escoamento superficial com a remoção de sólidos em suspensão e outros poluentes (URBONAS; ROESNER, 1992). Segundo Ellis (1992) apud Butler e Davies (2004), uma vala com comprimento entre 30 m e 60 m pode reter entre 60% e 70% de sólidos e entre 30% e 40% de metais, hidrocarbonetos e bactérias. Fletcher et al. (2002) apud Butler e Davies (2004) afirmam que experimentos com valas gramadas realizados na Austrália apresentaram redução na concentração total de sólidos em suspensão da ordem de 70% a 90% e na carga total de sólidos em suspensão de 60% a 90% e relevante redução em fósforo total e nitrogênio total.

Whalen e Callum (1988) apud Urbonas e Stahre (1993), afirmam que quando o solo adjacente à vala é poroso e apresenta alta taxa de infiltração, a remoção de poluentes das águas de chuva pode chegar a 80%. Entretanto, os autores enfatizam que na maioria das vezes essas porcentagens são menores e ressaltam a importância do nível do lençol freático ou da camada de solo impermeável, estar a pelo menos 1,20 m de profundidade abaixo do fundo da vala de infiltração.

As valas são elementos lineares assentados diretamente sob o solo adjacente e revestidos com vegetação. Para seu perfeito funcionamento e maior eficiência é necessário que, quando de seu projeto, sejam observados alguns detalhes. Para Butler e Davies (2004) a declividade superficial deve ser menor que 5% e no solo

adjacente permeável, os taludes laterais não devem ter inclinações maiores que 3:1, para facilitar a manutenção. A largura da base geralmente é de 1 m e a profundidade pode variar entre 0,25 m e 2 m.

Urbonas e Stahre (1993) afirmam que a fim de facilitar a infiltração, a declividade longitudinal das valas deve ser a mínima possível, e não deve ultrapassar os 2% e ainda, que os taludes laterais devem ter inclinação (h:v) 4:1 ou devem ser mais abatidos, ou seja, da ordem de 6:1, 8:1 ou maiores. De acordo com estes autores, para valas trapezoidais deve-se adicionar metade da largura do fundo a profundidade, constante na equação apresentada adiante, para computo do aumento na distância horizontal na seção transversal da valeta. Mais adiante será feita uma descrição do dimensionamento de uma valeta.

Em terrenos com declividade maior que 2% podem ser instaladas pequenas barragens ao longo do trecho para promover a infiltração, a reservação temporária e prevenir a erosão;

A seguir apresentam-se algumas vantagens e desvantagens desse tipo de dispositivo.

- Vantagens

- Eficiência na diminuição dos picos de cheias, com o aumento no tempo de concentração em consequência da baixa velocidade;
- Eficiência na retirada de poluentes do escoamento superficial;
- Recarga do lençol freático;
- Fácil execução;
- Baixo custo de projeto e construção;
- Integram a paisagem urbanística.

- Desvantagens

- Não deve ser usada na ocorrência de grande fluxo de água que acarreta alta velocidade e pode acarretar erosão na vala;
- Não deve ser implantada em terrenos íngremes ou onde o lençol freático estiver a menos de 1,20 m abaixo do fundo da vala;

- Em terrenos cujo solo apresenta baixa permeabilidade as valas de infiltração serão menos eficientes;
- Risco de entupimento, colmatção;
- Necessidade de manutenção periódica, do contrário, seu funcionamento será prejudicado.
- Facilitam o acúmulo de lixo.

O dimensionamento de valas de infiltração pode ser feito a partir da equação padrão para dimensionamento de canais abertos, como a fórmula de Manning, por exemplo. O comprimento da vala de infiltração pode ser definido a partir da utilização da fórmula proposta por Wanielista et al. (1986).

$$L = \frac{K_u (K Q_e^{5/8} S_1^{3/16})}{n^{3/8} f} \quad (8)$$

onde,

L = comprimento da vala de infiltração (m);

$K_u = 77,3$

$K = 10.000$ (Ve/Hor), sendo Ve e Hor as inclinações dos taludes (Ve: Hor) da vala;

Q_e = vazão de entrada na vala (m^3/s);

S_1 = declividade longitudinal da vala (m/m);

n = coeficiente de Manning das paredes da vala;

f = taxa de infiltração do solo saturado (cm/h).

Essa equação apresenta uma inconsistência pois quando a declividade é muito baixa, próxima de zero, o comprimento da valeta também tende a zero (URBONAS; STAHLRE, 1993). Como isto não ocorre na prática, quando a declividade tende a zero deve-se considerar a valeta como uma bacia de infiltração, considerando-se a percolação no solo, pois nesse caso a vazão também tenderá a ser zero.

3.2.3 Poços de infiltração

Os poços de infiltração são dispositivos instalados localmente cuja finalidade principal é infiltrar parte do escoamento superficial proveniente das águas de chuva.

Devem ser instalados em locais onde o solo seja permeável, ou onde a camada superficial não apresente permeabilidade significativa, mas as camadas mais profundas, sim. O nível do lençol freático deve estar a pelo menos 1,20 m abaixo do fundo do poço para garantia de que haverá infiltração e ao mesmo tempo, que não haverá contaminação do lençol pelas águas da chuva.

Assim como as técnicas descritas nos itens anteriores, os poços têm por finalidade a diminuição dos picos de cheias, com o aumento no tempo de concentração, além da recarga do lençol freático.

São poços abertos no solo, revestidos com geotêxtil ou circundados por uma camada de solo granular, cuja finalidade é reter os finos que podem colmatar os poros dos poços de infiltração mais rapidamente. Esses poços são preenchidos com material drenante e poroso, como a brita, por exemplo.

As águas de chuva podem ser introduzidas nos poços, superficialmente ou por meio de redes de drenagem (Figura 6).

Um dos grandes inconvenientes desta técnica é a tendência à colmatação devido às partículas em suspensão carregadas pelas águas de chuva. Caso ocorra o entupimento da estrutura, o material drenante deve ser removido e substituído (URBONAS; STAHRÉ, 1993).

Figura 6 - Poço de infiltração com dois tipos de introdução da água nos poços, por escoamento direto e por rede de condutos

Fonte: Adaptado de Baptista; Nascimento e Barraud (2005)

A Figura 7 ilustra a técnica do poço de infiltração instalado em uma área de lazer na região de Lyon, na França.

Figura 7 - Poço integrado a uma área de lazer infantil, região de Lyon, França
Fonte: Baptista; Nascimento e Barraud (2005)

A seguir apresentam-se algumas vantagens e desvantagens desse tipo de dispositivo.

- **Vantagens**

- Fácil execução;
- Baixo custo de implantação;
- Facilmente adaptável à paisagem urbana;
- Promove o aumento dos tempos de concentração e o abatimento dos picos das cheias;
- Promove a recarga do lençol freático.

- **Desvantagens**

- Possível colmatção do poço em função do volume de sedimentos carregados pelo escoamento superficial;
- Manutenção periódica;
- Possibilidade de contaminação do lençol freático. Baptista; Nascimento e Barraud (2005), afirmam que se deve procurar conhecer a origem das

águas a serem infiltradas para que se possa relacionar o risco de contaminação.

3.2.4 Telhados armazenadores

Os telhados armazenadores ou também chamados de “telhados verdes” (Figura 8), são estruturas que podem retardar provisoriamente as águas de chuva e, dessa forma permitir seu encaminhamento a rede de drenagem ou a outro exutório posteriormente a chuva, ou durante a mesma, na medida em que o solo satura e sua capacidade de armazenamento diminui. Sua capacidade de armazenamento é limitada às dimensões do telhado. De qualquer maneira, este dispositivo atenua os efeitos causados pelo escoamento superficial contribuindo para o amortecimento das vazões afluentes ao sistema de drenagem de seu entorno.

Os telhados podem ser estruturas convencionais, porém com declividades baixas, concebidos com vegetação ou não.

Cabe ressaltar a necessidade de consideração de carga adicional no dimensionamento estrutural do telhado, devido às tensões causadas pela água. Maskell e Sherriff (1992) apud Butler e Davies (2004) afirmam que a utilização de telhados armazenadores pode reduzir o pico do escoamento entre 30 e 40%. Entretanto, não reduzem significativamente as concentrações de poluentes.

Figura 8 - Telhado vegetalizado na cidade de São Paulo
Fonte: Acervo Rodrigo Martins Lucci

A seguir apresentam-se algumas vantagens e desvantagens desse tipo de dispositivo.

- **Vantagens**

- Área vegetada que permite volume significativo de armazenamento;
- Promove a evapo-transpiração;
- Possibilita melhora na qualidade da água;
- A água retida pode ser reutilizada para rega do jardim, por exemplo.
- Pode ser implantado em novos empreendimentos ou em construções existentes, desde que seja realizada a verificação estrutural e de impermeabilização (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005);
- Retarda os tempos de pico.

- **Desvantagens**

- Custo significativo no caso de implantação em telhados existentes e caso haja necessidade de reforço estrutural;
- Limitação da área de armazenamento em função do espaço disponível;
- Grande dificuldade e custo para manutenção da estrutura impermeável e da vegetação desenvolvida;
- Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas;
- Limitações estruturais e arquitetônicas podem impedir seu uso.

O dimensionamento hidráulico dos telhados armazenadores pode ser efetuado de maneira similar aos telhados clássicos a partir do disposto na NBR 10844/89 e de algumas considerações específicas relacionadas à infiltração, quando da utilização de telhados vegetados. Segundo Baptista; Nascimento e Barraud (2005) devem ser analisados os seguintes parâmetros:

- Número de condutores verticais;
- Vazão defluente;
- Altura de água a ser armazenada;
- Verificação estrutural a partir da altura de água considerada;
- Dispositivos de saída.

3.2.5 Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis são técnicas compensatórias em drenagem urbana que podem ser utilizadas principalmente em estacionamentos e ruas de tráfego leve (condomínios residenciais), bem como em armazéns e arenas de esportes, por exemplo, (ASCE, 1992).

Em virtude de resultados muito satisfatórios obtidos de experimentos realizados na França desde a década de 80, é possível encontrar este tipo de pavimento também em vias de tráfego médio a alto, como nas vias de contorno da cidade de Bordeaux (CERTU, 1998 apud BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Essas estruturas, quando analisadas sob a ótica da engenharia hidráulica, têm por finalidade principal a redução do escoamento superficial agindo diretamente sobre o hidrograma da bacia onde se encontram instaladas, além de diminuir a área impermeável diretamente conectada, e, geralmente apresentam maior eficiência durante chuvas de pequena intensidade (ASCE, 1992).

Pode-se afirmar ainda, que os pavimentos permeáveis podem promover a recarga do lençol freático e a melhora significativa da qualidade da água que infiltra pelo subsolo, apesar de apresentar a possibilidade de contaminação do lençol freático, provavelmente desprezível (SCHUELER, 1987). Cabe nesse caso uma crítica no sentido de que, o possível risco de contaminação do lençol freático, mesmo que desprezível deve ser considerado como uma consequência importante. Este depende muito das condições de uso do solo que variam de local para local e, é claro, da profundidade do lençol freático. Portanto, a afirmação de que a contaminação do lençol freático é desprezível, é um tanto generalista.

Na engenharia de transportes os revestimentos permeáveis são eficientes no controle da derrapagem, da aquaplanagem e do spray (ASCE, 1992; SCHUELER, 1987), na medida em que permitem a percolação dentro da estrutura do pavimento eliminando a lâmina d'água sobre a camada superficial, ou seja, de revestimento. Ainda com enfoque geológico/geotécnico, os pavimentos permeáveis auxiliam no controle da erosão do solo urbano (SCHUELER, 1987).

O pavimento para ser considerado permeável tem que ter vazios interligados.

Existem vários tipos de revestimentos que podem ser considerados permeáveis. Os mais comumente encontrados são os blocos de concreto, que podem ser vazados ou não, e o revestimento poroso, também conhecido no Brasil, como concreto asfáltico poroso ou, ainda, camada porosa de atrito (CPA). Entretanto, cabe aqui a diferenciação para dois termos usualmente mencionados na bibliografia corrente, são eles: pavimentos permeáveis e pavimentos porosos.

Entende-se por **revestimento permeável** aquele cujo material de fabricação não é necessariamente poroso, mas que possibilita a penetração da água entre ele (BUTLER; DAVIES, 2004). Isso ocorre com os blocos de concreto, ou seja, a água infiltra por entre as juntas ou por seus grandes vazios, que podem ser preenchidos com grama, areia ou brita, percola até atingir a camada inferior de subleito ou é direcionada para o sistema de drenagem subsuperficial e daí para o sistema de drenagem urbana.

O **revestimento poroso**, por sua vez, é aquele que permite à água penetrar por entre seus poros (BUTLER; DAVIES, 2004). Urbonas e Stahre (1993) discorrem sobre o assunto e afirmam que o termo pavimento permeável representa três tipos de superfícies: o concreto poroso e o asfalto poroso, ambos executados similarmente aos pavimentos convencionais, exceto pela fração fina dos agregados e da areia que não devem compor a mistura do pavimento em excesso; e o terceiro que corresponde aos blocos de concreto.

Com relação aos blocos de concreto (Figura 9) existem inúmeros tipos disponíveis no mercado brasileiro, blocos maciços, blocos vazados e blocos permeáveis. Estes apresentam capacidade de colmatção (obstrução) mais lenta quando comparados ao revestimento poroso. Apresentam bom desempenho em qualquer condição climática, entretanto podem movimentar-se ou desalinhar-se quando submetidos a tráfego frequente de automóveis (URBONAS; STAHRÉ, 1993).

Figura 9 - Blocos intertravados de concreto

Fonte: site www.oterprem.com.br acessado em 09/04/2010

Os pavimentos permeáveis em uma primeira abordagem podem ser de dois tipos:

- Infiltrantes - quando se pretende que a água oriunda das chuvas penetre na camada de pavimento e infiltre na camada de subleito (Figura 10);
- Armazenadores – quando se pretende que a água da chuva permaneça retida dentro de um reservatório e seja despejada na micro-drenagem por meio de condutos projetados para essa finalidade.

O armazenamento das águas de chuva sob a camada de revestimento permeável pode prover a evaporação de até 30% do volume total de água infiltrada (CIRIA, 2000). Pratt et al. (2002) apud Butler e Davies (2004), afirmam que as taxas de infiltração nos pavimentos permeáveis, quando novos, podem ser da ordem de $2,8 \times 10^{-2}$ cm/s e com o passar dos anos baixar para $0,28 \times 10^{-2}$ cm/s.

A partir dos dois tipos citados anteriormente pode-se abrir um leque de opções que dependem obviamente, das funções esperadas da estrutura e da capacidade de infiltração do solo de subleito. Schueler (1987) preconiza que os pavimentos permeáveis sejam projetados considerando-se três categorias distintas. Estas dependem basicamente da capacidade de armazenamento da camada granular de reservatório implantada sob o revestimento e do grau de infiltração do solo adjacente. **A capacidade de armazenamento da camada granular, também chamada de estrutura reservatório é determinada a partir da porosidade dos materiais que compõem esta camada e será objeto de detalhamento neste trabalho, em capítulo posterior. As três categorias de projeto, como mostra a Figura 10 são:**

- Sistema de infiltração total – neste sistema as águas de chuva infiltram totalmente no solo. **A camada granular de reservatório deve ser dimensionada suficientemente para absorver o volume da chuva total de projeto descontada a porcentagem de água que infiltra durante a intempérie.** O sistema de infiltração total deve ser dimensionado para suportar eventos menores e iguais à chuva de projeto e deverá ter capacidade de controle da qualidade da água, do pico de cheia e do volume de chuva.
- Sistema de infiltração parcial – neste sistema uma parcela da contribuição infiltra no solo e a outra é coletada em um sistema de drenagem auxiliar. Este sistema apresenta maior eficiência para chuvas com períodos de retorno pequenos. Em virtude das características do material de subleito e capacidade de infiltração, por vezes a contribuição total não consegue infiltrar totalmente na camada de subleito ocasionando a necessidade de implantação de um sistema auxiliar de drenagem. Este sistema de drenagem deve, por sua vez, ser dimensionado para chuva de dois anos, e conseqüentemente, todas as chuvas inferiores a dois anos infiltrarão no solo, antes de se dirigir ao sistema de drenagem. Nesse caso o controle da qualidade da água é bastante eficaz (SCHUELER, 1987).
- Sistema de infiltração para controle da qualidade da água – este sistema não é dimensionado para armazenar toda a água de chuva, mas somente a parcela inicial da chuva que é responsável pela maior aglutinação de poluentes. Em virtude disso, o reservatório para controle da qualidade da água necessitará de uma capacidade de armazenamento menor resultando em menores custos de implantação. Enquanto isso, a chuva excedente não será tratada e deverá ser direcionada ao sistema de drenagem convencional.

Vista Superior

Vista Lateral

Figura 10 - Sistemas de pavimentos permeáveis com infiltração

Fonte: Adaptado de Schueler (1987)

Para a implantação do sistema de infiltração total, é importante observar que o nível do lençol freático deve estar a pelo menos 1,20 m abaixo da superfície do pavimento (URBONAS; ROESNER, 1992; URBONAS; STAHERE, 1993), caso contrário seu funcionamento será prejudicado e o objetivo não será alcançado, além da possibilidade de contaminação do lençol freático e do solo.

Um ponto a ser explorado relativo à implantação dos pavimentos permeáveis relaciona-se à questão do entupimento ou colmatagem das camadas superficiais e de reservatório. Alguns autores Urbonas e Stahre (1993), Schueler (1987), CIRIA (2000), Butler e Davies (2004) e Baptista et al. (2005) são unânimes quando citam a necessidade de manutenção, entretanto a periodicidade varia de autor para autor.

Schueler (1987), por exemplo afirma que o pavimento pode ser obstruído parcialmente ou não, até durante a execução da obra, o que implica na necessidade de cuidados durante sua execução, com a manutenção de sedimentos fora do pavimento antes, durante e depois da construção. Em sua opinião a manutenção deve ser realizada com a utilização de equipamentos a vácuo, pelo menos quatro vezes ao ano, ou seja, a cada três meses. CIRIA (2000) por outro lado propõe que a limpeza a vácuo seja realizada duas vezes por ano, Urbonas e Stahre (1993) por sua vez, afirmam que o concreto ou asfalto poroso tende a obstruir e selar entre um

e três anos necessitando, portanto, de manutenção periódica, mas não especificam uma periodicidade e, que mesmo assim ainda há uma possibilidade de selagem da superfície, o que acarreta a obsolescência do pavimento no contexto da hidráulica.

A seguir apresentam-se algumas vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis.

- **Vantagens**

- Permite a recarga do lençol freático;
- Melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo das encaminhadas para o sistema de drenagem;
- Reduz significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia onde o dispositivo está instalado;
- Controle da erosão do solo;
- Filtragem de poluentes;
- O pavimento poroso durante as noites chuvosas promove ofuscamento reduzido, quando comparado com o pavimento convencional (SCHUELER, 1987);
- Economia em função da redução ou eliminação das guias e sarjetas e de sistema de drenagem (SCHUELER, 1987);
- Diminuição do ruído e;
- Custos similares ao do pavimento convencional.

- **Desvantagens**

- Possibilidade de contaminação do lençol freático;
- Necessidade de inspeções regulares para verificar a eficiência dos pavimentos;
- Mão de obra qualificada para execução da obra com a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento;
- Manutenção periódica com lavagem à vácuo;

- Em caso de obstrução (entupimento) tanto da camada superficial quanto da estrutura reservatório, a reabilitação do pavimento é difícil e cara (COLLINS; HUNT; HATHAWAY, 2007).

O dimensionamento dos pavimentos permeáveis, bem como o tempo de esvaziamento da camada reservatório serão objeto de discussão em capítulo posterior, na medida em que não há consenso sobre esses assuntos. Urbonas e Stahre (1993) afirmam que o tempo de esvaziamento do reservatório deve ser entre 6 e 12 horas, enquanto Schueler (1987) afirma que deve ser no máximo de 72 horas. Isto obviamente, está relacionado a capacidade de armazenamento da camada reservatório no caso de chuvas sucessivas. Portanto, o ideal é que a água não fique retida tempo demais dentro da estrutura.

A seguir apresenta-se uma resenha dos experimentos similares ao aqui proposto.

Dierkes et al. (2004) em seu trabalho "Pollution, retention, capability and maintenance of permeable pavements" estudaram quatro tipos de pavimentos permeáveis compostos por blocos intertravados como podem ser vistos na Figura 11 e na Figura 12. Na Figura 11b pode-se ver um dos blocos analisados executado em concreto poroso formado por duas camadas, sendo que a camada de topo com 0,02 m de espessura tem a finalidade de filtrar os poluentes que podem ser facilmente limpos evitando a infiltração dos mesmos. Com relação ao comportamento mecânico dos pavimentos, a superestrutura deve apresentar capacidade de suporte adequada enquanto a água estiver armazenada temporariamente em sua camada de sub-base. De acordo com a norma alemã DIN 18501 (1982), a resistência média a compressão de blocos de concreto deve ser maior igual a 60 N/mm². Entretanto em pavimentos de concreto poroso em virtude dos vazios que promovem a infiltração, a resistência a ser alcançada é da ordem de 45 N/mm².

Figura 11 - Sistemas de pavimentos permeáveis a) blocos com canais laterais e b) blocos de pavimentos porosos

Fonte: adaptado de Dierkes et al. (2004)

Figura 12 - Sistemas de pavimentos permeáveis gramados: a) blocos com pequenas aberturas e b) blocos com juntas amplas

Fonte: Adaptado de Dierkes et al (2004)

A capacidade de infiltração dos pavimentos permeáveis na Alemanha deve ser maior ou igual a 270 l/s*ha (FGSV, 1998) que reporta a uma condutividade hidráulica de $2,7 \times 10^{-5}$ m/s. O projeto das camadas de pavimento no tocante a capacidade de suporte da sub-base foi elaborado de acordo com as diretrizes vigentes naquele país, para o dimensionamento de superestruturas de tráfego (FGSV, 2001).

O estudo foi subdividido em três partes, a primeira parte constou de experimentos em laboratório para verificação do comportamento e da capacidade de retenção de poluentes dos diferentes tipos de pavimentos estudados. Na segunda parte do estudo foi analisada a concentração de poluentes de um pavimento poroso sem camada de filtro, instalado em 1985 em um supermercado em Stadtohn, Alemanha. E finalmente, na terceira etapa foi testado um novo equipamento de limpeza projetado para recuperar a capacidade de infiltração dos pavimentos porosos.

Resumidamente, o experimento foi realizado em laboratório com a utilização de protótipos construídos em aço inox com 40 cm de comprimento por 60 cm de altura (Figura 13). Esses protótipos foram abastecidos por meio de sprinklers, com escoamento superficial sintético com ph igual a 5 e adicionado a ele, metais pesados dissolvidos. As concentrações dos metais foram obtidas na literatura e multiplicadas por 10 para que o estudo fosse conduzido sob as piores condições.

Figura 13 - Equipamento de teste com um pavimento poroso com estrutura reservatório conforme as normas alemãs

Fonte: Adaptado de Dierkes et al. (2004)

Foram simulados 4000 mm de precipitação que correspondem a 5 anos de chuva na Alemanha. Como conclusão, pôde-se afirmar que os blocos de concreto cuja juntas apresentaram largura maior (Figura 12b) foram os responsáveis pela maior infiltração de metais, enquanto os blocos gramados (Figura 12a) apresentaram maior eficiência no recolhimento de metais. A concentração de chumbo e de cobre retidas na estrutura foi maior do que a de zinco e de cádmio. O preenchimento das juntas dos pavimentos dotados de juntas largas ou de aberturas para infiltração da água deve ser realizado com material de preenchimento adequado, pois do contrário os poluentes podem adentrar o subsolo. Portanto, os

autores afirmam que blocos intertravados de concreto poroso podem ser utilizados por um período de aproximadamente 50 anos sem a possibilidade de presença de metais. Como o objetivo deste trabalho não é discutir a questão da qualidade da água e sim, da quantidade de escoamento superficial, não se fará comentários aprofundados a cerca desta etapa.

Na etapa realizada em campo foi ensaiado um estacionamento cujo pavimento era formado de blocos de concreto poroso com juntas preenchidas entre 0,001 m e 0,003 m, assentados sobre uma camada de 0,05 m a 0,08 m (com material de granulometria entre 0,002 m e 0,005 m) de berço e camada de sub-base com 0,20 m a 0,25 m de espessura de brita (0,008 m a 0,045 m). A taxa de infiltração considerada foi de 2×10^{-4} m/s nas extremidades do estacionamento e de $4,4 \times 10^{-5}$ m/s no centro. Quinze anos após a construção do estacionamento, o pavimento permitia a infiltração de toda a água de chuva recebida. E o aporte de metais pesados e hidrocarbonetos foi muito baixo. Concluindo-se que a concentração de poluentes encontrada no subsolo não afeta seriamente o solo e, nem tão pouco, o lençol freático.

A terceira etapa é relacionada a necessidade de manutenção desse tipo de pavimento com a lavagem realizada por meio de equipamento de alta pressão. Para tanto, foi desenvolvido um protótipo e avaliada sua eficiência na limpeza de um pavimento poroso executado em uma escola na Alemanha. Este pavimento foi executado em 1996 em uma área de 1500 m², com a colocação de blocos intertravados de concreto poroso com dimensões de 0,10 m x 0,20 m x 0,08 m e com uma camada filtrante. Foram assentados sobre uma camada de pó de pedra com granulometria entre 0,002 m e 0,005m e suas juntas preenchidas com uma massa de basalto cuja espessura variou entre 0,001 m e 0,003 m.

A capacidade de infiltração do pavimento foi medida antes e depois da lavagem a partir de um infiltrômetro. Este constatou que a capacidade de infiltração estava abaixo de 1×10^{-7} m/s, o que confirmou o completo entupimento do pavimento. Após a lavagem a capacidade de infiltração do pavimento foi medida nos mesmos lugares anteriores e verificou-se que estava entre $1,54 \times 10^{-4}$ m/s e $5,28 \times 10^{-4}$ m/s, valores muito mais altos do que os exigidos na Alemanha, que são da ordem de $2,70 \times 10^{-5}$ m/s. Finalmente, pode-se afirmar que pavimentos permeáveis sofrem com o entupimento e portanto, necessitam de manutenção periódica, entretanto, este

estudo comprova que após a limpeza a capacidade de infiltração que anteriormente era de 1×10^{-7} m/s passa a valores maiores que $1,50 \times 10^{-4}$ m/s e o pavimento volta a condição original.

Cabe comentar, que o estudo relatado não se ateve a analisar a mitigação promovida no sistema de drenagem em decorrência da instalação dos pavimentos porosos, mas demonstrou positivamente e numericamente que volumes de água consideráveis podem ser absorvidos por este tipo de material promovendo, com certeza, o abatimento dos picos de vazão na bacia hidrográfica onde se encontram inseridos.

Collins; Hunt e Hathaway (2007) em seu trabalho “ Evaluation of various types of permeable pavement with respect to water quality improvement and flood control” tiveram como objetivo avaliar e comparar as diferenças entre o pavimento permeável e o convencional com relação à qualidade da água e à redução de escoamento superficial, avaliar as diferenças existentes entre os quatro tipos de pavimentos no tocante a qualidade da água e comparar as diferenças na redução do escoamento superficial dos quatro tipos de pavimentos implantados em um estacionamento na cidade de Kinston, Carolina do Norte nos Estados Unidos. Cada módulo foi implantado com área de 111,50 m², além de outros dois, de asfalto convencional construídos adjacentes aos permáveis, com a mesma área.

Os quatro pavimentos estudados foram:

- Concreto poroso (CP);
- Blocos intertravados de concreto permeável (BCP) com 8,5% de espaços vazios (peças de concreto SF-Kooperation Rima);
- Blocos intertravados de concreto permeável (BCP) com 12,9% de espaços vazios (peças de concreto ConPave Octabrick) e;
- Blocos de concreto vazados preenchidos de areia (BCV).

A Figura 14 ilustra os pavimentos estudados por Collins et al. (2007).

Figura 14 - Seções de pavimentos permeáveis consistindo (da esquerda para direita) de concreto poroso, blocos intertravados Octabrick, blocos vazados de concreto e blocos de concreto Rima

Fonte: Adaptado Collins; Hunt e Hathaway (2007)

Os quatro módulos apresentaram uma camada granular de reservação na qual as porcentagens de cada material foram baseadas nas especificações dos fabricantes.

A camada granular foi dimensionada para suportar um tráfego de aproximadamente 60 veículos de passeio por dia.

Os pavimentos BCP e BCV foram dimensionados pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis da AASHTO para uma vida útil de 10 anos e para um número de repetições do eixo padrão (N_R) igual a $3,8 \times 10^2$. Este método estabelecido de maneira empírica em meados da década de 50 nos Estados Unidos apresenta a relação entre repetições de cargas com a espessura das camadas e a perda de qualidade de rolamento (BALBO, 2005).

As espessuras das camadas são definidas a partir da determinação dos números estruturais necessários sobre o subleito (SN_{R3}), a sub-base (SN_{R2}) e a base (SN_{R1}).

$$D_1 = \frac{SN_{R1}}{a_1} \quad (9)$$

Entende-se por número estrutural do pavimento (SN), um número que retrata a capacidade estrutural de um pavimento, necessária para certa combinação de

suporte do subleito, número total de repetições de um eixo-padrão de 80 kN, serventia para a vida útil de projeto e condições ambientais (BALBO, 2005). O número estrutural pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$SN_R = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad (10)$$

Na qual:

a_i = coeficiente estrutural da i -ésima camada;

D_i = espessura (em polegadas) da i -ésima camada;

m_i = coeficiente de drenagem da i -ésima camada.

O coeficiente de equivalência estrutural de um material que compõe uma camada representa uma medida da capacidade relativa do material para atuar como componente estrutural de certo pavimento, dissipando as pressões sobre as camadas inferiores. Esses valores podem ser obtidos em tabelas elaboradas pela AASHTO a partir de propriedades mecânicas dos pavimentos. No presente artigo os coeficientes de equivalência estrutural considerados para determinação das espessuras das camadas foram: bloco preenchido com areia/brita (0,20), camada de assentamento de brita (0,07) e sub-base granular (brita) (0,14).

Este método propõe ainda, um coeficiente para as camadas do pavimento definido em função das características drenantes dos materiais que o compõem (m_i). A qualidade de drenagem é definida em função do tempo necessário para a remoção da água das camadas granulares do pavimento. A qualidade é classificada como excelente, em duas horas; boa, em um dia; regular, em uma semana; pobre, em um mês e muito pobre quando a água acumulada não é drenada.

No presente artigo o coeficiente m foi considerado igual a 1, para moderada drenagem e camada de subleito frequentemente saturada, portanto, qualidade de drenagem pobre, segundo especificação da AASHTO. O método da AASHTO propõe espessuras mínimas de camadas em função do número de repetições de carga do eixo padrão adotado no projeto como ponto de partida da solução. A partir do número de repetições do eixo padrão calcula-se SN de projeto que deve ser maior ou igual ao SN necessário, calculado a partir das espessuras admitidas inicialmente.

O dimensionamento dos pavimentos levou ainda em consideração as questões hidráulicas relativas a capacidade de armazenamento que deveria ser suficiente

para armazenar pelo menos uma chuva de 89 mm para uma camada granular de 0,25 m de espessura e porosidade igual a 35%. A chuva considerada foi um pouco menor do que a chuva de 24 horas com período de retorno igual a 2 anos da cidade de Kinston, que é da ordem de 96,50 mm. Como o solo de subleito não apresentava capacidade significativa de infiltração foram instalados drenos subterrâneos no ponto baixo de cada módulo permeável. Estes drenos constituídos por tubos perfurados de plástico corrugado de diâmetro 10 cm percorreram toda a extensão do estacionamento (Figura 15).

Todos os módulos foram isolados de forma a se evitar que a água de chuva circulasse entre eles. Para o isolamento entre os módulos foi instalada uma membrana de plástico nas laterais de cada um, desde a interface com o subleito até o topo do pavimento. Cabe ressaltar que a membrana plástica foi executada **somente nas laterais** e não no fundo de cada módulo.

Figura 15 - Seção transversal do estacionamento
Fonte: Adaptado de Collins; Hunt e Hathaway (2007)

O escoamento superficial que não infiltrou foi coletado em bocas de lobo e direcionado a uma caixa de monitoramento. Da mesma forma, o escoamento subsuperficial foi também coletado nesta caixa onde quatro vertedouros mediram as taxas de fluxo infiltrado pelos pavimentos. Os autores puderam perceber que todos os tipos estudados de pavimento permeável quando comparados com o pavimento asfáltico convencional acarretaram redução significativa no volume de escoamento superficial para os 14 eventos monitorados no estudo (Tabela 3). Entretanto,

observou-se também, que existem diferenças entre os tipos analisados (Tabela 4). O volume de escoamento superficial do bloco vazado de concreto preenchido de areia foi muito menor do que o volume de água infiltrado quando comparado ao pavimento asfáltico convencional.

Tabela 3 - Taxa média de redução de escoamento superficial do pavimento permeável em relação ao pavimento asfáltico

Pavimento	CP	BCP1 (12,9%)	BCV	BCP2 (8,5%)
Taxa média de redução de escoamento superficial (%)	99,40	92,19	93,91	98,66

Fonte: Adaptado de Collins; Hunt e Hathaway (2007)

CP- concreto poroso - infiltração

BCP1-12,9% de espaços vazios - infiltração (marca Octabrick) - BCV – blocos de concreto vazados - infiltração

BCP2 – 8,5% de espaços vazios – infiltração (marca Rima)

Collins; Hunt e Hathaway (2007) afirmam que seus resultados preliminares já apontam que os BCV e os BCP1 apresentam alto grau de armazenamento no que diz respeito a redução do volume total precipitado. Quando comparados os picos de vazão, as diferenças entre os tipos de materiais continuam existindo, por exemplo, o BCV apresentou a maior redução no pico de vazão enquanto o bloco intertravado de concreto com 8,5% de vazios (BCP2) apresentou a menor redução, por evento de chuva. A Tabela 4 a seguir ilustra os resultados obtidos.

Tabela 4 - Redução total do volume de escoamento superficial do pavimento permeável em comparação ao asfalto

Chuva (mm)	Redução do volume total de escoamento superficial em relação ao asfalto (%)			
	CP	BCP1 (12,9%)	BCV	BCP2 (8,5%)
6,1	52,7	78,4	97,9	27,2
14,2	49,4	51,1	69,4	18,2
30,0	12,8	35,0	48,5	4,8
Taxa média (n=14)	29,8	48,6	65,2	11,2

Fonte: Adaptado de Collins; Hunt e Hathaway (2007)

Os autores ressaltam que, em virtude da proximidade entre os eventos de chuva, a capacidade de armazenamento dos pavimentos permeáveis torna-se reduzida, e que inicialmente os dados coletados sugerem que a redução do pico de vazão pode eventualmente, depender do tempo entre cada evento, assim como, do total precipitado e da intensidade da chuva. Os resultados obtidos preliminarmente relacionados ao pico de vazão podem ser vistos na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Taxas de pico de vazão do escoamento superficial do asfalto e de infiltração dos pavimentos permeáveis

Chuva (mm)	Redução do pico de vazão em relação ao asfalto (%)			
	CP	BCP1 (12,9%)	BCV	BCP2 (8,5%)
6,1	95,3	99,4	100	91,6
14,2	89,9	93,5	95,9	85,7
27,4	68,4	66,0	70,2	54,5
49,3	27,7	32,1	42,9	26,5
Taxa média (n=26)	76,4	82,0	86,6	67,1

Fonte: adaptado de Collins; Hunt e Hathaway (2007)

Com relação a este estudo, cabe comentar a ausência de detalhes relacionados às questões de dimensionamento hidráulico do dispositivo, mais precisamente do reservatório, pois não fica claro qual o período de retorno e a duração da chuva considerados, e porque esses ou outros critérios foram adotados. Em outras palavras, os pesquisadores não esclarecem se foi considerada a combinação intensidade e duração mais crítica, que poderia exceder a capacidade do reservatório. Não comentam também a duração dos 14 eventos monitorados.

A duração da chuva e o período de retorno estão relacionados à intensidade da precipitação, quanto menor a duração maior a intensidade da chuva para um dado período de retorno. Da mesma forma, o solo de subleito foi caracterizado como sendo pobre para drenagem, entretanto, certa parcela de escoamento infiltrou, outra evaporou e outra ficou retida nos poros do pavimento. Na medida em que se permitiu a infiltração, pequena que fosse, perdeu-se a oportunidade de comprovar **efetivamente** as taxas de mitigação promovidas pela estrutura reservatório.

Schluter; Spitzer e Jefferies (2004) em seu estudo “Performance of Three Sustainable Urban Drainage Systems in East Scotland” descrevem as experiências realizadas com a implantação de três “sistemas sustentáveis de drenagem urbana”

na Escócia. Os sistemas compunham-se de: (a) pavimento poroso no estacionamento do Royal Bank of Scotland em Edinburgh, (b) um filtro de drenagem na estrada junto a Lang Stracht Aberdeen e (c) sistemas sustentáveis de drenagem urbana regionais em Dunfermline Eastern Expansion.

Neste estudo avaliou-se o desempenho dos três modelos no tocante a porcentagem de escoamento superficial, perda inicial do escoamento superficial, redução da chuva mensal e tempo de retardo. Foram analisados também resultados relacionados à qualidade da água, entretanto estes não serão tratados aqui. Os autores afirmam que os resultados mostraram-se satisfatórios com relação à atenuação de picos de vazão. Será realizada aqui uma análise crítica somente do experimento realizado com pavimento poroso (a), pois integra o objetivo deste trabalho.

O estacionamento, monitorado durante um período de seis meses, com área de 6200 m² foi implantado em pavimento poroso, composto por uma camada de sub-base selada e oito tubos perfurados com diâmetro de 15 cm responsáveis pela drenagem de toda a área. Durante o monitoramento a porcentagem de vazão de saída dos eventos monitorados, ou seja, aquela lançada no sistema de drenagem, ficou entre 14,2% e 79,5% com uma média de 46,5%, dependendo da duração da chuva, da chuva total e de precipitações antecedentes. Nesta pesquisa a porcentagem de vazão de saída dos eventos monitorados permaneceu entre 16,7% e 51%, com média de 33,3% no BCP e entre 25,5% e 47,7% com média de 33,8% no CPA.

Para a análise da influência do tempo de retardo das ondas de cheia foram monitorados oito eventos e pode-se verificar que havia diferenças significativas entre pequenos e médios eventos. O tempo de retardo de três pequenos eventos ficou compreendido entre 127 e 143 minutos, enquanto para quatro eventos de média magnitude, os tempos de retardo foram muito menores, entre 42 e 47 minutos somente.

Schluter et al. (2004) perceberam que a umidade antecedente do solo é um fator preponderante e que influencia diretamente o tempo de retardo (lag-time), e que a ocorrência de chuvas em bacias hidrográficas onde o solo não estava úmido produzia o aumento no tempo de retardo. A perda de escoamento superficial inicial foi calculada como sendo igual a 2,27 mm, por outro lado, o menor evento

monitorado foi equivalente a 1,4 mm de precipitação e produziu 1,5 m³ ou 0,3 mm de escoamento, obviamente a perda inicial está vinculada a umidade antecedente do solo, a qual pode alterar os resultados significativamente.

Schlüter e Jefferies (2002) desenvolveram também um modelo computacional para simular a descarga do pavimento poroso. Os resultados da simulação mostraram um excelente prognóstico do comportamento da descarga do pavimento poroso. Os autores concluíram ao longo das simulações que a porosidade do material de preenchimento teve pouca influência nos volumes descarregados, mas por outro lado, esta apresentou impacto significativo nos picos de vazão. Observaram diferenças importantes entre os eventos simulados individualmente e àqueles simulados conjuntamente. E o pico de vazão na simulação conjunta apresentou-se com maior magnitude e mais cedo do que na simulação de eventos individualmente. Entretanto, os hidrogramas apresentaram o mesmo padrão.

Concluíram que a umidade da estrutura do pavimento poroso anterior a um evento é importante na medida em que influencia o aumento de vazão no próximo evento e, portanto, deve-se simular todos os eventos de uma vez para que se possa perceber a influência causada pela umidade neste tipo de pavimento.

Nesta pesquisa considerou-se evento individual aquele que ocorreu pelo menos doze horas depois do evento anterior. E nesse caso todos foram simulados individualmente, exceto o evento do dia 6/4/2010 o qual teve chuva antecedente, porém em virtude de problemas ocorridos no pluviômetro, esses dados não foram coletados, impossibilitando a modelação completa desse evento.

Guo; Kocman e Ramaswami (2009) elaboraram uma revisão do procedimento de projeto para dimensionamento de bacias de retenção em meios porosos (Figura 16) no tocante aos aspectos hidrológicos e hidráulicos da estrutura, e definiram algumas relações importantes que devem ser analisadas quando da elaboração do projeto. A relação entre a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica da areia pode ser considerada o principal parâmetro na definição da espessura da camada de areia abaixo de uma camada porosa.

Geralmente, abaixo da camada porosa de revestimento há uma camada granular de sub-base. Essa camada por sua vez, é normalmente subdividida em duas camadas, sendo uma superior de granulometria mais fina, cuja finalidade é de filtrar os finos e outra inferior com granulometria maior e cuja finalidade principal é

reservar a água que infiltra pela superfície antes da infiltração no solo adjacente. Entre as duas camadas granulares foi inserido um geotêxtil que impede a passagem dos finos para a camada granular e evita sua colmatção.

Figura 16 - Lay-out da bacia de retenção com revestimento poroso
Fonte: Adaptado de Guo; Kocman e Ramaswami (2009)

A partir de testes de infiltração realizados em laboratório pode-se obter a curva empírica de decaimento da taxa de infiltração da areia e utilizá-la para maximizar a eficiência hidráulica através das camadas de filtro subsuperficiais. O trabalho propõe que se projete o dispositivo para funcionamento com o máximo desempenho consumindo a máxima carga hidráulica disponível e, que o fundo do dispositivo deve ser plano ou com declividade suave. De acordo com Guo et al. (2009), a profundidade da água na bacia de retenção com material poroso é da ordem de 0,15 m a 0,30 m.

O tempo necessário para que a água infiltre no meio poroso e depois no solo adjacente é extremamente importante, pois controla a remoção dos sedimentos. Geralmente o tempo de drenagem fica entre 12 e 24 horas (USWDCM, 2001). A grande dificuldade no projeto é como dividir a espessura total entre as duas camadas de reservatório, na medida em que essa espessura é diretamente relacionada ao gradiente hidráulico da infiltração do fluxo através do sistema. Simplificadamente, a espessura da camada de areia pode ser dada pela equação:

$$H_1 = \left(1 - \frac{K_1}{f}\right) e_t + \frac{K_1}{f} Y \quad (11)$$

Na qual:

H_1 = espessura da camada de areia;

K_1 = condutividade hidráulica da areia;

f = taxa de infiltração ou taxa de infiltração de projeto definida em função do tipo de superfície;

e_t = espessura total da camada filtrante, considerando a existência das duas camadas de filtro;

Y = profundidade da carga hidráulica.

A taxa de infiltração da camada de areia variou entre $1,4 \times 10^{-2}$ cm/s e $2,1 \times 10^{-2}$ cm/s e a taxa de infiltração final ficou entre $0,21 \times 10^{-2}$ cm/s e $0,35 \times 10^{-2}$ cm/s após 72 horas de operação. Em função das pressões residuais presentes no sistema ocorreram algumas incertezas, como a pequena variação hidráulica do coeficiente de condutividade hidráulica da areia. Os autores alertam ainda para a necessidade de se prever a instalação de tubos perfurados de diâmetro 0,10 m para absorver o excesso de água e aliviar as pressões.

Acioli (2005) em sua dissertação de mestrado realizou um estudo experimental em um lote de estacionamento próximo ao bloco de ensino do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com dois tipos de revestimentos permeáveis. O objetivo principal foi analisar a viabilidade técnica da utilização de um pavimento permeável de baixo custo no controle do escoamento superficial na fonte.

O estacionamento foi implantado com dois módulos com área aproximada de 132 m² cada um e revestimento de asfalto poroso de granulometria aberta e blocos vazados intertravados de concreto tipo “S”, denominados lado “A” e lado “B”, respectivamente (Figura 17 e Figura 18).

Reservatórios coletores

14,87m

Drenos de fundo

Drenos extravasores

Calha de coleta esc. superficial

Passarela

Passarela

Coletores de Qualidade

Guias de ondas TDR

Linifrafos de Pressão

Figura 18- Distribuição dos dispositivos de monitoramento do pavimento permeável. Fonte: ACIOLI (2005)

O tipo de pavimento permeável utilizado no modelo foi de infiltração parcial devido à baixa permeabilidade e grande parcela de argila presente no solo local. Isso culminou com a necessidade de instalação de drenos extravasores no topo da camada de brita dotados de registros com a finalidade de impedir o alagamento da superfície do pavimento.

O volume do reservatório subterrâneo foi projetado para suportar as solicitações de tráfego e armazenar o volume de água decorrente da chuva de projeto de 10 anos. O dimensionamento foi efetuado pelo método da curva envelope e a partir da porosidade da brita do material de preenchimento que resultou em $\mu = 36\%$.

O método da curva envelope ou curva de massa baseia-se na derivada da equação da continuidade, sendo o armazenamento máximo dado pela máxima diferença entre as curvas de volumes acumulados na entrada e na saída da estrutura de controle (URBONAS; STAHR, 1993).

O pavimento foi projetado com declividade longitudinal de 1% e adotado espessura de 0,25 m. O tempo de esvaziamento calculado resultou em 100,9 h, muito maior do que 72 h e, portanto foram instalados drenos coletores no fundo da camada de brita dotados de registros a serem abertos quando o tempo de permanência da água ultrapassasse 72 h. Foram instaladas calhas semicirculares de PVC de diâmetro 0,125m para coleta do escoamento superficial direcionadas aos reservatórios coletores, nos quais a vazão é vertida para um reservatório executado em acrílico dotado de um vertedor triangular, onde a sua carga é medida por meio de sensor de pressão armazenada em um data logger (registrador automático).

Figura 19- Seção transversal do pavimento permeável. Fonte: ACIOLI(2005)

Foram instalados dois reservatórios coletores localizados um em cada lado do pavimento para coleta do escoamento superficial, dos drenos extravasores e dos drenos de fundo. Estes foram equipados com divisórias para individualizar a origem do escoamento. Foram também utilizados sensores de pressão para medição da altura d'água nos poços de observação dentro dos pavimentos e para medição da carga do vertedor triangular, e sensores de umidade para medição da umidade do solo, além de uma estação meteorológica e três pluviógrafos do tipo cuba basculante que medem 0,20 a 0,25 mm de precipitação por basculada. Dos três pluviógrafos, um foi utilizado e os outros dois foram utilizados para confirmar os dados do primeiro.

Figura 20- Esquema ilustrativo (fora de escala) dos reservatórios coletores dos escoamentos com suas dimensões. Fonte: Adaptado de ACIOLI (2005)

No trabalho considerou-se a precipitação como variável de entrada e como variável de saída, o escoamento superficial do revestimento, a evaporação da água armazenada estimada a partir da estação meteorológica, o extravasamento do reservatório, o volume de água armazenado e a infiltração da água no solo, estimada por balanço hídrico auxiliado pelos medidores de umidade do solo.

Acioli (2005) concluiu que:

- O dimensionamento hidráulico e mecânico do pavimento dependem dos ensaios de caracterização do solo;
- O método utilizado para o dimensionamento hidráulico do pavimento acarretou em superdimensionamento do reservatório;

- Os coeficientes de escoamento superficial médios para o asfalto poroso e para os blocos resultaram entre 5% e 2,3%, respectivamente;
- O armazenamento máximo observado nos eventos monitorados não ultrapassou 25% da capacidade de armazenamento dos reservatórios e o tempo de esvaziamento foi menor que 72 h;
- Verificou-se proporcionalidade entre a taxa de infiltração no solo e a intensidade da chuva;
- Detectou-se a necessidade de monitoramento contínuo do nível d'água no reservatório, indicando a necessidade de esvaziamento do volume armazenado devido às baixas taxas de infiltração (média 1,0 mm/h) observadas durante o esvaziamento;
- Notaram-se, durante os seis meses de monitoramento, leves sinais de colmatção em áreas isoladas, que não comprometeram o funcionamento do pavimento. Entretanto, julgou-se necessário dar início à limpeza do pavimento;
- Necessidade de campanha educacional dos usuários do pavimento, no tocante à disposição de lixo nas proximidades do local;
- Em relação ao custo da obra, concluiu ainda que o custo de implantação dos blocos vazados foi 32% maior que o bloco intertravado convencional e o asfalto poroso 21% maior que o asfalto comum;
- O reservatório de britas correspondeu a 31% do custo total da obra;
- Considerou eventos independentes quando o reservatório permaneceu vazio por mais de doze horas,

Finalmente, Acioli (2005) considera o pavimento permeável uma técnica eficiente e econômica, constituindo-se em boa alternativa de controle do escoamento superficial na fonte, além de apresentar boa integração com o espaço urbano.

Cabem alguns comentários a cerca do trabalho mencionado. A necessidade de abertura manual do dreno extravasor e de monitoramento constante, inclusive aos finais de semana, devido à baixa permeabilidade do solo adjacente pode se transformar em um fator prejudicial ao desempenho mecânico do pavimento permeável.

Na coleta dos dados monitorados via data logger não foram mencionadas as dificuldades encontradas e nem tão pouco, como se procedeu à calibração dos resultados, exceto dos pluviógrafos. Os sensores de nível também podem ser aferidos, inclusive com a instalação de réguas limnimétricas.

Outro aspecto a ser mencionado é a vulnerabilidade dos resultados que dependem do tipo de solo adjacente ao reservatório e, portanto, não se pode extrapolar as porcentagens de amortecimento propiciadas por este tipo de dispositivo.

Nesta pesquisa também considerou-se evento independente ou individual aquele que ocorreu doze horas após o evento anterior.

4 MODELO CONCEITUAL DO PAVIMENTO TESTE

4.1 Objetivos do Modelo

Este capítulo tratará de todos os parâmetros considerados para o dimensionamento do modelo físico que contempla a implantação de um estacionamento com pavimento permeável nas dependências do Centro Tecnológico de Hidráulica localizado na Universidade de São Paulo, Brasil.

Este modelo tem como função principal, mantendo as características de suporte estrutural em suas camadas de base e sub-base, permitir o armazenamento da precipitação sem, entretanto, infiltrá-la para a camada de subleito, a fim de que se possa aferir com maior precisão as porcentagens de amortecimento da vazão afluente ocorridas em cada evento. Portanto, este dispositivo também chamado de técnica compensatória em drenagem urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005) cuja finalidade é promover a infiltração e retenção será tratado neste trabalho como uma estrutura viária, porém com finalidades hidrológico-hidráulicas. O conceito clássico de projeto de pavimentos segundo o qual, deve-se retirar a água da base do pavimento o mais rapidamente possível, no caso de pavimentos permeáveis precisa ser reavaliado (DINIZ, 1980).

O objetivo principal deste estudo é mensurar fisicamente a atenuação das vazões produzidas no hidrograma efluente por este tipo de dispositivo e, conseqüentemente os benefícios que ele pode causar na redução do sistema de drenagem a jusante. Serão analisados eventos de chuva correspondentes a vários períodos de retorno e durações distintas a fim de que se possa elaborar relações como: volume de reservatório x TR x duração. Optou-se, portanto, pela implantação de um modelo sem infiltração, que independe do tipo de solo de subleito, pois resultará em uma situação a favor da segurança, ou seja, o resultado obtido poderá ser extrapolado para qualquer situação. E, portanto, a metodologia aqui proposta poderá também ser utilizada em dispositivos com infiltração. Da mesma forma, as questões relacionadas à qualidade da água e a possibilidade de contaminação do subleito não ocorrem com o dispositivo de armazenamento impermeável. Optou-se também pelo modelo de entrada pela superfície, pois se entendeu que outro tipo de

prática corrente (SCHUELER, 1987), seria de mais difícil adoção no Brasil e pode ser estudado posteriormente.

4.2 Materiais Disponíveis

Urbonas e Stahre (1993) descrevem o termo “pavimento permeável” como a superfície projetada para minimizar o escoamento superficial e os qualifica em apenas três tipos:

- Pavimento de asfalto poroso;
- Pavimento de concreto poroso e;
- Blocos intertravados de concreto com células vazadas.

Butler e Davies (2004) dão outro enfoque, quando citam pavimento poroso como sendo aquele que permite a penetração da água por entre os poros do material e, pavimento permeável como sendo aquele o qual o material não é poroso, como os blocos intertravados, mas são assentados de tal maneira que permitem à água passar entre eles. Esses autores comentam ainda, a existência de vários tipos de blocos e inúmeras alternativas de camadas superficiais.

Virgiliis (2009) por sua vez, apresenta em seu estudo sete tipos de materiais utilizados em pavimentos permeáveis:

- Agregados - que podem ser quaisquer materiais como RDC, pedra britada, cascalho, material reciclado de blocos de concreto, granito em decomposição, ou pedregulho, por exemplo;
- Gramíneos;
- Geocélulas plásticas - que são estruturas tridimensionais abertas, constituídas de células interligadas, que podem confinar mecanicamente diversos tipos de materiais, desempenhando funções em diversas aplicações nas obras de engenharia e geotecnia (Figura 21 e Figura 22). São fabricadas a partir de lâminas de não tecido 100% Polipropileno unidas por costura com fios de poliéster de alta tenacidade. Sua capacidade de confinamento associada às características dos materiais com os quais podem ser preenchidas permite que a geocélula possa ser utilizada para diversas finalidades, inclusive em pavimentação.

Figura 21 - Geogrelhas
Fonte: Revista Techne

Figura 22 - Geocélulas
Fonte: Revista Techne

- Concreto poroso – Apresenta uma diferença muito sutil quando comparado à mistura convencional de cimento Portland, na medida em que os agregados devem apresentar gradação uniforme (Figura 23). Sua aplicação é mais apropriada para tráfego leve e quando acabado possibilita grande permeabilidade, entretanto, pode ocorrer colmatção e, portanto, necessita de manutenção periódica (VIRGILIIS, 2009);

Figura 23 - Concreto Poroso

Fonte: Araújo; Tucci e Goldenfum (2000)

- Blocos vazados – são blocos intertravados de concreto com aberturas que possibilitam seu preenchimento com solo, agregados ou vegetação. A Figura 24 apresenta um exemplo de bloco vazado instalado em um experimento realizado no IPH da UFRS em 2000. Esse tipo de pavimento, por não ser fabricado em grande escala, ainda tem alto custo, porém sua vida útil, bem como a porosidade e a condutividade hidráulica são relativamente altas (VIRGILIIS, 2009).

Figura 24 - Blocos vazados

Fonte: Araújo; Tucci e Goldenfum (2000)

- Blocos intertravados de concreto – Esse tipo de revestimento pode ser aplicado para tráfego leve, médio e pesado, resguardando, entretanto diferenças no tocante a espessura e resistência a compressão dos blocos, ou seja, quanto maior a carga de tráfego esperada, maior a espessura do bloco e maior deve ser sua resistência (Figura 25). Este tipo de pavimento

necessita de travamento lateral para que as peças não sofram tensões e não se soltem. Devem ser assentados sobre colchão de areia que permitirá ao conjunto maior permeabilidade e porosidade. Esse tipo de revestimento apresenta custo relativamente baixo e, portanto bom custo versus benefício (VIRGILIIS, 2009).

Figura 25 - Blocos intertravados de concreto
Fonte: ABCP (2004)

- Concreto asfáltico poroso – é constituído por uma mistura de ligante betuminoso e agregados de tamanho uniforme (VIRGILIIS, 2009). Esse tipo de revestimento é similar ao pavimento asfáltico convencional, porém com permeabilidade maior. Entretanto, também é susceptível a colmatção pelo ligante que pode infiltrar pela superfície por meio dos poros e acumular-se na estrutura, além desse fator com o passar do tempo, assim como o concreto poroso, pode também ser colmatado por meio de impurezas que atingem o pavimento, como solo, folhas e sujeira em geral, portanto necessita de manutenção freqüente (Figura 26).

Figura 26 - Concreto poroso asfáltico
Acervo: Afonso Corrêa Virgillis

4.3 Dimensionamento do Modelo

4.3.1 *Chuva de projeto*

Para o dimensionamento do volume de armazenamento do pavimento permeável se faz necessária a determinação da chuva de projeto, da área de contribuição e da permeabilidade do solo de subleito, quando pertinente. Esta última, neste estudo não será considerada, pois o experimento não permite a infiltração no solo.

O dimensionamento do pavimento permeável, ou mais precisamente da estrutura reservatório pode não ser suficiente para acomodar o volume de escoamento para chuvas de projeto com períodos de retorno entre 10 e 100 anos como pode ser visto na Figura 27 (SCHUELER, 1987). A EPA (1999) comenta que a chuva de projeto é muito variável e, geralmente, depende de regulamentações locais, mas comumente utiliza-se a chuva com período de retorno seis meses e duração de 24 h, portanto, uma chuva muito freqüente.

Figura 27 - Distribuição de eventos de chuva para uma região em função do período de retorno
Fonte: Adaptado de Claytor e Schueler (1996)

Entende-se por período de retorno o inverso da probabilidade de um evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer. Portanto, a escolha do período de retorno para uma obra de drenagem depende do tipo de estrutura e sua importância para a população que a utilizará. Está diretamente ligado ao grau de proteção à população, ao risco aceitável por ela e o quanto se pode gastar na estrutura proposta (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Diniz (1980) também afirma que a chuva de projeto em muitos casos é definida a partir de diretrizes de drenagem locais, porém pode-se considerar no dimensionamento, chuvas mais frequentes e, portanto, menos intensas, se a chuva excedente decorrente do escoamento superficial for considerada. Afirma ainda, que caso não haja regulação local, deve-se avaliar as consequências de inundações em decorrência do desenvolvimento urbano. De acordo com Diniz (1980) áreas mais desenvolvidas tendem a gerar maiores problemas de inundação durante chuvas menos frequentes e, portanto, mais intensas, enquanto, áreas menos desenvolvidas, normalmente não causam impactos no sistema de drenagem existente e, nesse caso, pode-se selecionar chuvas de projeto mais frequentes, ou seja, menos intensas.

Neste estudo para definição da chuva de projeto adotou-se a relação intensidade-duração-frequência, apresentada a seguir, desenvolvida por Martinez e

Magni (1999) a partir de dados do posto IAG/USP – E3-035 na cidade de São Paulo, com coordenadas geográficas: Lat. 23°39'S; Long. 46°38'W, altitude: 780 m e período de dados utilizados: 1933-1997 (65 anos).

$$i_{t,T} = 39,3015 (D+20)^{-0,9228} + 10,1767 (D+20)^{-0,8764} \cdot [-0,4653 - 0,8407 \ln \ln(TR/TR-1)] \quad (12)$$

para $10 \leq t \leq 1440$

Na qual:

i: intensidade da chuva, correspondente à duração D e período de retorno TR, em mm/min;

D: duração da chuva em minutos;

TR: período de retorno em anos.

Foram realizadas verificações para várias durações e vários períodos de retorno como se pode ver na Tabela 6 e na Tabela 7.

Tabela 6 - Equação intensidade-duração-frequência do posto IAG/USP – E3-035, em mm/h

t \ TR	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	97,3	126,9	146,4	157,4	165,2	171,1	189,4	207,6	225,8
20	74,6	97,5	112,7	121,3	127,3	131,9	146,2	160,3	174,4
30	60,7	79,5	92,0	99,1	104,0	107,8	119,5	131,2	142,8
60	39,3	51,8	60,1	64,7	68,0	70,5	78,3	86,0	93,6
120	23,4	31,1	36,1	39,0	41,0	42,5	47,3	52,0	56,7
180	16,8	22,4	26,1	28,2	29,7	30,8	34,3	37,7	41,2
360	9,3	12,5	14,6	15,8	16,6	17,3	19,2	21,2	23,2
720	5,0	6,8	8,0	8,6	9,1	9,5	10,6	11,7	12,8
1080	3,5	4,7	5,6	6,0	6,4	6,6	7,4	8,2	8,9
1440	2,7	3,7	4,3	4,7	4,9	5,1	5,7	6,3	6,9

Tabela 7 - Previsão de máximas alturas de chuvas, em mm

Precipitação (mm)									
t \ T	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	16,22	21,14	24,40	26,24	27,53	28,52	31,57	34,61	37,63
20	24,86	32,51	37,58	40,43	42,44	43,98	48,72	53,44	58,13
30	30,34	39,77	46,02	49,55	52,01	53,92	59,77	65,58	71,38

Precipitação (mm)									
t \ T	2	5	10	15	20	25	50	100	200
60	39,28	51,78	60,06	64,73	68,00	70,51	78,27	85,97	93,64
120	46,81	62,12	72,25	77,97	81,98	85,06	94,56	103,99	113,39
180	50,48	67,27	78,40	84,67	89,07	92,45	102,88	113,23	123,54
360	55,74	74,88	87,56	94,71	99,71	103,57	115,45	127,24	138,99
720	60,16	81,51	95,64	103,62	109,20	113,50	126,75	139,90	153,01
1080	62,53	85,15	100,13	108,58	114,50	119,06	133,10	147,04	160,92
1440	64,15	87,69	103,27	112,06	118,22	122,96	137,57	152,07	166,51

continuação

No caso do Brasil, algumas cidades dispõem de legislação/diretriz que determina o que chuvas de projeto se deve admitir para fins de dimensionamento, como Curitiba, Porto Alegre e São Paulo.

A Prefeitura do Município de São Paulo por meio da DP-H01 – Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos (1999) propõe que a escolha do período de retorno em projetos de drenagem seja uniformizada em função do tipo de obra e de seu impacto na comunidade, como pode ser visto na Tabela 8, na qual T_R significa período de retorno maior ou igual a 25 anos.

Tabela 8 - Matriz de aplicabilidade de projetos

TIPOS DE OBRAS E INTERVENÇÕES			
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	PERÍODO DE RETORNO
ARV	Arranjos e complexos viários	Alto impacto	T_R
		Médio impacto	T_{25}
		Baixo impacto	T_{10}
PTV	Pontes, viadutos e passagens subterrâneas	Alto impacto	T_R
		Médio impacto	T_{25}
		Baixo impacto	T_{10}
PPE	Passarelas de pedestres	Alto impacto	T_{10}
		Médio impacto	T_{10}
ECO	Obras de contenção e estabilização	Alto impacto	T_{25}
		Médio impacto	T_{10}
		Baixo impacto	T_{10}

TIPOS DE OBRAS E INTERVENÇÕES			
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	PERÍODO DE RETORNO
CAN	Canalizações e obras de drenagem	Alto impacto	T_R
		Médio impacto	T_R
		Baixo impacto	T_{25}
TUG	Obras em método não destrutivo (túneis viários e galerias hidráulicas)	Alto impacto	T_R
		Médio impacto	T_R
REC	Recuperação de obras-de-arte especiais	Alto impacto	T_{25}
		Médio impacto	T_{10}
		Baixo impacto	T_{10}
PAV	Pavimentação de vias	Alto impacto	T_{25}
		Médio impacto	T_{10}
		Baixo impacto	T_{10}

Fonte: Adaptado PMSP (1999)

continuação

Entretanto, a definição do período de retorno é uma tarefa difícil e muitas vezes sua escolha recai sobre valores aceitos e comumente utilizados no meio técnico. A Tabela 9 a seguir ilustra períodos de retorno em função do tipo de ocupação e que podem ser encontrados na literatura técnica e são praticados internacionalmente (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Tabela 9 - Períodos de retorno para diferentes ocupações da área

TIPO DE OBRA	TIPO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
Microdrenagem	Aeroportos	2-5
Microdrenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci; Porto e Barros (1995)

A variação do evento hidrológico está associada a vários fatores inclusive às experiências práticas e ao risco de dano, às vulnerabilidades locais e ao evento

hidrológico. Por exemplo, estradas de importância vital não podem ficar sujeitas a vulnerabilidades locais, como lixo, assoreamento, defeitos construtivos etc. Por esse motivo usualmente são considerados diferentes períodos de retorno para microdrenagem e macrodrenagem (Tabela 9).

Neste trabalho adotou-se duração da chuva igual a dez minutos e período de retorno dez anos (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995), por entender-se que este dispositivo constitui-se em um elemento de microdrenagem (Tabela 9) e por se tratar de um estacionamento que pode ser inserido no código PAV e classificado como baixo impacto de acordo com a Tabela 8.

4.3.2 Permeabilidade das camadas de revestimento

A permeabilidade das camadas de revestimento é determinante para o sucesso do experimento. Ela é responsável pela percolação da água de chuva no meio poroso.

Durante a execução das obras do estacionamento foram selecionadas amostras de BCP e de CPA para realização dos respectivos ensaios de permeabilidade pelo Laboratório de Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foram utilizados três corpos de prova de BCP e dez de CPA. Os resultados obtidos no ensaio realizado com o BCP podem ser vistos na Tabela 10. A permeabilidade média encontrada nas três amostras ensaiadas resultou em $9,2 \times 10^{-2}$ cm/s.

Tabela 10 - Ensaios de permeabilidade do BCP.

Corpos de Prova											
B1				B2				B3			
L1	56,34	D1	100,64	L1	56,99	D1	99,13	L1	59,41	D1	103,23
L2	56,96	D2	103,52	L2	57,19	D2	103,51	L2	59,90	D2	99,89
L3	57,39	D3	103,25	L3	57,23	D3	103,33	L3	59,10	D3	103,27
L (mm)	56,90	D (mm)	102,47	L (mm)	57,14	D (mm)	101,99	L (mm)	59,47	D (mm)	102,13
Desvio	0,53	Desvio	1,59	Desvio	0,13	Desvio	2,48	Desvio	0,40	Desvio	1,94
A (cm²)	82,47	Col. D'água (cm)	27,00	A (cm²)	81,70	Col. D'água (cm)	27,00	A (cm²)	81,92	Col. D'água (cm)	27,00
Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)
1	3263,50	90,00	36,26	1	3047,80	90,00	33,86	1	3371,10	90,00	37,46
2	3205,20	90,00	35,61	2	2973,60	90,00	33,04	2	3350,70	90,00	37,23
3	3167,30	90,00	35,19	3	2923,70	90,00	32,49	3	3387,80	90,00	37,64
		Qmédia (cm³/s)	35,69			Qmédia (cm³/s)	33,13			Qmédia (cm³/s)	37,44
		Desvio	0,54			Desvio	0,69			Desvio	0,21
k (cm/s)	0,0912			k (cm/s)	0,0858			k (cm/s)	0,1007		

K médio (cm/s)	0,092
----------------	-------

O ensaio foi realizado considerando-se a carga constante como mostra a Figura 28. Foram realizadas três leituras de todos os parâmetros e considerada a média para o cálculo do coeficiente de permeabilidade. O cálculo foi realizado a partir da Lei do Regime de Escoamento proposta por Darcy. A velocidade de descarga da água dentro de um regime de escoamento laminar é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico.

Figura 28 - Esquema de execução do ensaio de permeabilidade

$$v = K \times I \quad (13)$$

Na qual,

v = Velocidade de descarga (cm/s ou m/s)

K = Constante de permeabilidade (cm/s ou m/s)

I = Gradiente Hidráulico. ($I = Y/I$ Onde: I = Altura da amostra Y = Carga Hidráulica)

A permeabilidade de carga constante pode ser calculada por meio da seguinte equação:

$$k = \frac{V \times l}{A \times T \times Y} \quad (14)$$

Na qual,

k = Coeficiente de permeabilidade da amostra (cm/s)

l = Altura da amostra (cm)

A = Área da amostra onde flui a água (cm²)

Y = Carga Hidráulica (cm)

T = Tempo de escoamento da água (s)

V = Volume (cm³)

Portanto, o coeficiente de permeabilidade pode ser obtido por meio da equação:

$$k = \frac{Q \times l}{A \times Y} \quad (15)$$

Na qual,

Q = Vazão de saída do permeâmetro (cm³/s)

l = Altura do corpo de prova (cm)

A = área da superfície do corpo de prova (cm²)

Y = coluna d'água (cm)

A sequencia do ensaio realizada no laboratório de pavimentação pode ser vista na Figura 29.

Os resultados do ensaio de permeabilidade dos corpos de prova do CPA podem ser vistos nas tabelas a seguir. A metodologia empregada no ensaio foi análoga à empregada no ensaio de BCP e a permeabilidade média encontrada nos ensaios resultou em $k=16 \times 10^{-2}$ cm/s.

Figura 29 - Sequencia do ensaio de permeabilidade realizado nos corpos de prova de BCP.

Tabela 11 - Ensaios de permeabilidade do CPA

Corpos de Prova															
1				2				3				4			
L1	69,08	D1	101,73	L1	69,69	D1	102,48	L1	70,12	D1	102,06	L1	69,71	D1	102,12
L2	69,00	D2	101,9	L2	69,41	D2	102,14	L2	70,21	D2	102,14	L2	69,42	D2	101,91
L3	69,35	D3	101,91	L3	69,51	D3	102,18	L3	70,43	D3	102,05	L3	69,66	D3	102,02
L (mm)	69,14	D (mm)	101,85	L (mm)	69,54	D (mm)	102,27	L (mm)	70,25	D (mm)	102,08	L (mm)	69,60	D (mm)	102,02
Desvio	0,18	Desvio	0,10	Desvio	0,14	Desvio	0,19	Desvio	0,16	Desvio	0,05	Desvio	0,16	Desvio	0,11
A (cm²)	81,47	Col.d'água	27,00	A (cm²)	82,14	Col.d'água	27	A (cm²)	81,85	Col.d'água	27	A (cm²)	81,74	Col.d'água	27
Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)
1	4122,20	90,00	45,80	1	4793,10	90	53,256667	1	4590,10	90	51,00	1	4279,20	90	47,55
2	4277,60	97,00	44,10	2	4684,30	90	52,047778	2	5041,60	90	56,02	2	4238,70	90	47,10
3	3827,30	90,00	42,53	3	4606,20	90	51,18	3	4820,00	90	53,56	3	4186,50	90	46,52
		Média	44,14			Média	52,16			Média	53,52			Média	47,05
		Desvio	1,64			Desvio	1,04			Desvio	2,51			Desvio	0,52
k (cm/s)	0,1388			k (cm/s)	0,1635			k (cm/s)	0,1702			k (cm/s)	0,1484		
Corpos de Prova															
5				6				7				8			
L1	70,49	D1	102,59	L1	70,98	D1	101,89	L1	68,54	D1	101,91	L1	71,5	D1	101,64
L2	70,37	D2	101,67	L2	71,05	D2	102,05	L2	68,52	D2	102,11	L2	70,52	D2	101,85
L3	70,23	D3	101,75	L3	71,2	D3	101,81	L3	68,41	D3	102,17	L3	71,26	D3	101,84
L (mm)	70,36	D (mm)	102,00	L (mm)	71,08	D (mm)	101,92	L (mm)	68,49	D (mm)	102,06	L (mm)	71,09	D (mm)	101,78
Desvio	0,13	Desvio	0,51	Desvio	0,11	Desvio	0,12	Desvio	0,07	Desvio	0,14	Desvio	0,51	Desvio	0,12
A (cm²)	81,72	Col.d'água	27,00	A (cm²)	81,58	Col.d'água	27,00	A (cm²)	81,81	Col.d'água	27,00	A (cm²)	81,36	Col.d'água	27,00
Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)
1	4572,10	90	50,80	1	4991,90	90,00	55,47	1	3829,40	90	42,55	1	5149,80	90	57,22
2	4301,00	90	47,79	2	4795,20	90,00	53,28	2	3715,20	90	41,28	2	4880,90	90	54,23
3	4118,60	90	45,76	3	4616,00	90,00	51,29	3	3600,70	90	40,01	3	4732,60	90	52,58
		Média	48,12			Média	53,34			Média	41,28			Média	54,68
		Desvio	2,54			Desvio	2,09			Desvio	1,27			Desvio	2,35
k (cm/s)	0,1534			k (cm/s)	0,1721			k (cm/s)	0,1280			k (cm/s)	0,1770		

Tabela 12 - Ensaio de permeabilidade do CPA (continuação)

Corpos de Prova							
9				10			
L1	69,91	D1	101,83	L1	70,02	D1	101,88
L2	71,28	D2	102,01	L2	69,88	D2	101,92
L3	69,81	D3	101,94	L3	69,72	D3	102,12
L (mm)	70,33	D (mm)	101,93	L (mm)	69,87	D (mm)	101,97
Desvio	0,82	Desvio	0,09	Desvio	0,15	Desvio	0,13
A (cm²)	81,60	Col.d'água	27,00	A (cm²)	81,67	Col.d'água	27,00
Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)	Medição	M (g)	T (s)	Q (cm³/s)
1	4697,30	90	52,192222	1	4698,30	90	52,20
2	4622,40	90	51,36	2	4429,30	90	49,21
3	4529,80	90	50,33	3	4125,30	90	45,84
		Média	51,29			Média	49,08
		Desvio	0,93			Desvio	3,19
k (cm/s)	0,1638			k (cm/s)	0,1555		

K médio (cm/s)	0,1571
-------------------	--------

Para as demais camadas foi adotada a permeabilidade constante na bibliografia corrente, como apresentado na Tabela 13 e na Tabela 14 a seguir.

Tabela 13 - Coeficientes de permeabilidade do módulo de BCP¹

Material	e (m)	K (cm/s)
BCP	0,06	0,09
Areia grossa	0,04	0,10 a 1
Geotêxtil		0,40
BGS – faixa B (DERSA)	0,10	0,01 a 0,04
Macadame hidráulico	0,15	7
Pó de pedra	0,05	10^{-1} a 10^{-2}

Tabela 14 - Coeficientes de permeabilidade do módulo de CPA¹

Material	e (m)	K (cm/s)
CPA	0,05	0,16
Macadame betuminoso	0,05	7
Macadame hidráulico	0,25	7
Pó de pedra	0,05	10^{-1} a 10^{-2}

4.3.3 Porosidade das camadas de base e sub-base (camadas reservatório)

A porosidade dos materiais constituintes das camadas de base e sub-base é o elemento fundamental na determinação da espessura da camada reservatório. Os vazios existentes entre o material granular serão responsáveis pelo desempenho da estrutura projetada, pois permitirão a percolação da água e possibilitarão maior ou menor armazenamento da água de chuva. As camadas de base e sub-base adotadas no experimento foram diferentes em cada um dos módulos em virtude do

¹Fonte: Cedergren, Harry R. Drainage of highway and airfield pavement. Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., FL, 1987.

tipo de revestimento escolhido, da capacidade de suporte de cada um e da disponibilidade dos materiais na ocasião da obra.

Para o módulo de BCP a camada de base foi especificada com brita graduada simples, faixa B da DERSA (DERSA, 1997)/DER (DER/SP, 2005) e sub-base de macadame hidráulico (pedra 3) e pó de pedra como mostra a Figura 30. Para o módulo de CPA, os materiais das camadas de base e sub-base foram especificados respectivamente, macadame betuminoso, macadame hidráulico (pedra 3) e pó de pedra (Figura 31). O dimensionamento mecânico do pavimento pode ser visto em Virgiliis (2009).

No pré-dimensionamento do pavimento para a execução da obra, elaborou-se estudo considerando-se a porosidade variando entre 25% e 40%, pois são os valores comumente adotados para o macadame hidráulico (pedra 3) e para a brita graduada. O dimensionamento do pavimento foi elaborado a partir de dois enfoques distintos:

- O enfoque mecânico da estrutura de pavimento a partir do qual a espessura necessária para suporte de tráfego leve atendeu ao disposto na Instrução de Projeto IP-02 - Classificação das Vias da SIURB/PMSP para o CPA e, à norma PMSP-IP-06 para BCP e;
- O enfoque hidráulico, para armazenamento e amortecimento da vazão afluente no qual a espessura é função da precipitação, da duração da chuva, do período de retorno e da porosidade do material granular adotado para o reservatório.

O dimensionamento propriamente dito poderá ser visto em item posterior onde serão apresentadas as várias fórmulas existentes na literatura.

A seção transversal adotada para cada um dos módulos atendeu aos dois critérios, mas sempre prevalecendo a maior espessura. As seções resultantes podem ser vistas na Figura 30 e na Figura 31.

Figura 30 - Perfil da área revestida com Blocos Intertravados de Concreto
Fonte: adaptado de Virgiliis (2009)

Figura 31 - Perfil da área revestida com Concreto Asfáltico Poroso tipo CPA
Fonte: adaptado de Virgiliis (2009)

A Figura 32 apresenta um resumo das características dos materiais que compõem a estrutura das camadas dos pavimentos instalados nos módulos de BCP e CPA.

Bloco de Concreto (BCP)				Asfalto (CPA)			
Camadas	μ	e (m)	k (cm/s)	μ	e (m)	k (cm/s)	Camadas
Revestimento		0,06	0,09		0,05	0,16	Revestimento
Areia		0,04	0,1 a 1	40%	0,05	7	Macadame Betuminoso
Geotextil			0,40				
BGS - Faixa B (Dersa)	29%	0,10	0,01 a 0,04				
Macadame Hidráulico Pedra 3	40%	0,15	7	40%	Base 0,25	7	Macadame Hidráulico Pedra 3
Pó de Pedra	3,8 a 21%	0,05	10^{-1} a 10^{-2}	3,8 a 21%	0,05	10^{-1} a 10^{-2}	Pó de Pedra

Figura 32 – Resumo das características físicas das camadas integrantes dos módulos de BCP e CPA.

Para a caracterização do subleito foram realizadas sondagens a trado, coleta de amostras e ensaios de caracterização.

Foram locadas três sondagens a trado na área proposta para implantação do estacionamento, com profundidade programada de 1,5 m, para identificação dos tipos de materiais existentes, bem como, para verificar a possível existência de nível d'água até a citada profundidade. A locação dos furos pode ser vista na Figura 33.

Foram coletadas uma amostra de solo no furo de sondagem ST-01 e duas amostras de solo, com cerca de 50 kg no furo de sondagem ST-03. Estas amostras foram submetidas a ensaios de laboratório, conforme procedimento: "DNER PRO – 003/94 - Coletas de Amostras Deformadas de Solos".

As amostras coletadas representam os tipos de solos ocorrentes na área do estacionamento do CTH.

Foram realizados os ensaios de caracterização, de compactação e de CBR, sendo os resultados, apresentados a seguir, podendo a metodologia empregada ser vista em Virgiliis (2009).

Legenda

ST Locais de execução das sondagens a trado

Figura 33 - Croqui de locação das sondagens a trado

Fonte: IMPERPAV,2009 – Relatório de Ensaios

Os resumos dos resultados de ensaios de caracterização, de compactação e de CBR podem ser vistos na Tabela 15 e na Tabela 16 a seguir.

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de caracterização do subleito

Amostra (nº)	Granulometria					LL (% em massa)	LP (% em massa)	IPL (% em massa)	HRB
	Pedregulho + Areia grossa (%em massa)	Areia média (% em massa)	Areia fina (% em massa)	Silte (% em massa)	Argila (% em massa)				
1	35,8	9,9	21,3	17,4	22,6	31	18	13	A - 6
2	48,9	18,1	17,0	14,6	1,5	NL	NP	-	A-1- b
3	41,7	14,5	8,6	12,9	22,3	35	22	13	A - 6

Tabela 16 - Resultados dos ensaios de compactação e CBR

Amostra (nº)	Compactação na energia normal				CBR (%)		Expansão (%)	
	Y _s máximo (g/cm³)	Umidade ótima (% em massa)	Y _s no CBR máximo (g/cm³)	Umidade no CBR máximo (% em massa)	Na umidade ótima	Máximo	Na umidade ótima	No CBR máximo
1	1,685	18,9	1,660	17,8	11	15	0,22	0,32
2	1,905	12,5	1,840	11,2	12	20	0,20	0,45
3	1,690	16,8	1,686	16,2	8	11	0,19	0,29

Analisando-se os resultados pode-se perceber que o solo de subleito apresenta CBR médio de 10 % na umidade ótima e, portanto, apresenta boa capacidade de suporte. Para o dimensionamento estrutural do pavimento considerou-se o CBR mínimo encontrado na amostra 3, ou seja, igual a 8%.

Foi realizada também a classificação do solo segundo a Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) que pode ser vista com detalhes em Virgiliis (2009). Segundo essa classificação o solo de subleito encontrado à profundidade média de 1m é do tipo areno-argiloso (lateríticos arenosos). Este tipo de solo geralmente apresenta porcentagem de finos baixa, mesmo quando compactado o que o torna até certo ponto, permeável, pouco coesivo e pouco contrátil quando seco, apesar da elevada capacidade de suporte e módulo de resiliência relativamente elevado (VIRGILIIS, 2009).

O lençol freático não foi encontrado mesmo os ensaios tendo sido realizados em março de 2009 durante a estação chuvosa.

Como a finalidade do experimento era ensaiar a estrutura reservatório sem infiltração para a camada de subleito, foi acrescentada uma geomembrana impermeável com 1 mm de espessura constituída de PEAD, na interface entre a camada de pó de pedra e o solo de subleito. A camada de 5 cm de pó de pedra foi executada em ambas as estruturas somente como proteção ao possível punção da geomembrana pela camada de macadame hidráulico (pedra 3) e, portanto, não tem função estrutural e, nem tão pouco, de armazenamento.

4.3.4 *Tipo de tráfego*

Schueler (1987) afirma que pavimentos porosos são geralmente utilizados em estacionamentos e vias de tráfego leve. Nesta pesquisa os pavimentos foram implantados no estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo e este experimento foi financiado pela Prefeitura do Município de São Paulo. Por esse motivo, optou-se por utilizar as Instruções de Projeto da PMSP no dimensionamento estrutural do pavimento. Foram utilizadas as instruções de projeto IP-01, IP-02 e IP-06 da PMSP/SIURB e o dimensionamento detalhado pode ser visto em (VIRGILIIS, 2009).

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento de CPA considerou-se:

- Tráfego leve e, portanto, N (número de repetições de carga) = 10^5 ;
- CBR=8% (obtido nos ensaios de CBR, que podem ser vistos em Virgiliis (2009)).

Virgiliis (2009) adotou para o revestimento espessura de 0,05 m e para a camada de base obteve-se 0,19 m de espessura, porém adotou-se 0,25 m como espessura final de macadame hidráulico (pedra 3), pois desta forma atende tanto o aspecto estrutural, quanto o dimensionamento hidráulico da estrutura reservatório que será discutido no próximo item.

A Figura 34 ilustra a seção transversal do pavimento de concreto poroso asfáltico utilizado no estacionamento.

Figura 34 - Seção transversal do pavimento de concreto poroso asfáltico
Fonte: adaptado de Virgiliis (2009)

Para o dimensionamento da estrutura do pavimento de BCP, análogo ao CPA foi considerado o tipo de tráfego e o CBR e, adotado o Procedimento A da IP-06 (PMSP, 2004) que foi adaptado pela ABCP no estudo técnico nº 27 do trabalho original proposto pela BCA – “British Cement Association”, com a utilização de bases cimentadas, como pode ser verificado na Tabela 17.

De acordo com a IP-06, para tráfego com $N \leq 1,5 \times 10^5$ a camada de base não é necessária, portanto a espessura da camada de sub-base mínima resultante foi de 0,10 m para bloco de concreto de 0,06 m de espessura, com resistência a compressão $F_{ck} \geq 35$ MPa. Entretanto, adotou-se para as camadas de base e sub-base espessuras de 0,10m e 0,15m, respectivamente, totalizando 0,25 m.

Tabela 17 - Dimensionamento de Blocos Intertravados de concreto pelo método da PMSP – Procedimento A

		Sub-base							Base granular - Areia							Revestimento							Espessura Total						
		CBR (%)							CBR (%)							CBR (%)							CBR (%)						
Tráfego	N	2	3	4	5	6	7	7<CBR<20	2	3	4	5	6	7	7<CBR<20	2	3	4	5	6	7	7<CBR<20	2	3	4	5	6	7	7<CBR<20
leve	7×10^4	37,5	28	21	17	13	10	10	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	48,5	39	32	28	24	21	21
leve	1×10^5	38	28	22	18	13	10	10	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	49	39	33	29	24	21	21
leve a médio	5×10^5	42	32	24,5	20	15	12	10	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	53	43	35,5	31	26	23	21
médio	1×10^6	44	34	26	21	16	15	15	5	5	5	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8	8	57	47	39	34	29	28	28

As figuras a seguir ilustram os resultados obtidos para a espessura de camada de sub-base e espessura total em todas as situações possíveis de CBR de subleito (Figura 35 e Figura 37, respectivamente) e de número N pelo Procedimento A (Figura 36).

Figura 35 - Relação Espessura da camada de sub-base x CBR (%) pelo método PMSP - IP - 06 - Procedimento A

Figura 36 - Relação Espessura da camada de sub-base x Número "N" pelo método PMSP - IP - 06 - Procedimento A

Figura 37 - Relação Espessura total x CBR (%) pelo método PMSP - IP - 06 - Procedimento A

4.3.5 O dimensionamento hidrológico-hidráulico da estrutura reservatório

O dimensionamento do pavimento permeável no tocante a capacidade de armazenamento da camada de reservatório pode ser elaborado a partir de vários métodos, entre eles pode-se citar:

- A equação proposta por Bettess (1996) apud Butler e Davies (2004) para camada reservatório em estruturas estanques, ou seja, sem infiltração no solo:

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{DRi}{\mu} \quad (16)$$

Na qual,

$H_{m\acute{a}x}$ = espessura total da camada reservatório (m);

D = duração da chuva (h);

R = relação entre a área drenada e a área de infiltração;

μ = porosidade do material granular (relação entre volume de vazios e volume total);

i = intensidade pluviométrica (m/h).

- O método proposto pelo Interlocking Concrete Pavement Institute (SMITH, 2001) adaptado do Standard Specifications for Infiltration Practices (DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, 1985) e do Maryland Stormwater Manual (DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, 1999):

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta Q_c R + P - f T_e}{\mu} \quad (17)$$

Na qual:

$H_{m\acute{a}x}$ = profundidade da camada de base granular (m);

ΔQ_c = precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto (m);

R = relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável (A_c/A_p);

A_c = área de contribuição (m^2)

A_p = área de pavimento permeável constituído de BCP (m^2)

P = precipitação de projeto (m);

f = taxa de infiltração no solo (m/h);

T_e = tempo efetivo de enchimento da camada reservatório, geralmente igual a 2 h;

μ = porosidade do material de base, geralmente igual a 0,40.

Este método propõe a utilização de 2 horas para o parâmetro de cálculo intitulado “tempo efetivo de enchimento da camada reservatório”, entretanto, não apresenta a justificativa para a adoção deste valor e nem tão pouco, comenta esse parâmetro mais profundamente. Aparentemente, este valor depende do tipo de revestimento utilizado na estrutura e dos materiais da camada de base, e está diretamente ligado ao amortecimento da vazão afluente. Pode-se afirmar que quanto mais rápido o enchimento da estrutura reservatório, mais rápido se dará a sua saída e, portanto, menor o amortecimento gerado no hidrograma, ou vice versa.

A Figura 38 ilustra os parâmetros da fórmula utilizada para o dimensionamento do pavimento permeável constituído de BCP, adaptada pelo ICPI.

Figura 38 - Parâmetros de projeto para o dimensionamento da camada de reservatório para pavimentos permeáveis intertravados de concreto.

Fonte: adaptado de Smith (2001)

- Diniz (1980) afirma que a chuva de projeto, a área de contribuição e a permeabilidade do solo irão determinar o volume de armazenamento necessário à camada de reservatório. A área de contribuição poderá ser função da chuva de projeto e das condições hidrológicas locais. Significa dizer que em locais onde a duração da chuva é longa e as chuvas são intensas, a área de contribuição deverá ser pequena. Afirma ainda, que a chuva de projeto é o parâmetro mais importante para definição da espessura da camada reservatório.

A USEPA (DINIZ, 1980) desenvolveu um modelo chamado PORPAV para o cálculo da espessura da camada reservatório necessária ao armazenamento da água. Esse modelo simula o balanço de massa dinâmico entre a vazão afluyente e a vazão efluente do sistema “pavimento poroso”. O modelo considera o revestimento poroso, a base e o solo de subleito ou sistema de drenagem sequenciais, porém internamente são reservatórios de armazenamento independentes. A Equação da Continuidade é aplicada para cada uma das camadas:

$$\frac{dV}{dt} = Q_e - Q_s \quad (18)$$

Onde,

Q_e = vazão de entrada no reservatório;

Q_s = vazão de saída do reservatório;

$\frac{dV}{dt}$ = relação entre o volume de entrada e o volume armazenado no intervalo de tempo.

- O Department of Civil Engineering - The Texas A&M University System (1998) por meio da UNI-GROUP U.S.A. – MANUFACTURERS OF UNI PAVING STONES propôs as seguintes equações para o dimensionamento da camada reservatório, adotando-se o tempo de retenção da água no reservatório e coeficiente de infiltração para blocos com juntas especiais igual a 0,40:

$$L_R = \frac{B\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_1} \quad (19)$$

Na qual:

L_R = comprimento de drenagem resultante (m);

B = comprimento da área de drenagem (m);

S_1 = declividade longitudinal (m/m);

S_2 = declividade transversal (m/m);

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{L_R f P}{k S_R} \quad (20)$$

Na qual:

k = coeficiente de permeabilidade do material de base (m/h)

L_R = comprimento de drenagem resultante (m);

f = coeficiente de infiltração (0,40 para blocos com juntas especiais);

P = precipitação de projeto (m);

$H_{m\acute{a}x}$ = profundidade do reservatório (adotar no mínimo 0,10 m) (m);

S_R = declividade resultante na direção do fluxo (m/m).

A Figura 39 exemplifica alguns dos parâmetros das equações descritos anteriormente.

Figura 39 - Parâmetros da equação proposta pela UNI-GROUP referentes a área de drenagem.

Fonte: adaptado The Department of Civil Engineering - The Texas A&M University System (1998)

A porosidade do material de base deve ser definida a partir da seguinte equação:

$$\mu = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \cdot \gamma_w} \quad (21)$$

Na qual:

μ = porosidade do material de preenchimento da camada reservatório

γ_d = massa específica aparente seca do material (g/cm³);

γ_w = massa específica da água (g/cm³);

G_s = densidade real dos grãos.

Esta proposta inclui também equações para o dimensionamento estrutural do pavimento relacionado ao tráfego admitido no projeto e as características de suporte do material de subleito. Nesta pesquisa isso foi desenvolvido por Virgiliis (2009).

- ***O dimensionamento hidrológico-hidráulico do pavimento teste***

Para a elaboração do projeto hidráulico do modelo físico composto de dois módulos de pavimento permeável que compõem o estacionamento localizado nas instalações do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo considerou-se para a definição do volume necessário da camada reservatório a ser preenchida com material granular as seguintes premissas:

- Equação I-D-F desenvolvida por Martinez e Magni (1999) a partir de dados do posto IAG/USP – E3-035 da cidade de São Paulo descrita no item 4.3.1;
- Porosidade do material de preenchimento;
- Características físicas da seção transversal dos módulos experimentais, como declividades longitudinais e dimensões;

Em virtude de pequenas diferenças entre as dimensões do módulo de BCP e do módulo de CPA resultantes da topografia e do lay-out dos jardins, todos os cálculos foram elaborados separadamente. As planilhas com as espessuras das camadas reservatório resultantes são apresentadas no apêndice. Inicialmente, foram elaborados cálculos para diversas situações, ou seja, para tempos de concentração variando entre 10 e 4320 minutos (72 horas), Períodos de Retorno entre 2 e 200 anos e porosidades variando entre 20% e 40%.

A espessura do reservatório foi calculada inicialmente, a partir da seguinte equação:

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\mu} = \frac{P}{\mu} \quad (22)$$

Na qual,

$H_{m\acute{a}x}$ = espessura da camada reservatório (m)

$V_{m\acute{a}x}$ = volume máximo da camada reservatório (mm)

μ = porosidade do material de preenchimento da camada reservatório

P = precipitação de projeto (mm).

Os módulos experimentais propostos são do tipo sem infiltração, dessa forma houve a necessidade de captação da contribuição subsuperficial por meio de drenos instalados no fundo do pavimento projetado, e de sistema de micro-drenagem composto por guias, sarjetas e bocas de lobo para captação do escoamento superficial.

Imagina-se que ocorrerá escoamento superficial, principalmente, na ocorrência de precipitações de maior intensidade e contínuas. Este tipo de chuva provavelmente acarretará, nos primeiros anos do experimento, a saturação da camada reservatório e a formação de lâminas d'água na superfície dos dois

módulos. Provavelmente, com o passar dos anos em função da periodicidade na manutenção ou não, o entupimento dos poros dos pavimentos ocorrerá e então, o escoamento superficial passará a ser em maior volume. Diniz (1980) propõe que a manutenção seja efetuada quatro vezes ao ano com equipamentos de alta pressão e afirma que essa manutenção é eficiente na recuperação da capacidade de armazenamento da camada reservatório.

Para a captação do escoamento subsuperficial foi projetada uma estrutura que drena para o centro dos módulos (Figura 41). Entretanto, em função da topografia do local e do lay-out das estruturas existentes houve a necessidade de obediência às cotas de guia existentes o que resultou na concepção adotada e que pode ser vista na Figura 40 e na Figura 41, onde está claro que a declividade superficial dos módulos é continua e igual a 0,005 m/m e drena diretamente para um ponto específico onde está localizada uma boca de lobo em cada um dos módulos.

Para captação do escoamento subsuperficial e, para que o monitoramento com a instrumentação pudesse ser efetuado de maneira eficiente foi criado um ponto baixo no eixo de cada um dos módulos e instalados os drenos perfurados. Para a implantação deste ponto baixo não foi possível a adoção de declividades iguais em cada um dos lados, havendo, portanto a necessidade de declividades variadas, sendo $S_j = 0,005$ m/m e $S_m = 0,015$ m/m (Figura 41). Essas declividades foram adotadas em função da topografia e disponibilidade de materiais, podendo ser alteradas na ocasião de outro projeto. Este fato motivou a utilização de outra equação para a definição da espessura resultante da camada reservatório para cada um dos módulos.

Figura 40 - Lay-out dos modelos físicos implantados do Laboratório de Hidráulica da USP-CTH.

Figura 41 - Seção transversal tipo da camada reservatório.

Foi então, calculada a espessura em função do comprimento e da declividade ponderados para cada módulo conforme equação a seguir adaptada de Acioli (2005):

$$H' = H_{m\acute{a}x} + \left(\frac{S_m \cdot L_1}{2} + \frac{S_j \cdot L_2}{2} \right) \quad (23)$$

Na qual:

H' = espessura média da camada reservatório (mm)

$H_{m\acute{a}x}$ = espessura da camada reservatório (mm)

S_m = declividade adotada no projeto na direção de montante (m/m)

L_1 = comprimento do reservatório na direção de montante (m)

S_j = declividade adotada no projeto na direção de jusante (m/m)

L_2 = comprimento do reservatório na direção de jusante (m).

Os resultados obtidos podem ser vistos no apêndice da Tabela 61 a Tabela 75.

Durante a elaboração do projeto foram simuladas as espessuras para diversas situações a fim de que se pudesse analisar os resultados obtidos no monitoramento e compará-los com os resultados obtidos nos cálculos.

Inicialmente, optou-se por adotar a porosidade da brita igual a 25%. Posteriormente, quando da execução da obra, a porosidade obtida com os ensaios efetuados com o material utilizado seria então, comparada à considerada no projeto.

De qualquer maneira $\mu=25\%$ pode ser considerado um valor a favor da segurança, na medida em que geralmente para a brita, os valores de porosidade praticados são entre 30% e 40%.

A partir da análise dos gráficos gerados pode-se concluir que quanto maior o período de retorno e maior a duração da chuva, maior a espessura necessária a camada reservatório. Por outro lado, quando analisadas a Tabela 70 e a Tabela 75 pode-se perceber que a espessura média considerada no projeto, igual a 0,30 m, atende a todos os períodos de retorno para uma duração igual a 10 minutos. E ainda, ao período de retorno 10 anos para duração de até 20 minutos na Tabela 75 e período de retorno 20 anos e duração 20 minutos na Tabela 70, o que de certa forma significa afirmar que a estrutura reservatório projetada funcionará também para situações mais críticas. Entretanto, para chuvas mais prolongadas mesmo que para períodos de retorno baixos, como 2 anos, por exemplo, a estrutura projetada é insuficiente na medida em que haveria necessidade de espessuras da ordem de, no mínimo 0,40m. Para duração de 10 minutos, período de retorno 10 anos e porosidade 40% a espessura resultou em 0,26m para o BCP e 0,27m para o CPA, enquanto o dimensionamento mecânico resultou em 0,20m para o BCP. Portanto, no dimensionamento final prevaleceu a espessura obtida no estudo hidráulico, pois foi a maior espessura encontrada. Esses valores foram aferidos durante o monitoramento do protótipo que será discutido em capítulo posterior.

5 MODELO FÍSICO – O PROTÓTIPO DO PAVIMENTO TESTE

A concepção do modelo físico contou com a participação de dois departamentos da Escola Politécnica da USP, o PHD e o PTR. Entretanto, não foi uma tarefa fácil e nem tão pouco, tranquila. A etapa de convencimento de todos os órgãos envolvidos foi árdua. Foram pelo menos dois anos até que todos entendessem a importância do projeto. Havia ainda a questão financeira, pois é fato, que esta pesquisa que envolve várias disciplinas da engenharia precisaria de financiamento e mão de obra especializada. O convencimento de órgãos que pudessem financiá-lo foi também uma tarefa difícil a ser ultrapassada. Somente em meados de 2008 a Prefeitura do Município de São Paulo, por meio da SIURB, Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras sensibilizou-se pela pesquisa e assumiu seu custo. A PMSP percebeu que esta pesquisa poderia ser um caminho à mitigação dos problemas sofridos pela população quando da ocorrência de chuvas intensas.

Neste capítulo serão abordadas todas as etapas necessárias à implantação do modelo físico composto de dois módulos experimentais instalados nas dependências do Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – CTH. Os dois módulos foram concebidos como descrito no capítulo anterior e apresentam revestimentos e camadas de base distintas, sendo um módulo revestido com BCP e o outro revestido de CPA. Ambos destinam-se ao estacionamento de veículos e tráfego leve.

Cabe comentar que para a instalação do pavimento permeável com a estrutura reservatório é imprescindível a elaboração de projeto, pois não adianta implantar apenas o revestimento. É necessário que toda a estrutura seja executada e para tanto, deve-se elaborar projeto hidrológico/hidráulico. De outra maneira muitos equívocos poderão ser cometidos e o objetivo final, que é proporcionar o armazenamento total ou de parte da precipitação, não será alcançado. O papel do projetista é extremamente importante para o sucesso desse dispositivo.

5.1 Projeto e Execução

Como todo projeto de engenharia, a primeira etapa do estudo constou da execução do levantamento topográfico, de ensaios de caracterização, de CBR e de sondagens a trado e percussão que serviram de subsídios à elaboração dos projetos de geometria, terraplenagem, drenagem e pavimentação.

Apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada atividade desenvolvida.

5.1.1 *Levantamento topográfico*

O levantamento topográfico da área onde seria implantado o modelo físico foi executado por processo convencional em meados de julho de 2008. No levantamento planialtimétrico cadastral foram levantados todos os pontos de interesse como: caminhamento e diâmetro de tubulações de drenagem, cotas de assentamento, cadastro arbóreo e possíveis interferências aéreas e subterrâneas.

5.1.2 *Serviços geológico-geotécnicos*

Os serviços geológico-geotécnicos executados tiveram por finalidade subsidiar, principalmente a elaboração do projeto de pavimentação, que é função das características de suporte do solo de subleito. Estes serviços foram elaborados em março de 2009 e já foram descritos no item 4.3.3, bem como em Virgiliis (2009).

O CBR final adotado para o projeto de pavimentação foi igual a 8%, pois representa o valor mínimo encontrado nos ensaios.

5.1.3 *Projeto de geometria e terraplenagem*

Em meados de 2006 iniciou-se a elaboração de um projeto geométrico a partir de um lay-out proposto pela FCTH, quando da elaboração do projeto do Centro de Treinamento para o CTH em 2005.

Posteriormente, em 2008 os projetos de geometria e de terraplenagem foram modificados e elaborados a partir do levantamento topográfico. Em 2009 foram

necessárias alterações devido a questões ambientais e, finalmente, pela necessidade de inclusão de um acesso a garagem subterrânea existente no prédio de modelos reduzidos da FCTH adjacente a esse estacionamento. O projeto de geometria final pode ser visto na Figura 42.

Entre o primeiro lay-out e o último foram realizadas várias reuniões entre o PHD e o PTR. Estiveram presentes nessas discussões os professores e alunos envolvidos, na tentativa de busca da melhor solução para a implantação do modelo físico.

Durante a elaboração do projeto houve também a preocupação com a manutenção das espécies arbóreas existentes na área. Houve a necessidade de avaliação do local por parte de técnicos da SVMA da PMSP que classificaram as cerca de 44 espécies existentes no entorno e mais duas que foram removidas e replantadas (VIRGILIIS, 2009). Foi então, elaborado o projeto de transplante e compensação ambiental com auxílio do DEPAVE e posteriormente, assinado o TCA entre a SIURB e a SVMA. Este termo pode ser visto em Virgiliis (2009).

Durante a elaboração do projeto geométrico foram tomados alguns cuidados relacionados também às questões da drenagem:

- A declividade longitudinal do projeto na superfície foi orientada no sentido de proporcionar a maior infiltração de água de chuva possível, e, portanto resultou igual a 0,50 %;
- A declividade transversal também na superfície, que usualmente é igual a 2% ou 3%, nesse caso adotou-se 1%, para que também pudesse propiciar a infiltração da água no reservatório;
- Para a camada reservatório preenchida com material granular foi previsto um ponto baixo para possibilitar a coleta do escoamento subsuperficial em um único ponto, a partir da instalação de um tubo dreno, que será descrito no projeto de drenagem;
- A concordância entre o greide projetado e o existente no sentido longitudinal;
- A segregação do pavimento permeável dentro da área objeto da pesquisa, impossibilitando a captação de escoamento superficial e subsuperficial provenientes de áreas adjacentes;

Figura 42 - Lay-out final em agosto de 2009.

No projeto de terraplenagem, a partir da geometria, procurou-se ao máximo a compensação dos volumes de corte e aterro, pois o custo do material de empréstimo é elevado. Entretanto, foi necessária a importação de material em função do greide e do sentido do caimento longitudinal propostos para possibilitar a concordância com o greide existente.

5.1.4 *Projeto de drenagem*

A concepção do projeto de drenagem focou a coleta e descarga do escoamento superficial direto (ESD) e do escoamento subsuperficial que percolando pelo material de preenchimento da camada reservatório deveria ser descarregado no sistema de drenagem existente. Procurou-se conciliar os dispositivos existentes com os novos e minimizar os pontos de monitoramento. O projeto de geometria foi orientado no sentido de forçar um ponto baixo em cada módulo. Nesse ponto foi proposta a instalação de uma boca de lobo para coleta do ESD. Assim, em cada uma dessas bocas de lobo (módulo BCP e módulo CPA) foi instalado um conjunto de monitoramento. De cada uma das bocas de lobo sai uma tubulação de concreto de diâmetro 0,40 m. A tubulação proveniente do módulo de blocos intertravados de concreto é interligada a tubulação de diâmetro 0,30 m por meio de uma caixa de ligação instalada no canteiro central e daí segue outra tubulação de diâmetro 0,40 m até encontrar uma boca de lobo existente. A tubulação de 0,40 m proveniente do módulo de CPA interliga-se diretamente a boca de lobo existente. A partir dessa boca de lobo segue uma tubulação de diâmetro 0,50 m em direção ao canal localizado transversalmente a avenida Lucio Martins Rodrigues, na Cidade Universitária. O dimensionamento dessas redes foi elaborado considerando-se sistema de drenagem convencional, ou seja, em seu dimensionamento **não foi computada a infiltração no pavimento e sua reservação**. Para o cálculo da vazão afluente utilizou-se o Método Racional e para o dimensionamento hidráulico, a Fórmula de Manning associada à Equação da Continuidade, todas consagradas no meio acadêmico e técnico.

Para o cálculo das vazões com a estimativa dos coeficientes de escoamento superficial foram adotados os parâmetros propostos pela CETESB (1986) que correspondem a 0,90 e 0,75 para área pavimentada e área de passeio/calçada,

respectivamente. A intensidade da precipitação foi calculada pela equação IDF citada no item 4.3.1 e os resultados são apresentados na Tabela 18

Tabela 18 - Cálculo da contribuição para dimensionamento dos tubos de descarga na rede de drenagem local.

	Area total (m ²)	Area total (ha)	Cmédio	i (mm/min)	Q (l/s)	Q (m ³ /s)
Lado BCP	747,92	0,0748	0,88	2,440	26,89	0,0269
Lado CPA	765,93	0,0766	0,88	2,440	27,44	0,0274
Total	1513,85	0,1514	0,88	2,440	54,80	0,0548

Considerando-se declividade de assentamento dos bueiros $S=0,005$ m/m, para tubulação de concreto com diâmetro 0,40 m, tem-se $Q_{pl} = 0,144$ m³/s e $v_{pl} = 1,14$ m/s. Para a relação $h/\varnothing = 0,80$ (borda-livre), tem-se a relação $Q/Q_{pl} = 0,97$ e $v/v_{pl} = 1,13$. Portanto, a capacidade admissível da tubulação de diâmetro 0,40 m assentada com declividade de 0,005m/m é igual a 0,140 m³/s e velocidade 1,29 m/s, bem acima das vazões afluentes como mostra a Tabela 18.

Sob o canteiro central foi instalada uma tubulação de concreto com diâmetro de 0,30 m totalmente independente do sistema experimental. Essa tubulação tem por finalidade a coleta da contribuição superficial proveniente do telhado do Centro de Treinamento que descarrega diretamente na canaleta de concreto existente na interface entre o Centro de Treinamento e o estacionamento. Esse cálculo também foi elaborado pelo Método Racional e o dimensionamento hidráulico, por meio da Fórmula de Manning associada à Equação da Continuidade. O Período de Retorno considerado foi igual a 10 anos e o tempo de concentração, 10 minutos.

A Figura 43 ilustra o lay-out do projeto de drenagem.

A fim de se viabilizar a coleta do escoamento subsuperficial foi forçado um ponto baixo no eixo longitudinal a meia distância em cada um dos módulos experimentais como mostram as figuras 44 e 45 a seguir. Essa contribuição foi direcionada a uma caixa coletora dotada de vertedouro triangular e depois encaminhada para o sistema de drenagem adjacente.

Tanto a contribuição do escoamento superficial como a proveniente do reservatório subterrâneo, ou seja, o escoamento subsuperficial foram direcionados para caixas dotadas de vertedouros e sensores de nível para possibilitar o monitoramento.

Os vertedouros foram dimensionados pela equação de Kindsvater e Carter apud Lencastre (1983).

5.2 Execução da Obra

A execução da obra teve início em 01 de junho de 2009, após o transplante das duas espécies arbóreas (1 Goiabeira e 1 Ingá) solicitado pela PMSP, sendo classificadas um total de 46 espécies.

A obra foi executada de maneira convencional por uma empreiteira contratada especificamente para esse fim, e seguiu a metodologia proposta por Virgiliis (2009). Foi finalizada em meados de dezembro de 2009, restando ainda a execução da sinalização horizontal, iluminação e instalação da instrumentação, que foi executada por técnicos da FCTH.

Apresenta-se a seguir uma sequência de fotos que ilustram a execução da obra.

Figura 47 - Sequencia construtiva da obra do estacionamento
Fonte: Acervo Afonso Luís Corrêa de Virgiliis

Figura 48 - Sequencia construtiva da obra do estacionamento
Fonte: Acervo Afonso Luís Corrêa de Virgiliis

Figura 49 - Sequencia construtiva da pavimentação do estacionamento.
 Fonte: Acervos de Liliane L. C. Alves Pinto e de Afonso Luís Corrêa de Virgiliis

A sequencia de execução do revestimento do módulo de BCP foi a seguinte:

- 1º. Colocação do geotêxtil;
- 2º. Lançamento da areia grossa;

- 3°. Sarrafeamento com a régua;
- 4°. Colocação do intertravado no sentido, espinha de peixe;
- 5°. Compactação com a placa vibratória e;
- 6°. Rejunte.

Para a colocação do rejunte de areia aditivada foram tomados alguns cuidados:

- 1°. Lançamento de areia;
- 2°. Espalhamento da areia;
- 3°. Compactação com a placa vibratória realizada de forma cruzada no sentido do pavimento;
- 4°. Varrição final (limpeza);
- 5°. Pulverização com água para promover a reação do aditivo na areia.

Cabe ressaltar, que na execução do rejunte, os panos têm que ser executados totalmente, não se pode passar de uma faixa para outra sem terminá-la totalmente. A areia aditivada não pode ficar exposta à umidade (sereno, chuva etc.) durante a fase de lançamento, pois se isto ocorrer ela grudará nos poros do pavimento e sua remoção será bastante difícil.

5.3 Instrumentação

A instrumentação dos dois módulos foi executada de maneira análoga, a partir de uma estação pluviométrica instalada no canteiro central alimentada por meio de energia solar e sua remota por meio de bateria (Figura 50).

A estação pluviométrica é da marca **DAVIS**[®] de origem americana, com coletor de 16,5 cm de diâmetro por 24 cm de altura, área de coleta igual a 214 cm², e peso de 1 kg. A precisão do pluviômetro é de $\pm 3\%$ para chuvas entre 0,2 mm e 50 mm por hora e de $\pm 5\%$ para chuvas entre 50 mm e 100 mm por hora, sendo sua resolução igual a 0,2 mm.

Figura 50 - Estação pluviométrica
Fonte: Acervo de Liliane L. C. Alves Pinto

Em cada módulo foi instalada uma caixa para coleta do escoamento subsuperficial (ESS) dotada de um vertedouro triangular de dimensões conforme mostra a Figura 51 e uma boca de lobo também com um vertedouro, dimensionado a partir da equação proposta por Kindsvater e Carter apud Lencastre (1983). A Figura 52 apresenta a curva cota descarga calculada por meio de diversas fórmulas constantes na bibliografia corrente.

Figura 51 - Vertedouro projetado para monitoramento do escoamento subsuperficial

Figura 52 - Curva de descarga dos vertedouros

A instalação dos vertedouros pode ser vista na Figura 53.

Figura 53 - Instalação dos vertedouros.
Fonte: Acervo de Liliame L. C. Alves Pinto

Foram também instalados sensores de nível ultrassônicos de alta performance em cada uma das caixas como mostram as Figura 54 e Figura 55. Esses sensores possuem um range de 4 m, são modelo EasyTrek[®] fabricados pela Nivelco de origem americana. O range representa a extensão da medida possível do sensor, nesse caso igual à no máximo 1,50m. A precisão é de $\pm 0,2 \%$ da distância medida somada a $0,05 \%$ do range, sob circunstâncias ótimas de reflexão e temperatura do transdutor estável. A resolução que depende da distância a ser medida, que nesse caso é menor que 2m, é de 1 mm.

A função desses sensores é registrar a altura da lâmina d'água sobre o vertedouro e assim possibilitar o cálculo da vazão efluente.

Figura 54 - Instrumentação instalada no módulo de BCP.

Figura 55 -- Instrumentação instalada no módulo de CPA.

Fonte: Acervo de Liliane L. C. Alves Pinto

Os dados são transmitidos via estação de coleta de dados com comunicação via telefonia celular e recuperados on line via internet em intervalos de dez minutos.

6 MONITORAMENTO DO PAVIMENTO TESTE

A partir da instrumentação implantada (Figura 56) foram obtidos dados relativos à precipitação, e lâmina d'água formada sobre os vertedouros instalados nas quatro caixas projetadas no estacionamento.

Figura 56 - Localização dos sensores e da estação pluviométrica.

Os dados foram registrados pelos sensores de nível com intervalos de 10 minutos, coletados por meio de data loggers e transmitidos via modem para a página do SAISP, operado pela FCTH. A partir de um login e uma senha era possível a obtenção dos dados via internet on line. A Figura 57 ilustra a página visualizada na internet.

Data	PLU(mm)	Bloc. Fundo (m)	Asf. Fundo (m)	Bloc. Superf. (m)	Asf. Superf. (m)	Q (l/s) - Bl. Fundo	Q (l/s) - A. Fundo	Q (l/s) - Bl. Superf.
05 FEV 2010 00:00	42.6	0.032	0.024	0.008	-	0.252	0.123	0.008
04 FEV 2010 23:50	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 23:40	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 23:30	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 23:20	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 23:10	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 23:00	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 22:50	42.6	0.032	0.024	0.009	-	0.252	0.123	0.011
04 FEV 2010 22:40	42.6	0.032	0.026	0.009	-	0.252	0.150	0.011
04 FEV 2010 22:30	42.6	0.032	0.026	0.009	-	0.252	0.150	0.011
04 FEV 2010 22:20	42.6	0.032	0.026	0.009	-	0.252	0.150	0.011
04 FEV 2010 22:10	42.6	0.032	0.027	0.009	-	0.252	0.165	0.011
04 FEV 2010 22:00	42.6	0.032	0.027	0.009	-	0.252	0.165	0.011
04 FEV 2010 21:50	42.6	0.032	0.027	0.009	-	0.252	0.165	0.011
04 FEV 2010 21:40	42.6	0.032	0.028	0.009	-	0.252	0.181	0.011

Figura 57 - Página do SAISP com os dados referentes à instrumentação do estacionamento.

Os dados foram copiados e transferidos para uma planilha eletrônica do software Excel[®]. Entretanto, estes dados em sua forma original apareciam em ordem decrescente e com símbolos, que quando transferidos para planilha eletrônica geravam um arquivo de tamanho excessivo. Isso dificultou a manipulação dos dados, na medida em que o sistema demorava demasiadamente para processá-los, e culminou com a necessidade de *limpeza* desses arquivos, o que demandou certo tempo. Posteriormente, os dados foram organizados em ordem crescente e formatados para se processar à análise inicial e escolha dos melhores eventos. As planilhas foram organizadas com a seguinte sequência: precipitação e níveis d'água sobre os vertedouros referentes ao escoamento subsuperficial no BCP e CPA fundo e, escoamento superficial no BCP e CPA superficial. As unidades de saída são milímetros (mm) e metros (m), respectivamente.

O monitoramento teve início no dia 18 de janeiro de 2010, porém os sensores superficiais só foram ligados no dia 19 de janeiro às 14h00min. Cabe aqui esclarecer que em virtude do painel da estação remota instalada para coleta de dados só possuir quatro canais, não foi possível a coleta simultânea dos dados superficiais, ou

seja, provenientes de escoamento superficial do módulo de BCP e do módulo de CPA. Diante dessa dificuldade optou-se por monitorar a precipitação, o escoamento subsuperficial em ambos os módulos e o escoamento superficial em apenas um dos módulos, por vez. Essa sistemática seguiu a seguinte cronologia:

- módulo de **BCP**:
 - de 19 de janeiro a 07 de fevereiro e;
 - de 23 de março a 12 de abril.
- módulo de **CPA**:
 - de 8 de fevereiro a 22 de março e;
 - a partir de 13 de abril.

Foram coletados e armazenados todos os dados referentes a 23 eventos ocorridos no período do monitoramento. A partir da análise desses dados foram selecionados os eventos cuja precipitação acumulada ultrapassou 10 mm e a duração 30 minutos. Na Tabela 19 pode-se ver os dados referentes a precipitação, duração e período de retorno associado a cada um dos 16 eventos selecionados para análise.

Tabela 19 - Resumo dos eventos selecionados para análise.

Item	Módulo Monitorado	Evento	Precipitação (mm)	Duração do Evento		Duração do Evento (horas)	TR Gumbel (anos)	TR IDF* (anos)
				Início	Fim			
1	BCP	1/2/2010	23,60	18:00	20:00	02:00	1,02	1,02
2	BCP	2/2/2010	16,60	17:30	20:50	03:20	< 1	< 1
3	BCP	4/2/2010	42,60	15:40	17:50	02:10	2,50	1,60
4	BCP	6/2/2010	2,80	17:30	18:20	00:50	< 1	< 1
5	CPA	25/2/2010	25,20	03:00	05:50	02:50	1,02	1,02
6	CPA	25/2/2010	1,80	06:10	07:30	01:20	< 1	< 1
7	CPA	25/2/2010	8,40	08:40	10:00	01:20	< 1	< 1
	CPA	25/2/2010	35,40			07:00	1,13	1,12
8	CPA	6/3/2010	31,20	07:00	13:50	06:50	1,02	1,05
9	CPA	14/3/2010	4,00	12:50	13:10	00:30	< 1	< 1
10	CPA	14/3/2010	10,40	17:40	19:00	01:20	< 1	< 1
11	CPA	14/3/2010	2,00	21:30	22:30	01:00	< 1	< 1
	CPA	14/3/2010	16,40			9:40		< 1
12	CPA	15/3/2010	2,80	03:40	06:20	02:40	< 1	< 1
	CPA	14 a 15/3/2010	20,00	12:40	08:50	20:10	< 1	< 1
13	BCP	25/3/2010	73,40	14:50	17:00	02:10	63	10

Item	Módulo Monitorado	Evento	Precipitação (mm)	Duração do Evento		Duração do Evento (horas)	TR Gumbel (anos)	TR IDF* (anos)
				Início	Fim			
14	BCP	6/4/2010	18,80	09:10	17:10	01:10	< 1	< 1
15	CPA	23/4/2010	17,20	15:40	19:50	04:10	< 1	< 1
16	CPA	8/5/2010	21,40	17:20	21:40	4:20	< 1	< 1

* IDF desenvolvida por Martinez e Magni (1999) para a cidade de São Paulo, a partir de dados do posto IAG/USP-E3-035.

A correlação entre a precipitação e o período de retorno foi realizada inicialmente pela equação de chuvas descrita no item 4.3.1.

Entretanto, os eventos do dia 4 de fevereiro (Figura 58) e 25 de março de 2010 foram bastante significativos causando inclusive, desconforto à população.

Figura 58 - Precipitação do dia 4/2/2010 sobre o módulo de BCP.

Fonte: Acervo de Liliane L. C. Alves Pinto

Períodos de retorno elevados podem ser inferidos a partir do ajuste de diferentes distribuições probabilísticas.

Assim, julgou-se importante, avaliar o período de retorno dessas precipitações de duas maneiras: pela IDF proposta por Martinez e Magni (1999) e por meio das distribuições probabilísticas.

Procedeu-se então, ao cálculo da chuva máxima anual para a série histórica do posto E3-035 – IAG/USP compreendida entre 1936 e 2004, com a definição de curvas adimensionais de chuva acumulada ao longo de 24 horas. O gráfico da Figura 59 apresenta a série de chuvas máximas anuais para o período de 69 anos.

Enquanto os valores da precipitação observada foram lançados em função do período de retorno da série histórica como mostra a Figura 60.

Figura 59 – Chuva máxima anual observada no posto E3-035 – IAG/USP no período de 1936 a 2004

Figura 60 - Precipitação Observada x Período de Retorno.

6.1 Estatística de extremos

Os dados hidrológicos apresentam variações sazonais que podem ser irregulares com a ocorrência de extremos e diferentes sequências de valores que caracterizam as variáveis como aleatórias. As variáveis hidrológicas estão sempre associadas a uma probabilidade de ocorrência, e para avaliar a ocorrência de

fenômenos hidrológicos de determinada magnitude deve-se lançar mão de técnicas estatísticas.

Uma distribuição de probabilidade é definida a partir da frequência relativa de uma variável acumulada sobre esta variável.

Em hidrologia as distribuições de probabilidades notáveis que usualmente se adaptam a extremos são:

- **Normal**

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (24)$$

sendo m a média e σ o desvio padrão da amostra. A função de probabilidade acumulada é dada por:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = p(X \leq x) \quad (25)$$

O cálculo desta integral é realizado numericamente através da seguinte mudança de variável:

$$z = \frac{x-m}{\sigma} \quad (26)$$

E portanto,

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)dz \quad (27)$$

- **Log Normal (2 parâmetros)**

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \text{ onde } y=\log(x) \quad (28)$$

- **Gumbel (2 parâmetros)**

$$F(x) = e^{-e^{\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (29) \quad \text{sendo que}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}\sigma}{\pi} = 0,7797\sigma \quad (30) \quad u = m - 0,5772\alpha \quad (31)$$

Fazendo-se a mudança de variável $y = (x-u)/\alpha$ (32) tem-se que:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (33) \quad \text{resulta em} \quad y = -\ln\left[\ln\frac{1}{F(x)}\right] \quad (34) \quad \text{e} \quad y_T = -\ln\left[\ln\frac{T}{T-1}\right] \quad (35)$$

- **Log Pearson III (3 parâmetros)**

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta (y-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(y-\epsilon)}}{x\Gamma(\beta)} \quad (36)$$

$$\text{onde } y = \log x \quad (37) \quad \log x \geq \epsilon \quad \lambda = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}} \quad (38) \quad \beta = \left[\frac{2}{C_s(y)}\right]^2 \quad (39)$$

$$\epsilon = \bar{y} - S_y \sqrt{\beta} \quad (40) \quad \text{supondo-se que } C_s(y) \text{ é positivo}$$

Existe ainda uma fórmula alternativa na qual, por exemplo, a vazão para um tempo de retorno TR é calculada por,

$$\log Q_{TR} = \overline{\log Q} + K S_{\log Q} \quad (41)$$

Na qual,

$S_{\log Q}$ = desvio padrão dos logaritmos das vazões

O parâmetro K é calculado por:

$$K = \frac{2}{G} \left\{ \left[\left(k_1 - \frac{G}{6} \right) \left(\frac{G}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1 \right\} \quad (42)$$

Com,

$$k_1 = t - \frac{2,515517 + 0,802853t + 0,010328t^2}{1 + 1,432788t + 0,189269t^2 + 0,001308t^3} \quad (43) \quad t = \sqrt{2 \ln T} \quad (44)$$

E sendo G , o coeficiente de assimetria

Nesta pesquisa para fins de definição dos períodos de retorno das precipitações para as durações observadas foram adotadas as distribuições: Normal, LogNormal, Gumbel e Pearson III. A Tabela 20 e a Figura 61 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 20 - Distribuições Probabilísticas – Posto E3-035 – IAG/USP - Precipitação

Precipitação Observada (mm)	TR (anos)	Normal (mm)	Gumbel (mm)	LogNormal (mm)	Pearson III (mm)
47,3	1,01	25,74	40,14	39,06	
48,2	1,02	31,36	42,76	41,91	
48,7	1,05	39,61	46,94	46,47	
51,2	1,10	46,60	50,85	50,72	
52,3	1,13	49,43	52,54	52,55	
54,6	1,20	54,31	55,62	55,86	
57,2	1,30	59,15	58,89	59,35	
65	1,50	65,56	63,62	64,31	
71,7	2	74,59	71,15	72,01	71,07
73,9	2,50	79,91	76,14	76,96	
80,2	3	83,63	79,92	80,63	
83	4	88,74	85,53	85,96	
92,6	5	92,24	89,69	89,82	89,41
100	10	101,47	101,96	100,82	101,55
117,1	20	109,08	113,73	110,91	
119,2	25	111,30	117,47	114,03	117,02
129,6	50	117,66	128,97	123,48	128,69
150,3	63	119,63	132,79	126,56	
	100	123,37	140,39	132,64	140,44

Figura 61 - Distribuições Probabilísticas – Posto E3-035 – IAG/USP

Figura 62 - Distribuições Probabilísticas – Posto E3-035 – IAG/USP – para períodos de retorno entre 1 e 10 anos

Analisando-se as figuras anteriores pode-se perceber que a IDF de São Paulo apresenta valores menores que a precipitação observada e que os valores obtidos com as distribuições quando analisados os resultados para períodos de retorno entre 1 e 5 anos. Para os demais períodos de retorno estudados a IDF se aproxima da precipitação observada.

Não se conhece, entretanto, até o momento uma metodologia que indique a melhor distribuição a ser adotada. Não existe a melhor. A escolha varia de caso para caso. “O engenheiro deve fazer o que lhe parece no momento, a partir das evidências disponíveis, ser a melhor escolha” (BENJAMIN; CORNELL, 1970). Dessa forma, nesse caso optou-se pela distribuição de Gumbel, pois foi a que melhor aderiu a série de dados.

Entretanto, a precipitação observada da série histórica corresponde a chuva de vinte e quatro horas, enquanto as durações dos eventos ocorridos resultaram em valores diferentes. Houve portanto, a necessidade de desagregação da chuva para essas durações.

A desagregação das chuvas seguiu a metodologia proposta por Porto et al.(1993) apresentada na sequencia.

O ajuste da precipitação de vinte e quatro horas para a duração desejada pode ser visto no apêndice na Tabela 76 e foi elaborado a partir das seguintes equações:

$$h_t = r \cdot h_{24} \quad (45)$$

Na qual,

$$r = \left(D - \frac{0,10}{23,9}\right)^{0,242} \quad (46)$$

r = coeficiente de desagregação

h_t = valor médio da chuva máxima de duração t horas (mm)

h_{24} = valor médio da chuva máxima de 24 horas (mm)

D = duração da chuva (horas)

Como se pode perceber os eventos mais significativos constatados durante o período monitorado para elaboração desta pesquisa foram os ocorridos nos dias 4/02, 25/02 e 25/03, com 42,60 mm, 35,40 mm e 73,40mm de precipitação, respectivamente. Desses eventos o que apresentou maior intensidade foi o de 25/03 com duração de 2 horas e 10 minutos ($S=0,565$ mm/min), correspondente a um Período de Retorno de 63 anos quando calculada pela distribuição de Gumbel e 10 anos quando calculada pela IDF. Essas diferenças são decorrentes dos processos de cálculo empregados.

A seguir proceder-se-á a uma análise de três eventos selecionados.

6.2 Análise dos eventos monitorados

Os reservatórios subterrâneos dos módulos de BCP e de CPA têm capacidade de armazenamento aproximadamente igual a 187 m³ e 191,50 m³, respectivamente. Esses valores correspondem a uma chuva de 15 mm para porosidade equivalente igual a 0,36 no módulo de BCP e, porosidade equivalente igual a 0,40 no CPA. Portanto, chuvas com precipitação acumulada menores que 15 mm podem ficar totalmente retidas nos reservatórios. Isso será discutido na sequência.

Pretende-se analisar em todos os eventos:

- Os tempos de retardo proporcionados em cada um dos módulos em virtude do tipo de material de base e sub-base;

- O tempo de esvaziamento da camada reservatório para os períodos de retorno e para as durações ensaiadas;
- Os tempos de esvaziamento resultantes confrontados com os propostos na bibliografia corrente, quando possível;
- Os volumes armazenados em relação à chuva total e;
- O coeficiente de escoamento superficial de cada revestimento.

6.2.1 *Evento de 4 de fevereiro de 2010*

No evento de 4 de fevereiro de 2010 quando ocorreu uma precipitação acumulada de 42,6 mm, o sensor de nível de escoamento superficial estava instalado na boca de lobo do módulo de blocos intertravados de concreto (BCP). Portanto, a análise dessa chuva será focada nesse módulo. A precipitação teve início às 15h40min e terminou às 17h50min, com **duração de duas horas e dez minutos** e período de retorno igual a 2,5 anos segundo a distribuição de Gumbel e 1,6 anos pela IDF. A Figura 63, a Tabela 21 e a Tabela 77 presente no apêndice desta tese, apresentam os dados registrados nos sensores de nível e os resultados obtidos da análise.

A partir dos dados observados nas Tabela 77 (apêndice) e Tabela 21 pode-se concluir que:

- A chuva teve início às 15h40min e, 10 minutos depois, o sensor de escoamento superficial do módulo de BCP começou a registrar, isto vem de certa forma validar o tempo de concentração mínimo considerado em projetos de micro-drenagem, igual a 10 minutos. Entretanto, não se pode esquecer que os dados são registrados no data logger em intervalos de 10 minutos. Talvez, se registrados em intervalos menores, o tempo de percurso do escoamento superficial também resultasse menor.

Por outro lado, como pode ser visto na Figura 63, o sensor de escoamento subsuperficial, só começou a registrar depois de 50 minutos do início do evento, portanto proporcionando um retardo de quase uma hora para lançamento no sistema de drenagem. O módulo de CPA não pôde ser

totalmente analisado em virtude da falta de dados referentes ao sensor de medição de escoamento superficial, porém pode-se tecer comentários a cerca do tempo de retardo do escoamento subsuperficial. Nesse caso, o tempo de retardo foi da ordem de 20 minutos, portanto 40% menor que do bloco, porém o volume escoado foi muito maior que no BCP, o que nos faz crer que o escoamento superficial gerado nesse caso, resultou muito pequeno.

A demora para o escoamento se dar dentro da camada reservatório do **BCP** pode ser em função do coeficiente de permeabilidade da camada de revestimento (0,092 cm/s) e da porosidade efetiva dos materiais constituintes das camadas de base e sub-base ($\mu=0,36$). Ainda, quando comparados os módulos de BCP e de CPA, a porosidade da camada de base constituída de macadame hidráulico ($\mu=0,40$) é maior no CPA, ou seja, com maior número de vazios, enquanto a permeabilidade da camada de revestimento (0,016 cm/s) também é maior. Soma-se a isso a areia de rejunte, a camada de 0,04 m de berço de areia e o geotêxtil executados sob a camada de revestimento de BCP, cuja finalidade era evitar a colmatção da camada reservatório (base e sub-base).

- Até o início da outra precipitação que foi de 1,6 mm e se deu em 5 de fevereiro às 17h30min, portanto 23h40min depois do fim da precipitação de 4 de fevereiro, 36% do volume precipitado já havia saído do reservatório, restando somente 27,39 mm armazenado. Portanto, muito provavelmente, se não houvesse ocorrido outra chuva o tempo de esvaziamento da camada reservatório seria menor que 72 horas como afirma Schueler (1987), porém contrariando o proposto por Urbonas e Stahre (1993). Estes afirmam que o tempo de esvaziamento deve ser entre 6 e 12 horas;
- Durante as 23h 40min monitoradas antes do início do próximo evento, o volume total precipitado para chuva de 42,60 mm foi de 31,86 m³ no módulo de BCP e de 32,63 m³ no módulo de CPA, considerando-se como área total, a área dos pavimentos, sarjetas e canteiros.

Figura 63 - Níveis registrados nos sensores durante o evento de 4/2/2010

Tabela 21 - Resumo do evento do dia 4 de fevereiro de 2010 até 5 de fevereiro as 17h20min (antes do início do próximo evento).

Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração total do evento (horas)	Volume total precipitado sobre o BCP (m³)	Volume total precipitado sobre o CPA (m³)	Volume escoado Superficial no BCP (m³)	Volume escoado no BCP Fundo (m³)	Volume escoado Superficial no CPA (m³)	Volume escoado no CPA fundo (m³)	Balanço do BCP (m³)	Balanço do CPA (m³)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (m³)
		Início (h)	Fim (h)											
4/2/2010	42,60	15:40	17:50	02:10	31,86	32,63	4,40	6,98	SD	25,25	11,38	SD	27,39	20,49

SD = sem dados

Como se pode ver na Tabela 21, após o cálculo do balanço hídrico, o volume escoado superficial foi de $4,40 \text{ m}^3$ (5,88mm) de um volume total $31,86 \text{ m}^3$, portanto $27,46 \text{ m}^3$ foram direcionados para o reservatório. Isto significa que somente 14% do volume total tornou-se escoamento superficial direto e 86% infiltrou no pavimento e propiciou retardo significativo no sistema de drenagem. Portanto, de uma chuva de 42,60 mm, 36,72mm foi direcionada para o reservatório, e destes 9,33 mm foram para o sistema de drenagem durante as 23h40min anteriores ao próximo evento, ficando retidos no reservatório os 27,39 mm restantes para finalizar o balanço.

- O coeficiente de escoamento superficial (C) do bloco nesse caso resultou igual a 0,14.

Como se pode perceber pela Tabela 77 o pico da chuva se deu às 16h50min com um bloco de chuva de 11,40mm. A Figura 63 e a Figura 64 ilustram o comportamento registrado nos sensores e demonstram que os picos dos hidrogramas coincidem com o pico da chuva.

Analisando-se a Figura 63 percebe-se que o comportamento dos sensores acompanhou a precipitação. O volume de escoamento subsuperficial no CPA é notadamente maior que o do BCP, porém ambos apresentam retardo quando comparados com o pico de chuva. Nesse caso pode-se assumir a hipótese de que o volume de chuva escoado pelo módulo de CPA transfere-se para o sistema de drenagem mais rapidamente que o proveniente do módulo de BCP. E como não há a formação de lâmina d'água sobre o CPA durante a chuva, o volume de escoamento superficial encaminhado para a boca de lobo, é muito pequeno.

A Figura 64 ilustra os hidrogramas gerados pelo escoamento superficial e subsuperficial no BCP. Na Figura 65 os hidrogramas são comparados a vazão potencial, ou seja, aquela que seria gerada pela precipitação total caso não houvesse infiltração através do revestimento e do reservatório subterrâneo. Esta foi calculada a partir da área de contribuição, do coeficiente de escoamento superficial igual a 1 e da precipitação na unidade de tempo.

Figura 64 - Vazões geradas a partir dos níveis registrados durante o evento

Figura 65 - Vazões geradas em relação aos dados registrados nos sensores de BCP x Vazão Potencial

6.2.2 Evento de 25 de fevereiro de 2010

No evento de 25 de fevereiro de 2010 o sensor de nível de escoamento superficial estava instalado na boca de lobo do módulo de CPA. A precipitação total de 25,20 mm teve início às 3:00 horas e terminou às 5:50 horas, com **duração de duas horas e cinquenta minutos e período de retorno igual a 1,02 anos**. A Tabela 78 e a Tabela 22 apresentam os dados registrados nos sensores e os resultados obtidos da análise.

A partir dos dados observados na Tabela 22 pode-se concluir que:

- A chuva teve início às 3:00 hs e somente 40 minutos depois o sensor de escoamento **subsuperficial** do **módulo de CPA** começou a registrar. Significa que nesse caso, o **tempo de percurso** dentro da estrutura reservatório foi da ordem de 40 minutos propiciando um tempo de retardo significativo para o lançamento no sistema de drenagem;

Por outro lado, como pode ser visto na Figura 67, o sensor de **escoamento superficial**, só começou a registrar depois de 02h10min do início do evento, portanto proporcionando também, um retardo significativo para lançamento no sistema de drenagem. Soma-se a isso, o fato do volume lançado ser muito pequeno, o que sugere que grande parte da chuva precipitada sobre o CPA infiltrou para camada reservatório.

O **módulo de BCP** não pôde ser totalmente analisado em virtude da falta de dados referentes ao sensor de medição de escoamento superficial, porém pode-se tecer comentários a cerca do tempo de retardo do escoamento **subsuperficial**. Nesse caso, o tempo de retardo foi da ordem de 01h30min, portanto 2,25 vezes maior que do asfalto. Entretanto, o volume escoado no módulo de BCP foi menor que no CPA, o que faz crer que o escoamento superficial gerado nesse caso, deve ter sido bastante significativo, ao contrário do que aconteceu com o CPA.

Pode-se perceber pela Figura 67 que durante o evento, o volume de escoamento subsuperficial direcionado ao reservatório do módulo de CPA foi muito maior, quando comparado ao de BCP. Ressalta-se que a **permeabilidade média dos materiais constituintes da camada reservatório**

do módulo de BCP é igual a 3,14 cm/s, enquanto a da camada reservatório do módulo de CPA é igual a 6,02, praticamente o dobro do módulo de BCP. A permeabilidade das camadas de revestimento do módulo de BCP e do CPA são respectivamente, 0,09 cm/s e 0,16 cm/s. Portanto, a permeabilidade média do módulo de CPA é quase o dobro do módulo de BCP e provavelmente o que interfere mais na infiltração da água no reservatório é a camada reservatório e não o revestimento.

Caso não tenha ocorrido a colmatção da camada de revestimento, o que a princípio não ocorreu, pois a obra terminou em dezembro de 2010, assim como a instrumentação foi instalada em 18/01/2010, a capacidade de infiltração maior no CPA se dá também, em função das características das camadas de base e sub-base do módulo de BCP.

No CPA a camada de base é composta por macadame hidráulico (pedra 3), cuja porosidade é igual a 0,40, ou seja, maior que a porosidade efetiva ensaiada no módulo de BCP, igual a 0,36. Nesse módulo, a camada de base com 0,10 m de espessura é composta de brita graduada faixa “B” (cuja porosidade (μ) é da ordem de 0,29) e foi executada sob camada de geotêxtil ($k=0,40$ cm/s). Esta foi implantada sobre uma camada de macadame hidráulico de 0,15 m de espessura com $\mu=0,40$, similar a do CPA. É fato que a capacidade de infiltração da camada de BGS é menor que da camada de sub-base composta de macadame hidráulico. Soma-se a esse fato, o rejunte executado nos blocos de concreto, que certamente impedem de certa forma, a penetração da água por entre os blocos. Significa, portanto, que no módulo de BCP a precipitação encontra mais “*obstáculos*” até atingir a camada de macadame hidráulico.

- Uma hora depois do fim da precipitação (que se deu às 05h50min), 65% do volume precipitado (16,42 mm) já havia sido lançado no sistema de drenagem, ou seja, 3 horas depois do início da chuva. Considerando-se que a precipitação já havia cessado e o sensor de escoamento superficial não registrava nada, restaram somente 8,78 mm armazenados no reservatório de brita. Portanto, certamente, para escoar os 35% restante o tempo de esvaziamento do reservatório seria menor que 72 horas;

- Durante as 3h50min monitoradas, o volume total registrado nos vertedouros para chuva de 25,20 mm foi de 12,51 m³ no módulo de CPA e de 0,048 m³ no módulo de BCP, considerando-se como área total, a área dos pavimentos, sarjetas e canteiros.

Como se pode ver na Tabela 22, após o cálculo do balanço hídrico, o volume escoado superficial foi de 0,069 m³ (0,091mm) de um volume total 19,30 m³, portanto 19,23 m³ foram direcionados para o reservatório. Isto significa que somente 0,36% do volume total tornou-se escoamento superficial direto e 99,64% infiltrou no pavimento e propiciou retardo significativo no sistema de drenagem.

De uma chuva de 25,20 mm, 25,11 mm foram direcionados para o reservatório. Desse total, 16,32mm foram registrados no sensor de escoamento subsuperficial até uma hora depois do término da chuva e 16,42 mm foram para o sistema de drenagem durante as 3h50min monitoradas. Portanto, ficaram retidos no reservatório os 8,78 mm restantes para finalizar o balanço hídrico.

- O coeficiente de escoamento superficial (C) do asfalto nesse caso resultou igual a 0,12.

Como se pode perceber pela Tabela 22 e Figura 66, o pico da chuva ocorreu às 03h40min com um bloco de chuva de 6,60mm. As Figura 67 e Figura 68 ilustram o comportamento registrado nos sensores e demonstram que os picos dos hidrogramas têm defasagem em relação ao pico da chuva.

Analisando-se a Figura 67 percebe-se que o comportamento dos sensores acompanhou a precipitação. O volume de escoamento subsuperficial no CPA é notadamente maior que o do BCP, porém ambos apresentam retardo quando comparados com o pico de chuva.

O pico da chuva se deu às 03h40min, enquanto o pico registrado pelo sensor de escoamento subsuperficial manteve-se no intervalo entre 04h10min e 5h10min. Na boca de lobo, o ESD só foi registrado no intervalo entre 5:00hs e 5h40min e coincide com o pluviograma, que registrou um segundo pico às 5h10min. O que se observa é que a precipitação inicial não gerou ESD, o que demonstra que o CPA

apresenta capacidade de infiltração bastante significativa. O sensor do módulo de BCP subsuperficial só começou a registrar às 04h30min, ou seja, uma hora depois do início da chuva.

Nesse caso pode-se assumir a hipótese de que o volume de chuva escoado pelo módulo de CPA transfere-se para o sistema de drenagem mais rapidamente que o proveniente do módulo de bloco. E como não há a formação de lâmina d'água sobre o CPA durante a chuva, o volume de escoamento superficial encaminhado para a boca de lobo, é muito pequeno.

A Figura 68 ilustra os hidrogramas gerados pelo escoamento superficial e subsuperficial. Na Figura 69 os hidrogramas são comparados a vazão potencial, ou seja, aquela que seria gerada pela precipitação total caso não houvesse infiltração através do revestimento e do reservatório subterrâneo.

Da comparação desses hidrogramas conclui-se que a permeabilidade do conjunto revestimento/reservatório é bastante eficiente, devido à permeabilidade proporcionada pelo revestimento de CPA associada à permeabilidade e à porosidade da camada reservatório constituída de macadame hidráulico (pedra 3).

O abatimento do hidrograma resultante do escoamento subsuperficial é da ordem de 95% do volume gerado pela chuva no instante do pico. Às 03h40min a vazão potencial seria de 7,35 l/s (volume de 4,42 m³), enquanto a vazão real gerada no reservatório foi de 0,34 l/s (volume de 0,20 m³).

Figura 66 - Chuva de 25/2/2010 desagregada

Figura 67 - Níveis registrados nos sensores durante o evento de 25/2/2010.

Figura 68 - Vazões geradas a partir dos níveis registrados durante o evento.

Tabela 22 - Resumo do evento do dia 25 de fevereiro de 2010.

Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração total do evento (horas)	Volume total precipitado sobre o BCP (m³)	Volume total precipitado sobre o CPA (m³)	Volume escoado Superficial no BCP (m³)	Volume escoado no BCP Fundo (m³)	Volume escoado Superficial no CPA (m³)	Volume escoado no CPA fundo (m³)	Balanço do BCP (m³)	Balanço do CPA (m³)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (m³)
		Início (h)	Fim (h)											
25/2/2010	25,20	3:00	5:50	02:50	18,85	19,30	SD	0,048	0,069	12,51	SD	12,56	8,78	6,72

SD = sem dados

Figura 69 - Vazões geradas em relação aos dados registrados nos sensores do módulo de CPA x Vazão Potencial.

6.2.3 Evento de 25 de março de 2010

No evento de 25 de março de 2010 o sensor de nível de escoamento superficial estava instalado na boca de lobo do módulo de BCP. A precipitação total de 73,40mm teve início às 14h50min e terminou às 17h00min, com **duração de 2 horas e 10 minutos e período de retorno** igual a 10 anos. A Tabela 79 (apêndice) e a Tabela 23 apresentam os dados registrados nos sensores e os resultados obtidos da análise.

A partir dos dados observados na Tabela 79 e na Tabela 23 pode-se afirmar que:

- Essa chuva teve início entre 14h40min e 14h50min, pois às 14h50min a estação pluviométrica já registrava um bloco de chuvas de 9,40mm. Os sensores de escoamento **subsuperficial dos módulos de BCP e CPA** começaram a registrar às 15:00 hs, aproximadamente 10 minutos depois do início da chuva, quando foi registrado um bloco de chuva de 26 mm equivalente a um período de retorno de 15 anos. Significa que nesse caso, o **tempo de percurso** dentro da estrutura reservatório em ambos os módulos foi de somente 10 minutos.

Como pode ser visto na Figura 71, o sensor de **escoamento superficial do módulo de BCP**, passou a registrar desde o início da chuva.

Quando se analisa o módulo de BCP individualmente nota-se que mesmo durante um evento significativo como esse, o volume de ESD gerado é maior do que o volume que infiltra para o reservatório. O volume total precipitado foi de 54,90 m³, deste 31,88 m³, ou seja, 58,10% gerou ESD e 21,61m³ (39,40%) foi direcionado para o reservatório e lançado no sistema de drenagem até o início do próximo evento, que se deu em 26/03/2010 às 14h00min, praticamente, 24 h depois desse evento. Restaram ainda, cerca de 2,5% que pode ter ficado retido no reservatório ou que pode ser considerado como o “erro” assumido no experimento, na medida em que se trata de um modelo físico no qual externalidades podem vir a ocorrer.

O **módulo de CPA** não pôde ser totalmente analisado em virtude da falta de dados referentes ao sensor de medição de ESD, porém podem-se tecer alguns comentários.

Pode-se perceber pela Figura 71 que durante o evento, o volume de escoamento subsuperficial direcionado ao reservatório do módulo de CPA foi muito maior, quando comparado ao de BCP. O Reservatório do módulo de CPA absorveu um volume de 53,08 m³ que corresponde a 94% do volume total precipitado igual a 56,22 m³. Portanto, nesse caso, o volume de ESD gerado foi muito pequeno, ou seja, no máximo de 6% até o início da próxima chuva.

Quando se analisa o conjunto do experimento, BCP x CPA a partir dos resultados desse evento pode-se afirmar que o módulo de CPA acaba por proporcionar maior amortecimento ou retardo, no sistema de drenagem, pois a maior parte do volume precipitado infiltra pelo CPA, enquanto no BCP o volume de ESD gerado é instantaneamente direcionado para o sistema de drenagem adjacente. Isso significa que a parcela de volume infiltrada pelo módulo de BCP, nesse evento, por exemplo, corresponde a 39,4% de amortecimento do pico da chuva, enquanto no CPA foi da ordem de 94%.

- O tempo de esvaziamento do reservatório do BCP foi de 22h50min, ou seja, menor que 72 horas (SCHUELER, 1987).
- Até o início do próximo evento restou somente 1,88 mm armazenado no reservatório de brita do módulo de BCP.
- O coeficiente de escoamento superficial (C) do BCP nesse caso resultou igual a 0,48.

Como se pode perceber pela Tabela 79 e Figura 70, o pico da chuva se deu às 15h00min com um bloco de chuva de 26 mm, enquanto o pico registrado pelo sensor de escoamento subsuperficial do módulo de CPA manteve-se no intervalo entre 15h10min e 16h20min.

Figura 70 - Chuva de 25/3/2010 desagregada.

Figura 71 - Níveis registrados nos sensores durante o evento de 25/3/2010.

A Figura 70 e a Figura 71 ilustram os registros dos sensores e demonstram que os mesmos acompanharam o comportamento da precipitação e, que o pico do hidrograma do bloco superficial não apresenta defasagem em relação ao pico da chuva. Por outro lado, os sensores de fundo do bloco e do asfalto registraram uma defasagem de 10 minutos cada um.

Ainda, analisando-se a Figura 71 percebe-se que o volume de escoamento subsuperficial no CPA é notadamente maior que o do BCP.

A Figura 72 ilustra os hidrogramas gerados pelo escoamento superficial e subsuperficial no módulo de BCP e nas Figura 73 e Figura 74 os hidrogramas são comparados à vazão potencial.

A Figura 73 demonstra que o abatimento no hidrograma é significativo no módulo de CPA, quando comparado com a vazão potencial, ou seja, aquela gerada pela precipitação total.

Do volume total precipitado sobre o BCP (54,90 m³) 39,40% foi direcionado para o reservatório subsuperficial.

Às 15h00min a vazão potencial seria de 28,99 l/s, enquanto a vazão real registrada na saída do reservatório do BCP foi de 0,027 l/s, e na boca de lobo de 23,13 l/s. Portanto, é necessário comentar que 80% do deflúvio gerado pela chuva nesse instante foi lançado imediatamente no sistema de drenagem.

Da comparação desses hidrogramas conclui-se que a permeabilidade do conjunto revestimento/reservatório de CPA é bastante eficiente, pois é fato a permeabilidade do conjunto revestimento/reservatório proporcionada pelo revestimento associada à porosidade da camada reservatório constituída de macadame hidráulico (pedra 3).

Figura 72 - Vazões geradas no módulo de BCP a partir dos níveis registrados durante o evento.

Figura 73- Vazões geradas no módulo de CPA a partir dos níveis registrados nos sensores x Vazão Potencial.

Tabela 23 - Resumo do evento do dia 25 de março de 2010.

Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração total do evento (horas)	Volume total precipitado sobre o BCP (m³)	Volume total precipitado sobre o CPA (m³)	Volume escoado Superficial no BCP (m³)	Volume escoado no BCP Fundo (m³)	Volume escoado Superficial no CPA (m³)	Volume escoado no CPA fundo (m³)	Balanço do BCP (m³)	Balanço do CPA (m³)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (m³)
		Início (h)	Fim (h)											
25/3/2010	73,40	14:50	17:00	02:10	54,90	56,22	31,88	21,61	SD	53,08	53,49	SD	1,88	1,41

SD = sem dados

Figura 74 - Vazões geradas em relação aos dados registrados nos sensores de BCP x Vazão Potencial.

6.2.4 *Resumo geral dos demais eventos*

Apresenta-se a seguir a Tabela 24 com o resumo geral dos eventos selecionados para análise e as tabelas Tabela 25 e Tabela 26, com os resumos de cada módulo.

Os eventos muito prolongados, como os ocorridos entre os dias 14/3 e 15/3 e 8/5 e 9/5 foram analisados a partir da precipitação acumulada e a partir do blocos de chuva ocorridos ao longo do período da precipitação acumulada. Entretanto, pode-se perceber que nos blocos cuja precipitação acumulada resultou menor que 4 mm não houve a geração de ESD suficiente para ser lançado no sistema de drenagem, ou seja toda a precipitação ficou retida no reservatório.

Pode-se afirmar, portanto, que para precipitações de longa duração e baixa intensidade não há geração de ESD. Obviamente, o volume de acumulação é proporcional à capacidade de armazenamento do reservatório projetado.

Tabela 24- Resumo geral dos eventos selecionados para análise .

Item	Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração do evento (horas)	Volume total precipitado sobre o BCP (mm)	Volume total precipitado sobre o CPA (mm)	Volume escoado Superficial no BCP (mm)	Volume escoado no BCP Fundo (mm)	Volume escoado Superficial no CPA (mm)	Volume escoado no CPA fundo (mm)	Balanço do BCP (mm)	Balanço do CPA (mm)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (mm)	Observações
			Início (hora)	Fim (hora)												
1	1/2/2010	23,60	18:00	20:00	02:00	17650,91	18075,95	1122,01	144,61	SD	9237,18	1266,62	SD	21,91		
2	2/2/2010	16,60	17:30	20:50	03:20	12415,47	12714,44	9743,80	350,29	SD	9467,23	10281,40	SD	3,10		
3	4/2/2010	42,60	15:40	17:50	02:10	31861,39	32628,62	4399,18	6975,52	SD	25253,58	11374,70	SD	27,39	20486,69	
4	6/2/2010	2,80	17:30	18:20	00:50	2094,18	2144,60	*	*	*	*	*	*	*	*	Evento com falhas na medição
5	25/2/2010	25,20	03:00	05:50	02:50	18847,58	19301,44	SD	48,18	69,44	12507,03	SD	12576,47	8,78	6724,97	
6	25/2/2010	1,20	07:10	07:30	00:20	897,50	919,12	SD	0,00	0,00	0,00	SD	0,00	1,20	919,12	O evento ficou todo retido no reservatório
7	25/2/2010	8,40	08:40	10:00	01:20	6282,53	6433,81	SD	0,00	123,08	554,94	SD	678,02	7,51	5755,79	
8	6/3/2010	31,20	07:00	13:50	06:50	23335,10	23897,02	SD	4380,50	855,89	21691,88	SD	22547,77	1,76	500,32	
9	14/3/2010	4,00	12:40	13:10	00:30	2991,68	3063,72	SD	2,53	0,00	116,92	SD	116,92	3,85	2946,80	
10	14/3/2010	10,40	17:30	19:00	01:30	7778,368	7965,672	SD	249,15	13,04	3418,09	SD	3431,12	5,92	4534,55	
11	14/3/2010	2,00	21:30	22:30	01:00	1495,84	1531,86	SD	0	0	0	SD	0,00	2,00	1531,86	O evento ficou todo retido no reservatório
12	15/3/2010	2,80	03:40	06:20	02:40	2094,176	2144,604	SD	0	0	0	SD	0,00	2,80	2144,604	O evento ficou todo retido no reservatório

Item	Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração do evento (horas)	Volume total precipitado sobre o BCP (mm)	Volume total precipitado sobre o CPA (mm)	Volume escoado Superficial no BCP (mm)	Volume escoado no BCP Fundo (mm)	Volume escoado Superficial no CPA (mm)	Volume escoado no CPA fundo (mm)	Balanço do BCP (mm)	Balanço do CPA (mm)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (mm)	Observações
			Início (hora)	Fim (hora)												
13	14 a 15/3/2010	20,00	12:40	08:50	20:10	14958,40	15318,60	SD	8879,12	99,58	10058,94	SD	10158,52	6,74	5160,08	Evento completo
14	25/3/2010	73,40	14:50	17:00	02:10	54897,328	56219,26	31879,41	21613,71	SD	53075,23	53493,12	SD	1,88	1404,21	Evento completo
15	6/4/2010	13,80	09:40	10:50	01:10	10321,30	10569,83	486,15	435,25	SD	2274,82	921,40	SD	12,57	9399,90	
16	6/4/2010	15,60	09:40	13:10	03:30	11667,55	11948,51	486,30	1328,53	SD	2283,23	1814,84	SD	13,17	9852,72	
17	23/4/2010	16,60	15:40	18:30	02:50	12415,47	12714,44	SD	760,37	2313,26	6609,57	SD	8922,83	4,95	3791,61	
18	8 a 9/5/2010	30,00	11:10	04:50	17:40	22437,60	22977,90	SD	8943,56	3471,05	16565,00	SD	20036,05	3,84	2941,84	Evento completo

continuação

Tabela 25 - Resumo geral do módulo de CPA dos eventos selecionados para análise .

Item	Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração do evento (horas)	Volume total precipitado BCP (mm)	Volume total precipitado CPA (mm)	Volume escoado Superficial BCP (mm)	Volume escoado BCP fundo (mm)	Volume escoado Superficial CPA (mm)	Volume escoado CPA fundo (mm)	Balanço BCP (mm)	Balanço CPA (mm)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (mm)	Obs.
			Início (hora)	Fim (hora)												
1	25/2/2010	25,20	03:00	05:50	02:50	18847,58	19301,44	SD	48,18	69,44	12507,03	SD	12576,47	8,78	6724,97	
2	25/2/2010	1,20	07:10	07:30	00:20	897,50	919,12	SD	0,00	0,00	0,00	SD	0,00	1,20	919,12	O evento ficou todo retido no reservatório
3	25/2/2010	8,40	08:40	10:00	01:20	6282,53	6433,81	SD	0,00	123,08	554,94	SD	678,02	7,51	5755,79	
4	6/3/2010	31,20	07:00	13:50	06:50	23335,10	23897,02	SD	4380,50	855,89	21691,88	SD	22547,77	1,76	500,32	

Item	Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração do evento (horas)	Volume total precipitado BCP (mm)	Volume total precipitado CPA (mm)	Volume escoado Superficial BCP (mm)	Volume escoado BCP fundo (mm)	Volume escoado Superficial CPA (mm)	Volume escoado CPA fundo (mm)	Balanço BCP (mm)	Balanço CPA (mm)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (mm)	Obs.
			Início (hora)	Fim (hora)												
5	14/3/2010	4,00	12:40	13:10	00:30	2991,68	3063,72	SD	2,53	0,00	116,92	SD	116,92	3,85	2946,80	
6	14/3/2010	10,40	17:30	19:00	01:30	7778,368	7965,672	SD	249,15	13,04	3418,09	SD	3431,12	5,92	4534,55	
7	14/3/2010	2,00	21:30	22:30	01:00	1495,84	1531,86	SD	0,00	0,00	0,00	SD	0,00	2,00	1531,86	O evento ficou todo retido no reservatório
8	15/3/2010	2,80	03:40	06:20	02:40	2094,176	2144,604	SD	0,00	0,00	0,00	SD	0,00	2,80	2144,60	O evento ficou todo retido no reservatório
9	23/4/2010	16,60	15:40	18:30	02:50	12415,47	12714,44	SD	760,37	2313,26	6609,57	SD	8922,83	4,95	3791,61	
10	8 a 9/5/2010	30,00	11:10	04:50	17:40	22437,60	22977,90	SD	8943,56	3471,05	16565,00	SD	20036,05	3,84	2941,84	Evento completo

continuação

Tabela 26 - Resumo geral do módulo de BCP dos eventos selecionados para análise .

Item	Evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração do evento	Volume total precipitado BCP (mm)	Volume total precipitado CPA (mm)	Volume escoado Superficial BCP (mm)	Volume escoado BCP fundo (mm)	Volume escoado Superficial CPA (mm)	Volume escoado CPA fundo (mm)	Balanço BCP (mm)	Balanço CPA (mm)	Precipitação que ficou retida no reservatório durante a chuva (mm)	Volume que ficou retido no reservatório durante a chuva (mm)	Obs.
			Início	Fim												
1	1/2/2010	23,60	18:00	20:00	02:00	17650,91	18075,95	1122,01	144,61	SD	9237,18	1266,62	SD	21,91		
2	2/2/2010	16,60	17:30	20:50	03:20	12415,47	12714,44	9743,80	350,29	SD	9467,23	10281,40	SD	3,10		
3	4/2/2010	42,60	15:40	17:50	02:10	31861,39	32628,62	4399,18	6975,52	SD	25253,58	11374,70	SD	27,39	20486,69	
4	6/2/2010	2,80	17:30	18:20	00:50	2094,18	2144,60	*	*	*	*	*	*	*	*	Evento com falhas na medição
5	25/3/2010	73,40	14:50	17:00	02:10	54897,328	56219,26	31879,41	21613,71	SD	53075,23	53493,12	SD	1,88	1404,21	Evento completo
6	6/4/2010	13,80	09:40	10:50	01:10	10321,30	10569,83	486,15	435,25	SD	2274,82	921,40	SD	12,57	9399,90	
7	6/4/2010	15,60	09:40	13:10	03:30	11667,55	11948,51	486,30	1328,53	SD	2283,23	1814,84	SD	13,17	9852,72	

7 A MODELAÇÃO MATEMÁTICA

A avaliação do desempenho potencial dos pavimentos permeáveis instalados experimentalmente foi efetuada a partir do desenvolvimento de um modelo matemático para simulação das duas fases distintas do processo: escoamento superficial direto, infiltração no meio poroso e escoamento através da base porosa, tanto para o revestimento asfáltico como para o de blocos pré-moldados de concreto.

O modelo concebido é análogo ao modelo de separação proposto pelo Soil Conservation Service em 1972, hoje Natural Resources Conservation Service (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, isto é, utiliza-se do mesmo conceito de separação entre o total precipitado e o infiltrado, considerando-se uma parcela de perda. Como no modelo original do SCS, tanto o parâmetro de infiltração como a parcela de perda foram aferidos a partir das observações experimentais realizadas com o protótipo de laboratório, descrito em capítulo anterior, com o auxílio de rotinas construídas em planilha eletrônica.

Desta forma, o assim chamado modelo permite a separação do ESD e do volume infiltrado (ESS), a partir da mesma equação proposta pelo SCS, com o auxílio de um 'Número de curva (CN)' determinado experimentalmente para cada cobertura específica. A parcela superficial é transformada em escoamento através do uso do hidrograma unitário e a parcela infiltrada é tratada novamente por um processo que separará a perda e o escoamento através do meio poroso de base, novamente transformado a partir de um hidrograma unitário. Desta forma, para a simulação do processo de escoamento sobre o pavimento permeável, aplica-se duas vezes o processo de separação – 1ª fase - hidrograma unitário para a superfície, considerando o CN e o tempo de concentração da superfície (concreto ou asfalto poroso) e 2ª fase - o hidrograma de fundo, no qual se aplica um CN e um tempo de concentração análogos.

O modelo assim desenvolvido teve estes 4 parâmetros ajustados a partir dos eventos observados, com o uso da técnica de minimização dos erros quadráticos, de forma iterativa. Apresenta-se a seguir na Figura 75 o fluxograma desse modelo.

Figura 75 - Fluxograma do modelo desenvolvido.

* A técnica de transformação chuva x escoamento do NRCS

A transformação proposta pelo NRCS para o cálculo da chuva excedente é dada pela equação abaixo, na qual h_{exc} representa a altura de chuva excedente, P a precipitação e S a parcela de retenção potencial máxima do solo, todos em mm.

$$h_{exc} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (47)$$

Essa equação é válida para a condição de $P > 0,2S$. Se $P < 0,2S$ então, $h_{exc} = 0$.

O parâmetro $0,2S$ é chamado de abstração inicial (I_a) e corresponde a todas as perdas ocorridas antes do início do escoamento superficial. No caso dos protótipos, as perdas resultam da evaporação e das partículas retidas dentro da camada reservatório.

A retenção potencial (S) depende de características intrínsecas do meio infiltrante e neste caso será utilizada analogamente ao CN , que no modelo original está definido como um parâmetro ajustado ao tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antecedente desse solo podendo variar entre 0 e 100. No caso dos experimentos, o CN foi aferido para representar a capacidade de

absorção dos materiais, e, portanto, é função dos materiais que compõem a estrutura desses pavimentos.

A retenção potencial (S) pode ser definida pela equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (48)$$

A determinação do escoamento efluente foi feita a partir da convolução entre os volumes segregados, tanto na superfície como infiltrado no meio e o hidrograma unitário do SCS, cujo gráfico representa as vazões resultantes de um hietograma ao longo do tempo. Portanto, o hidrograma final foi obtido pela composição linear dos diversos hidrogramas defasados. Segundo esse processo, o tempo de base de um hidrograma composto é igual ao tempo de base do hidrograma unitário, somado à duração da precipitação, menos a duração da chuva unitária, nesse caso considerada igual a $\frac{1}{4} t_R$.

A área desse hidrograma representa o volume de escoamento superficial direto (V_{esd}) devido a uma chuva excedente sobre toda a área de drenagem. E, portanto,

$$V_{esd} = AD \cdot h_{exc} \quad (49)$$

Na qual,

V_{esd} = volume de escoamento superficial direto

AD = área de drenagem

h_{exc} = chuva excedente

A teoria do hidrograma unitário considera que a intensidade da chuva é constante ao longo da duração da chuva, sendo o hidrograma função do tempo de ascensão (t_A), do tempo base (t_B), do tempo de retardamento (t_R) e do tempo de concentração (t_C).

Entende-se por t_A , o tempo decorrido desde o início da chuva excedente até o pico do hidrograma (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995) e, à duração total do escoamento superficial direto, ou seja, a base do hidrograma unitário, chama-se de tempo base (t_B).

Ao tempo que vai do centro de massa do hietograma de chuva excedente até o pico do hidrograma dá-se o nome de tempo de retardamento (t_R). Nesse caso, o

tempo de concentração corresponde ao tempo desde o término da chuva até o ponto de inflexão localizado na zona descendente do hidrograma. Porto (1995) afirma que esta inflexão representa o instante em que a água proveniente do ponto mais distante da bacia passa pela seção de controle. A partir desse ponto, passará por essa seção somente a água que estava temporariamente armazenada.

O método do SCS considera as seguintes relações:

$$t_A = t_R + \frac{D}{2} \quad (50)$$

$$t_R = 0,6 \cdot t_c \quad (51) \quad \text{ou} \quad t_R = \frac{2}{3} t_c \quad (52)$$

Portanto,

$$t_A = \frac{D}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (53)$$

Sendo, D a duração do bloco de chuva.

Para uma chuva unitária de 1 cm, a vazão de pico (Q_p) é dada pela expressão:

$$Q_p = 2,08 \frac{A}{t_A} \quad (54)$$

Na qual,

Q_p = vazão de pico (m^3/s)

A = área da bacia, para uma chuva unitária de 1cm (km^2)

t_A = tempo de ascensão (horas)

Figura 76 - Adaptado de Tucci; Porto; Barros (1995)

Para o módulo de BCP (blocos de concreto) foi possível a geração tanto do hidrograma de escoamento superficial como do subsuperficial, a partir da técnica proposta, já que existe a formação de uma lâmina de escoamento superficial e consequentemente, de um hidrograma captado pelos sensores de escoamento através da boca de lobo. No módulo de CPA o hidrograma de saída calculado corresponde a água infiltrada pelo pavimento e registrada no sensor de escoamento subsuperficial, pois nesse caso, o volume de ESD é desprezível, na medida em que não houve formação de lâmina d'água. Portanto, para o BCP foram realizadas as duas fases de modelação, enquanto para o CPA somente a 2ª fase.

Módulo de BCP

No módulo de BCP a aferição dos parâmetros constou de duas fases. Sendo uma para aferição dos parâmetros t_{cs} e CNs a partir da chuva observada e outra para aferição dos parâmetros t_{css} e CNss para o escoamento subsuperficial. Na sequência foram somados o hidrograma de saída do escoamento superficial e o hidrograma subsuperficial para possibilitar o balanço total da precipitação lançada no sistema de drenagem.

Na 1ª fase do modelo matemático referente a separação do ESD, a precipitação infiltrada foi considerada como sendo a parcela de precipitação direcionada ao reservatório. O hidrograma de saída gerado pelo ESD foi comparado ao hidrograma gerado pelo evento observado e registrado no sensor de escoamento superficial (boca de lobo), para aferição dos parâmetros de t_{cs} e CNs análogo ao do SCS.

Na 2ª fase referente a separação do ESS o hidrograma gerado foi comparado ao hidrograma observado a partir dos registros do sensor de escoamento subsuperficial para aferição dos parâmetros de t_{css} e CNss.

Posteriormente, foi efetuada a somatória dos hidrogramas de ESD e de escoamento subsuperficial (ESS) e comparado ao hidrograma potencial, para obtenção da porcentagem de amortecimento do evento total. Na Figura 77 apresenta-se o esquema descrito para facilitar o entendimento dos procedimentos empregados nas duas fases.

Figura 77 - Esquema de cálculo do modelo desenvolvido.

Descreve-se a seguir os dados de entrada nos modelos:

BCP – Escoamento Superficial Direto (ESD) – 1ª Fase:

- * A precipitação registrada em intervalos de 10 min, em mm;
- * A duração da precipitação, em horas;
- * A área total de contribuição, em km²;
- * O fator de impermeabilização (%);

- * A fração de área conectada (%);
- * O intervalo de tempo, em horas;
- * A precipitação total, em mm;
- * O hidrograma de ESD observado.

BCP – Escoamento Subsuperficial (ESS) – 2ª Fase:

- * A precipitação infiltrada resultante da modelagem do ESD, em intervalos de 10 min, em mm;
- * A duração da precipitação, em horas;
- * A área do pavimento (somente), em km²;
- * O fator de impermeabilização (%);
- * A fração de área conectada (%);
- * O intervalo de tempo, em horas;
- * A precipitação total infiltrada, em mm;
- * O hidrograma de ESS observado na saída do dreno.

Módulo de CPA

Nesse módulo para modelação dos eventos observados não houve a 1ª fase, pois o volume de ESD registrado foi praticamente igual a zero.

CPA – Escoamento Subsuperficial (ESS) – 2ª Fase:

- * A precipitação registrada em intervalos de 10 min, em mm;
- * A duração da precipitação, em horas;
- * A área do pavimento (somente), em km²;
- * O fator de impermeabilização (%);
- * A fração de área conectada (%);
- * O intervalo de tempo, em horas;
- * A precipitação total, em mm;
- * O hidrograma de ESS observado na saída do dreno.

Nas simulações, o tempo de concentração é responsável pelo pico do hidrograma e o número de curva (CN), pelo volume do hidrograma. Para aferição do

número de curva foram consideradas as condições inicial e final do pavimento permeável ao longo da precipitação, pois pode haver variação devido a saturação do pavimento.

A aferição do modelo matemático resultou bastante satisfatória, tanto para o módulo de BCP como para o CPA. O desvio padrão encontrado em cada caso foi bastante pequeno como pode ser visto nas tabelas a seguir.

Da Tabela 27 a Tabela 29 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos em cada módulo.

Tabela 27 - Resumo da aferição dos eventos observados no módulo de BCP - Superficial

Escoamento Superficial – BCP – 1ª Fase							
Evento	Precipitação (mm)	tc (h)	CN_i	CN_f	Infiltração * (mm)	Σ Erro quadrático	Erro médio no eventol (l/s)
1/2/2010	23,60	0,20	83,00	84,00	20,49	1,14	0,0011
4/2/2010	42,60	0,33	80,00	81,50	31,72	13,40	0,0258
25/3/2010	73,40	0,20	95,50	93,80	14,31	424,22	0,1451
Média	46,53	0,24	86,17	86,43	22,17	146,26	0,057
Desvio Padrão	25,13	0,08	8,22	6,50	8,83	240,80	0,077

* Volume direcionado ao reservatório

Tabela 28 - Resumo da aferição dos eventos observados no módulo de BCP – Subsuperficial

Escoamento Subsuperficial – BCP – 2ª Fase							
Evento	Precipitação (mm)	tc (h)	CN_i	CN_f	Perda** (mm)	Σ Erro quadrático	Erro médio no eventol (l/s)
1/2/2010	23,60	1,30	75,00	76,05	20,25	0,04	0,001
4/2/2010	42,60	2,00	72,10	72,10	30,58	1,18	0,008
25/3/2010	73,40	2,80	96,80	99,00	0,73	5,65	0,017
Média	46,53	2,03	81,30	82,38	17,19	2,29	0,009
Desvio Padrão	25,13	0,75	13,50	14,52	15,16	2,96	0,008

** Volume retido no reservatório

Tabela 29 – Resumo da aferição dos eventos observados no módulo de CPA - Subsuperficial

Escoamento Subsuperficial – CPA – 2ª Fase							
Evento	Precipitação (mm)	tc (h)	CN_i	CN_f	Perda** (mm)	Σ Erro quadrático	Erro médio no eventol (l/s)
25/2/2010	35,40	1,19	96,99	97,23	7,40	1,93	0,010
6/3/2010	31,20	0,72	98,49	99,99	0,03	1,21	0,008

Escoamento Subsuperficial – CPA – 2ª Fase							
Evento	Precipitação (mm)	tc (h)	CN _i	CN _f	Perda** (mm)	Σ Erro quadrático	Erro médio no eventol (l/s)
14/3/2010	16,40	0,64	96,41	97,09	6,41	0,83	0,006
23/4/2010	17,20	0,74	97,32	97,32	6,25	0,71	0,006
8/5/2010	21,40	0,65	96,00	96,40	8,28	0,81	0,006
Média	24,32	0,79	97,04	97,61	5,67	1,10	0,007
Desvio Padrão	8,54	0,23	0,96	1,38	3,26	0,50	0,002

** Volume retido no reservatório

continuação

Para possibilitar a análise de desempenho dos pavimentos na ocorrência de precipitações de outras magnitudes foram simulados eventos hipotéticos para durações de 0,17h, 0,5h, 1h, 4h, 6h, 12h e 24h e períodos de retorno de 1 ano, 10, 25, 50, 100 e 200 anos. Esses foram gerados a partir da equação de chuvas da cidade de São Paulo apresentada no item 4.3.1.

A desagregação da chuva foi realizada pelo método dos blocos alternados e as simulações realizadas considerando-se os resultados médios de t_{cs} e t_{css} , CN_s e CN_{ss} obtidos nas aferições dos eventos observados.

Apresentam-se a seguir da Tabela 30 a Tabela 35 para o BCP e da Tabela 38 a Tabela 42 para o CPA, resumos com os dados de entrada e resultados do modelo matemático de cada evento analisado.

A planilha completa de cada evento obtida do modelo matemático pode ser vista no apêndice, e um resumo com o resultado dos demais eventos sintéticos gerados, na Tabela 37 e Tabela 44 para os módulos de BCP e CPA, respectivamente.

O significado de cada parâmetro constante nas planilhas resumo, como dado de entrada e resultado são descritos a seguir.

Dados de Entrada

Fator Imper. (%) = porcentagem de área impermeável

Fração Conect (%) = porcentagem de área diretamente conectada

CN Inicial = número de curva inicial

CN Final = número de curva final

Tr = período de retorno (anos)

Duração (h) = duração da chuva (horas)

Delta T (h) = intervalo de tempo (horas)

Coef. Corretivo = coeficiente corretivo ou de run off

Chuva total (mm) = chuva precipitada acumulada (mm)

Resultados

Tot Precip (mm) = total de chuva precipitada (mm)

Intens. Máx (mm/h) = intensidade máxima da chuva (mm/h)

Intens. Med (mm/h) = intensidade média da chuva (mm/h)

Tot Infilt (mm) = parcela total de chuva infiltrada no pavimento, no BCP e a perda no CPA (mm)

Tot Exced (mm) = parcela da chuva total que virou escoamento superficial direto no BCP e o volume total escoado pelo dreno no CPA (mm)

Exced Máx (mm/h) = relação entre a chuva total que virou escoamento superficial direto no intervalo de tempo, delta T.

Qmáx (m³/s) = vazão máxima gerada pela estrutura pavimento (m³/s)

Qespec (m³/s/km²) = vazão máxima gerada pela estrutura pavimento por unidade de área (m³/s/km²)

Coef Run Off = coeficiente de escoamento superficial

CN médio = número de curva médio

Volume da cheia (m³) = volume de água gerado pela chuva (m³)

Modulo de BCP

- Evento de 1/2/2010 – Precipitação = 23,60 mm

Tabela 30 - Dados de entrada e resultados - evento de 1/2/2010 – 1ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km2)	0,0007479	Tr (anos)	10,00	Tot Precip (mm)	23,60	Qmax (m³/s)	0,001030
Tempo de Con (h)	0,2	Duração (h)	2,00	IntensMax (mm/h)	29,99	Qespec (m³/s/km²)	1,377
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	11,80	Coef Run Off	0,19
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	20,49	CN medio	83,96
CN Inicial	83,00	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	3,11	Volume da Cheia (m³)	2,15
CN Final	84,00	Chuva Total (mm)	23,60	Exced Max (mm/h)	5,62		

Tabela 31 - Dados de entrada e resultados - evento de 1/2/2010 - 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,0006689	Tr (anos)	10,00	Tot Precip (mm)	20,49	Qmax (m ³ /s)	0,000032
Tempo de Con (h)	1,3	Duração (h)	2,00	IntensMax (mm/h)	29,93	Qespec (m ³ /s/km ²)	0,0476
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	10,24	Coef Run Off	0,01
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	20,25	CN medio	76,01
CN Inicial	75,00	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	0,24	Volume da Cheia (m ³)	0,16
CN Final	76,05	Chuva Total (mm)	20,49	Exced Max (mm/h)	0,54		

Os resultados obtidos do modelo matemático para o evento de 1/2/2010 podem ser vistos da Figura 78 a Figura 81.

Figura 78 - Precipitação x Chuva excedente – evento de 1/2/2010 – 1ª Fase

Figura 79 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 1ª Fase

Figura 80 - Vazão efluente no dreno (modelo matemático) x Vazão observada – 2ª Fase

Figura 81 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

•Evento de 4/2/2010 – Precipitação = 42,60 mm

Tabela 32 - Dados de entrada e resultados - evento de 4/2/2010 – 1ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km2)	0,0007479	Tr (anos)	10,00	Tot Precip (mm)	42,60	Qmax (m³/s)	0,004557
Tempo de Con (h)	0,33	Duração (h)	2,17	IntensMax (mm/h)	68,39	Qespec (m³/s/km²)	6,09
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	19,63	Coef Run Off	0,52
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	31,72	CN medio	81,43
CN Inicial	80,00	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	10,88	Volume da Cheia (m³)	8,41
CN Final	81,50	Chuva Total (mm)	42,60	Exced Max (mm/h)	31,26		

Tabela 33 - Dados de entrada e resultados - evento de 4/2/2010 – 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,0006689	Tr (anos)	10,00	Tot Precip (mm)	31,72	Qmax (m ³ /s)	0,000135
Tempo de Con (h)	2	Duração (h)	2,17	IntensMax (mm/h)	44,70	Qespec (m ³ /s/km ²)	0,20
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	14,62	Coef Run Off	0,02
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	30,40	CN medio	72,10
CN Inicial	72,10	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	1,32	Volume da Cheia (m ³)	0,88
CN Final	72,10	Chuva Total (mm)	31,72	Exced Max (mm/h)	5,28		

Os resultados obtidos do modelo matemático para o evento de 4/2/2010 podem ser vistos da Figura 82 a Figura 85.

Figura 82 – Precipitação x Chuva excedente – evento de 4/2/2010

Figura 83 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 1ª Fase

Figura 84 -Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 2ª Fase

Figura 85 -- Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

- Evento de 25/3/2010 – Precipitação = 73,40 mm

Tabela 34 - Dados de entrada e resultados - evento de 25/3/2010 – 1ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,000748	Tr (anos)	10,00	Tot Precip (mm)	73,40	Qmax (m ³ /s)	0,0230
Tempo de Con (h)	0,2	Duração (h)	2,17	IntensMax (mm/h)	155,69	Qespec (m ³ /s/km ²)	30,78
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	33,82	Coef Run Off	1,51
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,17	Tot Infilt (mm)	14,31	CN medio	93,88
CN Inicial	95,50	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	59,09	Volume da Cheia (m ³)	41
CN Final	93,80	Chuva Total (mm)	73,40	Exced Max (mm/h)	143,34		

Tabela 35 - Dados de entrada e resultados - evento de 25/3/2010 – 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,0006689	Tr (anos)	10,00	Tot Precip (mm)	14,31	Qmax (m ³ /s)	0,0007
Tempo de Con (h)	2,8	Duração (h)	2,17	IntensMax (mm/h)	40,80	Qespec (m ³ /s/km ²)	1,10
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	6,60	Coef Run Off	0,28
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,17	Tot Infiltr (mm)	0,73	CN medio	98,90
CN Inicial	96,80	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	13,58	Volume da Cheia (m ³)	9
CN Final	99,00	Chuva Total (mm)	14,31	Exced Max (mm/h)	20,97		

Os resultados obtidos do modelo matemático para o evento de 25/3/2010 podem ser vistos da Figura 86 a Figura 89.

Figura 86 - Precipitação x Chuva Excedente – evento de 25/3/2010

Figura 87 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada – 1ª Fase

Figura 88 - Vazão efluente no dreno (modelo matemático) x Vazão observada - 2ª Fase

Figura 89 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

A Tabela 36 e a Tabela 37, bem como a Figura 90, ilustram os resultados referentes ao desempenho do pavimento permeável com revestimento de BCP que serão discutidos em capítulo posterior.

Cabe ressaltar que considerou-se como **porcentagem de amortecimento, a parcela de vazão que não foi lançada no sistema de drenagem.**

Tabela 36 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos eventos observados BCP

		% Amortecimento		
		Duração (h)		
Evento	TR (anos)	2	2,17	8
6/4/2010	1,00			94,23
1/2/2010	1,02	83,46		
4/2/2010	1,60		67,88	
25/3/2010	10		28,90	

Tabela 37 – Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva – Eventos hipotéticos BCP.

TR (anos)	% Amortecimento						
	Duração (h)						
	0,17	0,5	1	4	6	12	24
1,05		87,38	85,11	79,52	77,10	77,39	76,55
10	84,51	63,80	60,57	47,70	45,24	41,93	39,26
25		60,11	57,04	42,65	40,33	37,22	34,75
50		57,82	54,27	39,65	37,44	34,49	32,18
100		55,85	51,32	37,14	35,04	32,26	30,12
200		54,13	48,72	35,02	33,03	30,41	28,43

Figura 90 – Desempenho do módulo de BCP para chuvas de diversas durações e TR's.

Módulo de CPA

- Evento de 25/2/2010 – Precipitação = 35,40 mm

Tabela 38 - Dados de entrada e resultados - evento de 25/2/2010 – 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km²)	0,000668	Tr (anos)	10	Tot Precip (mm)	35,40	Qmax (m³/s)	0,0019
Tempo de Con (h)	1,19	Duração (h)	7,00	IntensMax (mm/h)	39,59	Qespec (m³/s/km²)	2,81
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	5,06	Coef Run Off	0,93
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	7,40	CN medio	97,20
CN Inicial	96,99	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	28,00	Volume da Cheia (m³)	18,61
CN Final	97,23	Chuva Total (mm)	35,40	Exced Max (mm/h)	26,83

Figura 91 – Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 25/2/2010

Figura 92 – Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada

Figura 93 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

- Evento de 6/3/2010 – Precipitação = 31,20 mm

Tabela 39 -- Dados de entrada e resultados - evento de 6/3/2010- 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,000668	Tr (anos)	10	Tot Precip (mm)	31,20	Qmax (m ³ /s)	0,00244
Tempo de Con (h)	0,72	Duração (h)	6,83	IntensMax (mm/h)	27,59	Qespec (m ³ /s/km ²)	3,66
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	4,57	Coef Run Off	1,33
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	0,03	CN medio	99,77
CN Inicial	98,49	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	31,17	Volume da Cheia (m ³)	20,89
CN Final	99,99	Chuva Total (mm)	31,20	Exced Max (mm/h)	25,69

Figura 94 - Precipitação x Escoamento Infiltrado – evento de 6/3/2010

Figura 95 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada

Figura 96 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

- Evento de 14/3/2010 – Precipitação = 16,40 mm

Tabela 40-- Dados de entrada e resultados - evento de 14/3/2010 – 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km²)	0,000668	Tr (anos)	10	Tot Precip (mm)	16,40	Qmax (m³/s)	0,00195
Tempo de Con (h)	0,64	Duração (h)	9,67	IntensMax (mm/h)	35,99	Qespec (m³/s/km²)	2,92
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	1,70	Coef Run Off	2,87
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infil (mm)	6,41	CN medio	96,95
CN Inicial	96,41	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	9,99	Volume da Cheia (m³)	6,67
CN Final	97,09	Chuva Total (mm)	16,40	Exced Max (mm/h)	22,58

Figura 97 – Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 14/3/2010.

Figura 98 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada

Figura 99 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

- Evento de 23/4/2010 – Precipitação = 17,20 mm

Tabela 41 - Dados de entrada e resultados - evento de 23/4/2010 – 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,000668	Tr (anos)	10	Tot Precip (mm)	17,20	Qmax (m ³ /s)	0,00170
Tempo de Con (h)	0,74	Duração (h)	4,17	IntensMax (mm/h)	29,99	Qespec (m ³ /s/km ²)	2,54
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	4,13	Coef Run Off	1,03
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	6,25	CN medio	97,32
CN Inicial	97,32	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	10,95	Volume da Cheia (m ³)	7,33
CN Final	97,32	Chuva Total (mm)	17,20	Exced Max (mm/h)	21,39

Figura 100 - Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 23/4/2010.

Figura 101 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada

Figura 102 -- Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

- Evento de 8/5/2010 – Precipitação = 21,40 mm

Tabela 42 - Dados de entrada e resultados - evento de 8/5/2010 – 2ª Fase

Dados de Entrada				Resultados			
Área Bacia (km ²)	0,000668	Tr (anos)	10	Tot Precip (mm)	21,40	Qmax (m ³ /s)	0,00137
Tempo de Con (h)	0,65	Duração (h)	4,33	IntensMax (mm/h)	20,40	Qespec (m ³ /s/km ²)	2,05
Fator Imperm(%)	0%			Intens Med (mm/h)	4,94	Coef Run Off	0,69
Fração Conect (%)	0%	Delta T (h)	0,167	Tot Infilt (mm)	8,28	CN medio	96,36
CN Inicial	96,00	Coef Corretivo	1	Tot Exced (mm)	13,12	Volume da Cheia (m ³)	8,78
CN Final	96,40	Chuva Total (mm)	21,40	Exced Max (mm/h)	11,17

Figura 103 – Precipitação x Escoamento infiltrado – evento de 8/5/2010.

Figura 104 - Vazão efluente modelo matemático x Vazão observada

Figura 105 - Vazão potencial x Vazão total lançada no sistema de drenagem

A Tabela 43, a Tabela 44 e a Figura 106 ilustram os resultados referentes ao desempenho do pavimento permeável com revestimento de CPA que serão discutidos em capítulo posterior.

Tabela 43 – Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos eventos observados CPA

	% Amortecimento				
	Duração (h)				
TR (anos)	4,17	4,33	6,83	7	9,67
1	69,47	63,84			70,83
1,05			52,31		
1,12				74,45	
Evento	23/4/2010	8/5/2010	6/3/2010	25/2/2010	14/3/2010

Tabela 44 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos eventos hipotéticos – CPA.

TR (anos)	% Amortecimento						
	Duração (h)						
	0,17	0,5	1	4	6	12	24
1,05		84,90	68,48	64,82	64,36	63,84	63,51
10	95,75	77,01	60,63	57,89	57,49	57,11	56,88
25		75,90	59,78	57,26	56,92	56,62	56,44
50		75,22	59,29	56,91	56,61	56,36	56,21
100		74,64	58,87	56,64	56,38	56,15	56,03
200		74,13	58,52	56,42	56,18	55,99	55,88

Figura 106 - Amortecimento promovido pelo módulo de CPA para chuvas de diversas durações

Com relação ao modelo matemático pode-se promover a seguinte reflexão:

- Será esta a abordagem de modelagem mais adequada?

Uma abordagem mais física e menos conceitual talvez fosse mais adequada. Foram realizadas várias tentativas nesse sentido, entretanto a inexistência de sensores internos ao pavimento dificultou demasiadamente a modelagem da água no meio poroso. Dessa forma, a partir dos dados disponíveis, a modelagem efetuada, mesmo conceitual resultou muito satisfatória. O modelo simplificado e conceitual concebido retratou os eventos físicos de forma eficaz e apresentou os resultados esperados.

8 ANÁLISE CRÍTICA

Neste capítulo proceder-se-á a uma análise crítica das quatro etapas que compõem este experimento: o dimensionamento dos pavimentos, a construção, o monitoramento e o desempenho dos pavimentos permeáveis.

8.1 O método de dimensionamento hidráulico

Os modelos físicos instalados nas dependências do Centro Tecnológico de Hidráulica da USP têm como função principal propiciar o armazenamento da precipitação em suas camadas de base e sub-base sem, entretanto, permitir a infiltração para a camada de subleito, e principalmente, mantendo as características de suporte estrutural. Portanto, este dispositivo também chamado de técnica compensatória em drenagem urbana (Baptista et al, 2005) cuja finalidade é promover a infiltração e retenção está sendo tratado aqui como uma **estrutura viária**, porém com finalidades hidrológico-hidráulicas.

O estacionamento projetado é dotado de dois módulos, cada um com seu reservatório subterrâneo formado pela base estrutural da pavimentação, com vistas à captação e armazenamento temporário de águas de chuva.

Para efeito de comparação e análise crítica dos cálculos efetuados pelos métodos citados no item 4.3.5 foi considerada a Equação de Chuvas de São Paulo para $t_c=10$ minutos ou duração da chuva, período de retorno igual a 10 anos, porosidade do material de base (μ) igual a 0,36 e as características físicas do modelo físico citadas anteriormente. **Para o método da Uni-Group, entretanto, foi considerado período de retorno igual a 1 ano e duração da chuva, 1 h pois baseia-se na lei de Darcy e nas recomendações de Cedergren (1987).**

Os resultados obtidos para cada método são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 45 - Espessura da camada reservatório segundo Bettess (1996)

Duração (min)	R	i (mm/h)	μ	H (m)
10	1	146,40	0,36	0,07

The Department of Civil Engineering - The Texas A&M University System (1998) Para o dimensionamento da camada reservatório pelo método proposto pelo Interlocking Concrete Pavement Institute considerou-se ainda, que não haverá precipitação excedente, portanto ΔQ_c igual a zero.

Tabela 46 - Espessura da camada reservatório segundo o Interlocking Concrete Pavement Institute (SMITH, 2001)

Duração (min)	ΔQ_c (m)	R	P (m)	f (m/h)	te (horas)	μ	H (m)
10	0	1	0,0244	0	2	0,36	0,14

Pelo método da Uni-Group o cálculo do comprimento de drenagem equivalente pode ser visto na Tabela 47 e a espessura da camada reservatório considerando-se que 50% da chuva será retida no reservatório e que a porosidade média dos materiais que constituem a camada reservatório é igual a 0,36 é apresentada na Tabela 49. O cálculo da espessura da camada reservatório do módulo de BCP foi realizado assumindo-se para sua solução, coeficiente de permeabilidade médio do material igual a 113,08 m/h ou $3,14 \times 10^{-2}$ m/s.

Tabela 47 - Comprimento equivalente e declividade resultante - método da UNI-GROUP (THE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING - THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM, 1998)

	S1 (%)	S2 (%)	B = L1 (m)	L2 (m)	L _R (m)	S _R (%)
Bloco-lado1	1,00	1,50	16,60	21,05	29,93	1,80
Bloco-lado2	1,00	0,50	16,60	15,91	18,56	1,12

Tabela 48 - Volume precipitado sobre o pavimento de blocos intertravados

	Precipitação (mm)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Bloco	18,37	668,90	12,29

Tabela 49 - Espessura da camada reservatório pelo método da UNI-GROUP (THE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING - THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM, 1998)

	k (m/h)	L _R (m)	F	i (mm/h)	μ	Espessura total H (m)
Bloco	113,08	29,93	0,40	18,37	0,36	0,10

Analisando-se a Tabela 50 com os resultados obtidos para mesma situação pode-se perceber que os resultados diferem entre si.

Tabela 50 - Resumo – Espessura da camada reservatório com declividade variável

Método	Precipitação (mm)	μ	H (m)
UNI GROUP	18,37	0,36	0,10
Bettess	24,40	0,36	0,07
ICPI	24,40	0,36	0,14
Autores	24,40	0,36	0,27

Cabe comentar que as fórmulas propostas pelo ICPI e pela UNI-GROUP são destinadas ao dimensionamento de estruturas com revestimento de blocos intertravados de concreto, enquanto o método de Bettess e o proposto nesta tese são genéricos, e não levam em consideração o tipo de revestimento, mas o material de base.

Quando analisadas todas as equações propostas, percebe-se que a precipitação e a porosidade do material de base são parâmetros comuns e decisórios, quando o reservatório é do tipo sem infiltração.

8.2 A construção do modelo físico

Durante a execução das obras foram encontradas várias dificuldades. Apesar do estacionamento ter sido executado de maneira convencional, ou seja, dentro dos padrões usuais de uma obra de infra-estrutura, certos cuidados tinham que ser tomados, pois tratava-se de um experimento acadêmico.

A primeira dificuldade foi convencer os funcionários da empreiteira responsáveis pela obra de que esta deveria ser uma obra limpa, pois de outra forma poderia comprometer os resultados do experimento.

O cronograma foi extremamente afetado pela falta de experiência da empreiteira nesse tipo de obra.

A locação topográfica foi realizada com cuidado, pois a declividade do fundo do reservatório não acompanha a declividade superficial. Mesmo os projetos de geometria e drenagem tendo sido detalhados com seções transversais, foi difícil o seu entendimento. Houve, realmente, a necessidade de fiscalização diária da obra.

Outro aspecto que deve ser observado é com relação à colmatção precoce desse tipo de pavimento/revestimento. Nesse sentido houve sempre a preocupação com o cuidado no transporte de materiais e limpeza da obra.

O material de subleito foi removido e foram encontradas dificuldades na obtenção de jazidas de material para aterro, pois nossa obra foi executada concomitante à outra de grande vulto nas imediações.

A utilização/implantação da geomembrana foi sem dúvida outro desafio. Esse tipo de material não é comumente utilizado em obras de infra-estrutura rodoviária. Portanto, a grande dúvida foi com relação à sua resistência na medida em que haveria a necessidade de tráfego de veículos de compactação e pavimentação. Foram procurados fabricantes para esclarecimentos, mas como já mencionado, em virtude da falta de experiência, não se obteve as respostas necessárias.

No projeto foi especificado a geomembrana com espessura de 1 mm, mas existem espessuras maiores disponíveis no mercado, porém mais caras. Como havia o receio de perfuração pelo macadame hidráulico assentado sobre ela com a passagem dos equipamentos, foi executada camada adicional de 0,05 m de pó de pedra na interface entre a geomembrana e o macadame.

Durante a execução da geomembrana em meados do mês de agosto/2009 foram encontradas as seguintes dificuldades, além das já citadas:

- A ocorrência de ondulações;
- O sentido das emendas (soldas). Na medida em que a largura do rolo era menor que a largura dos módulos de BCP e CPA;
- Necessidade de camada adicional de pó de pedra;
- Necessidade de sua implantação sem chuva.

A geomembrana foi executada manualmente, o que resultou na presença de ondulações. Acrescido a isso, houve o fato da areia ter sido colocada em dia de chuva e na necessidade de sua retirada para executá-la novamente. Durante a retirada da areia que teve que ser realizada também, manualmente, a própria pá furou a geomembrana que teve que sofrer remendos nesses locais. Da Figura 107 a Figura 111 apresentam-se as etapas de execução da geomembrana que se iniciou no final do mês de julho e se estendeu até o mês de agosto/2009.

Devido à utilização da geomembrana sob o pavimento, as camadas subseqüentes a ela tiveram que ser executadas manualmente, pois havia o risco de

perfuração pelos equipamentos. Isso encareceu um pouco a obra e atrasou sua execução.

Ao final da execução da camada de geomembrana surgiu a grande dúvida:

- Não teria sido melhor executar uma célula impermeável ou um reservatório de alvenaria?

Essa pergunta precisa ser respondida pelas próximas pesquisas.

Figura 107 – Geomembrana do módulo de CPA coberta de água de chuva.

Figura 108 – Módulo de CPA revestido de geomembrana com a presença de ondulações.

Figura 109 - Camada de areia executada sobre a geomembrana no módulo de BCP.

Figura 110 – Retirada manual da camada de areia sobre a geomembrana.

Figura 111 – Camada de areia final executada sobre a geomembrana no módulo de BCP.

As chuvas que ocorreram no mês de julho de 2009 causaram também atraso à execução da obra, inclusive pela necessidade do controle tecnológico das camadas de pavimento ter que ser realizado com o solo seco.

Outro detalhe importante foi a necessidade de que o fundo das caixas que recebem o escoamento subsuperficial e as bocas de lobo ficasse 0,50 m abaixo da geratriz inferior dos tubos para que a implantação dos vertedouros e o monitoramento não fossem prejudicados. Para que isso não fosse esquecido, mesmo tendo sido detalhado no projeto, foi necessária fiscalização constante.

Durante a execução das paredes laterais que separam os dois módulos, a largura da calçada no centro deles teve que ser aumentada em 0,20 m para cada lado devido às paredes laterais que separam os dois reservatórios e o travamento da geomembrana sob as guias.

Outra dificuldade encontrada foi quando da execução da camada de revestimento de CPA, pois esse tipo de material possui um traço característico. A quantidade necessária era muito pequena (aproximadamente 38 m³) e não justificava a regulação da usina que produzia outro tipo de mistura asfáltica convencional. Foi necessário aguardar sua fabricação e portanto, também contribuiu para o atraso no cronograma da obra. Finalmente, o CPA foi executado no dia 3 outubro de 2009.

Figura 112 – execução do CPA em 03/10/2009. Acervo de Afonso Virgiliis.

A execução do revestimento de BCP propriamente dita, não apresentou dificuldades a não ser pela necessidade de assentamento manual das peças. Entretanto, pelo fato desse tipo de revestimento drenante ainda ser pouco utilizado no mercado brasileiro, gerou incertezas quanto a definição do material de rejunte. Por fim, optou-se pela utilização de areia aditivada.

As figuras a seguir, do acervo de Liliane L. C. Alves Pinto, ilustram a execução do revestimento de BCP.

Figura 113 –Data do Lote de areia de rejunte.

Figura 114 – sacos de areia de rejunte utilizada para execução do BCP.

Figura 115 – Equipe executando o revestimento de BCP

Figura 116 – Compactação do BCP

Figura 117 – Execução final do BCP.

O módulo de BCP apresentou ao longo do tempo alguns locais com depressões que propiciaram a formação de lâminas d'água e empoçamentos. Isso pode ter ocorrido em decorrência de compactação das camadas de base e sub-base executadas de maneira inadequada. As figuras a seguir, do acervo de Liliane L. C. Alves Pinto, ilustram os locais citados anteriormente.

Figura 118 - Lâminas d'água formadas pela chuva do dia 04/02/2010.

Figura 119 - Empoçamentos causados em decorrência da chuva de 04/02/2010.

Figura 120 - Chuva de 13/07/2010

8.3 O monitoramento

O monitoramento do experimento foi executado a partir dos dois sensores de nível, descritos anteriormente, instalados em cada um dos módulos.

Durante o monitoramento foram detectadas algumas dificuldades.

Os sensores por vezes apresentaram registros que não condiziam com a realidade, como por exemplo, o registro de níveis de água sobre os vertedouros das bocas de lobo quando não estava chovendo.

Durante as verificações executadas in loco, percebeu-se que o vento afeta os resultados dos sensores localizados nas bocas de lobo. Nos sensores instalados nas caixas de monitoramento do escoamento subsuperficial isso não foi notado. Muito provavelmente, isso ocorre devido à profundidade das caixas, na medida em que as bocas de lobo têm profundidades menores e o sensor encontra-se instalado fora da caixa, enquanto nas demais, cuja profundidade é de 1,50m, o sensor foi instalado dentro da caixa, portanto, até certo ponto, resguardado do vento.

Figura 121 - Sensor instalado na boca de lobo do módulo de BCP

Figura 122 - Sensor instalado na boca de lobo do mdulo de CPA

Figura 123 - Sensor instalado para registro do ESS do módulo de BCP

Figura 124 - Sensor instalado para registro do ESS do módulo de CPA

A fim de que se pudesse aferir os valores registrados nos sensores foram instaladas réguas limnimétricas nas quatro caixas de medição.

Para verificação da precisão dos sensores de nível foram realizadas várias aferições (Figura 125). Essa verificação constou de pelo menos três leituras de nível com variação de vazão a partir do zero do vértice do vertedouro. A definição do zero do vértice dos vertedouros foi realizada com a utilização de um nível óptico.

Figura 125 - Aferição dos sensores de nível.
Fonte: Acervo de Liliane Lopes Costa Alves Pinto

Os resultados obtidos nas verificações podem ser vistos nas tabelas e gráficos a seguir.

Tabela 51 - Verificação do sensor BCP - superficial em 13/04/2010

Nível	Horário	Régua Limnimétrica (cm) *	Régua Limnimétrica (m) *	Régua Limnimétrica (m) *	Sensor (m) *	Erro médio (%)
1						
1ª LEITURA - Q1	11:58	301,100	3,011	0,043	0,044	-0,001
2ª LEITURA - Q1	12:05	301,100	3,011	0,043	0,044	-0,001
3ª LEITURA - Q1	12:15	301,100	3,011	0,043	0,044	-0,001
2						
1ª LEITURA - Q2	12:37	298,500	2,985	0,017	0,021	-0,004
2ª LEITURA - Q2	12:45	298,400	2,984	0,016	0,021	-0,005
3ª LEITURA - Q2	12:50	298,400	2,984	0,016	0,021	-0,005
4ª LEITURA - Q2	12:55	298,400	2,984	0,016	0,021	-0,005
*Referenciado ao vértice do vertedor				Vértice da régua na cota=		2,968
				Vértice do sensor na cota=		3,733

Figura 126 - Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do BCP superficial.

Tabela 52 - Verificação do sensor BCP - subsuperficial em 04/05/2010

Nível	Horário	Régua Limnimétrica (cm) *	Régua Limnimétrica (m) *	Régua Limnimétrica (m) *	Sensor (m) *	Erro médio (%)
1						
1ª LEITURA - Q1	11:50	413,700	4,137	0,042	0,033	0,009
2ª LEITURA - Q1	11:57	413,700	4,137	0,042	0,033	0,009
3ª LEITURA - Q1	12:09	413,700	4,137	0,042	0,033	0,009
2						
1ª LEITURA - Q2	12:16	414,300	4,143	0,048	0,039	0,009
2ª LEITURA - Q2	12:21	414,300	4,143	0,048	0,039	0,009
3ª LEITURA - Q2	12:31	414,300	4,143	0,048	0,039	0,009
*Referenciado ao vértice do vertedor				Vértice da régua na cota=	4,095	
				Vértice do sensor na cota=	3,250

Figura 127 - Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do BCP subsuperficial (fundo).

Tabela 53 - Verificação do sensor CPA - superficial em 04/05/2010

Nível	Horário	Régua Limnimétrica (cm) *	Régua Limnimétrica (m) *	Régua Limnimétrica (m) *	Sensor (m) *	Erro médio (%)
1						
1ª LEITURA - Q1	11:45	233,400	2,334	0,0325	0,0390	-0,006
2ª LEITURA - Q1	11:57	233,500	2,335	0,0335	0,0400	-0,006
3ª LEITURA - Q1	12:12	233,500	2,335	0,0335	0,0400	-0,006
2						
1ª LEITURA - Q2	12:17	234,700	2,347	0,046	0,052	-0,006
2ª LEITURA - Q2	12:25	234,800	2,348	0,047	0,053	-0,006
3ª LEITURA - Q2	12:32	234,800	2,348	0,047	0,053	-0,006
*Referenciado ao vértice do vertedor				Vértice da régua na cota=	2,302	
				Vértice do sensor na cota=	3,605

Figura 128 - Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do CPA superficial.

Tabela 54 - Verificação do sensor CPA - subsuperficial em 13/04/2010

Nível	Horário	Régua Limnimétrica (cm) *	Régua Limnimétrica (m) *	Régua Limnimétrica (m) *	Sensor (m) *	Erro médio (%)
1						
1ª LEITURA - Q1	12:00	343,600	3,436	0,036	0,034	0,002
2ª LEITURA - Q1	12:07	343,800	3,438	0,038	0,035	0,002
3ª LEITURA - Q1	12:17	343,800	3,438	0,038	0,036	0,002
2						
1ª LEITURA - Q2	12:29	345,100	3,451	0,051	0,049	0,001
2ª LEITURA - Q2	12:34	345,200	3,452	0,051	0,052	-0,001
3ª LEITURA - Q2	12:44	345,200	3,452	0,051	0,052	-0,001
*Referenciado ao vértice do vertedor				Vértice da régua na cota=	3,401	
				Vértice do sensor na cota=	3,421

Figura 129- Verificação entre régua limnimétrica e sensor de nível ultrassônico em 13/04/2010 do CPA subsuperficial (fundo).

O erro médio encontrado em cada sensor foi considerado na análise dos registros, como aceitável.

Todos os dados registrados foram verificados durante a análise. Houve falhas em vários registros principalmente, nos eventos ocorridos no mês de janeiro, quando todos precisaram ser descartados.

Em outra oportunidade, a bateria do pluviômetro acabou e os dados referentes ao período de 1 a 6/04 quando ocorreu chuva significativa, foram perdidos.

Algumas vezes sem a ocorrência de chuva foi verificado o registro no sensor instalado na boca de lobo, o que jamais poderia acontecer, pois não havia escoamento superficial.

A obtenção dos dados de monitoramento a partir do site www.saisp.br precisa ser aprimorada, na medida em que não é possível a transferência dos dados obtidos na tela na forma de planilha. Todos os dados tiveram que ser “selecionados, copiados e colados em uma planilha eletrônica”. Essa planilha gerada a partir do software Excel® foi trabalhada antes da análise efetiva dos dados registrados em cada evento.

A Tabela 91 apresentada no apêndice, exemplifica o que foi necessário fazer para possibilitar a análise dos dados registrados nos sensores de nível. Como se pode perceber no evento de 8/5/2010, a chuva teve início às 11h10min da manhã e depois houve um intervalo até às 17h20min quando teve início uma nova precipitação. Antes das 11h10min o sensor de fundo do BCP já marcava 0,005 m no vertedouro, esse valor precisou ser estornado para que o computo do sensor não “maquiasse” os resultados de vazão de saída. Valores negativos registrados no sensor de CPA fundo tiveram que ser zerados e os dados registrados no sensor de

nível do CPA superficial, ou seja, na boca de lobo, também apresentavam incoerências, pois registrou 0,012 m no vertedouro , “sem a ocorrência de chuva”. Portanto, esse valor também precisou ser estornado do registro para que no início da chuva o registro fosse zero. Após a chuva, muitas vezes o sensor de boca de lobo continuava a registrar, o que não pode ocorrer, então nesses casos foi considerado o valor registrado no sensor até uma hora depois da chuva. Esse foi o critério adotado para elaboração dos estudos. Somente após essa pré-análise, elaboravam-se os cálculos relativos a cada evento, tanto no tocante ao balanço hídrico, quanto ao amortecimento gerado em cada módulo.

A instrumentação de um modelo físico é uma tarefa difícil e que envolve vários atores. Em meados do mês de abril foi detectada a incoerência constante dos dados registrados no sensor de nível instalado na boca de lobo do CPA. O sensor teve que ser levado a manutenção onde permaneceria por pelo menos dois meses, na medida em que é de fabricação americana e teve que ser encaminhado aos Estados Unidos. Nessa ocasião o sensor que se encontrava instalado na boca de lobo do módulo de BCP foi transferido para o CPA e a partir de então, não se pode mais monitorar o ESD no módulo de BCP.

Outro aspecto que se transformou em um viés em função da inexperiência da equipe, foi a definição do tipo de remota a ser utilizada no experimento. Uma pesquisa dessa natureza em que os dados são fundamentais para seu sucesso não deveria prescindir da utilização da tecnologia de ponta disponível no mercado. Portanto, em virtude dos problemas apresentados por um dos sensores, não foi possível ao longo de todo o período monitorado nesta pesquisa, comparar os dados referentes aos módulos de BCP e CPA, o que certamente deverá ser realizado em pesquisas futuras.

O vértice dos vertedouros foram projetados a 90°, entretanto no decorrer da pesquisa foi detectada a necessidade de alteração para 45° a fim de propiciar maior acurácia devido as vazões afluentes serem de baixa magnitude. A adoção de um vértice menor acarretaria a formação de uma lâmina d'água maior sobre o vertedor e, conseqüentemente, melhoraria a precisão na leitura e transmissão dos dados. Porém, não houve tempo hábil para essa mudança durante essa pesquisa, devendo ser observado em pesquisas futuras.

No decorrer da pesquisa cogitou-se a troca dos sensores ultrassônicos por sensores de pressão. Entretanto, para sua instalação há necessidade de um sensor

de instrumentação para pequenos modelos que custa em torno de 10 vezes o valor do sensor ultrassônico. Incluindo-se nesse custo, o sensor e o condicionador de sinal. Mas a idéia foi abortada na medida em que não havia tempo hábil para a mudança.

Finalmente, existem aspectos a serem aprimorados quando da elaboração de novas pesquisas nessa linha. A instrumentação constitui-se em fator determinante para o sucesso do experimento e deve ser encarada com a importância que lhe cabe, inclusive quando da destinação dos recursos a serem empregados para esse fim.

Entretanto, cabe ressaltar que face as dificuldades encontradas conseguiu-se uma nuvem de eventos que possibilitou a análise detalhada com resultados muito promissores.

8.4 O desempenho dos pavimentos permeáveis

O desempenho do pavimento permeável com revestimento de CPA foi avaliado por meio do modelo matemático, a partir da **porcentagem de amortecimento** da chuva que ficou retida na estrutura reservatório **e que não foi lançada no sistema de drenagem**.

No pavimento permeável com revestimento de BCP, a avaliação do desempenho foi um pouco mais trabalhosa, na medida em que houve produção de ESD. A aferição do modelo matemático envolveu duas fases, pois na 1ª fase, a precipitação infiltrada pela estrutura reservatório foi considerada igual à parcela da precipitação gerada pelo modelo matemático a partir da precipitação observada e registrada no sensor de escoamento superficial, ou seja, a parcela de chuva que não se transformou em precipitação excedente. Na 2ª fase essa precipitação infiltrada foi considerada no modelo subsuperficial como sendo a precipitação observada e a vazão resultante do modelo foi comparada à vazão observada e, então foi realizada a aferição. Com a somatória dos hidrogramas de ESD e subsuperficial gerados pelo modelo foi efetuada a comparação com a somatória dos hidrogramas observados.

O cálculo da porcentagem de amortecimento foi realizado considerando-se a relação entre o pico do hidrograma de saída e o pico do hidrograma potencial, ou seja, aquele que ocorreria em um pavimento convencional, cujo coeficiente de

escoamento superficial é igual a 1. A vazão potencial foi calculada por bloco de chuva em cada intervalo de tempo. A relação considerada foi:

$$\% Q_{lançada\ sist.drenagem} = \frac{Q_{efl}}{Q_{pot}} \quad (55)$$

Na qual,

Q_{efl} = vazão obtida no modelo matemático (l/s)

Q_{pot} = vazão potencial (l/s)

Sendo,

$$Q_{pot} = 166,67 CiA_c \quad (56)$$

Na qual,

Q_{pot} = vazão potencial (l/s)

C = Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente corretivo

i = Intensidade da chuva (mm/min)

A_c = Área de contribuição (ha)

$$\% \text{ amortecimento} = \left(1 - \frac{Q_{efl}}{Q_{pot}} \right) * 100 \quad (57)$$

A título de ilustração a Figura 130 apresenta os hidrogramas resultantes do evento de 6/3/2010 no módulo de CPA.

Figura 130 – Vazão potencial x Vazão efluente do evento de 6/3/2010 registrada no módulo de CPA

Módulo de BCP

Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 55, na Tabela 56 e na Figura 131. Analisando-se esses resultados pode-se concluir que no BCP a medida em que a **duração da chuva e o período de retorno aumentam**, a capacidade de **amortecimento** da estrutura **diminui**. Pode-se perceber que para chuvas de menor intensidade o desempenho é melhor. Entretanto, para chuvas de até 1 hora de duração, ou seja, eventos freqüentes, para períodos de retorno que variam de 1 a 200 anos, a porcentagem de amortecimento se mantém na faixa de 50% a 85%, portanto, bastante eficiente. Para durações entre 4 e 24 horas essa faixa está entre 30% e 79% que corresponde a valores um pouco menores, entretanto, ainda com boa eficiência da estrutura, apresentando valores médios da ordem de 43% para período de retorno de 10 anos. O gráfico da Figura 131 apresenta uma inflexão na faixa entre 1 e 10 anos de período de retorno da onde se pode afirmar que a estrutura projetada no módulo de BCP é bastante eficiente para essas chuvas independente de sua duração resultando em valores na faixa de 40 a 87% de eficiência.

Quando analisados os resultados obtidos nos eventos observados cabe um comentário específico ao evento de 6/4/2010, cuja duração considerada foi de 8 horas e a eficiência de 94%. Entretanto, houve eventos anteriores a essa data que não foram registrados no pluviômetro por ocasião de uma pane no sistema. E portanto, esses valores não foram considerados na calibração do modelo matemático e constam na Figura 131 apenas para ilustração, pois deveriam estar na faixa dos 77%. O evento de 25/3/2010 quando choveu 73,40 mm em 2 h e 10 min também apresentou valores abaixo da média, 28,90%. Provavelmente, os sensores não registraram os níveis corretamente. Os demais eventos estão dentro da faixa encontrada nos estudos.

Tabela 55 – Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva para o BCP

TR (anos)	% Amortecimento						
	Duração (h)						
	0,17	0,5	1	4	6	12	24
1,05		87,38	85,11	79,52	77,10	77,39	76,55
10	84,51	63,80	60,57	47,70	45,24	41,93	39,26
25		60,11	57,04	42,65	40,33	37,22	34,75
50		57,82	54,27	39,65	37,44	34,49	32,18
100		55,85	51,32	37,14	35,04	32,26	30,12
200		54,13	48,72	35,02	33,03	30,41	28,43

Tabela 56 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos Eventos Observados no BCP

Evento	TR (anos)	% Amortecimento BCP		
		Duração (h)		
		2	2,17	8
6/4/2010	< 1			94,23
1/2/2010	1,02	83,46		
4/2/2010	1,60		67,88	
25/3/2010	10		28,90

Figura 131 – Desempenho do módulo de BCP para chuvas de diversas durações e TR's.

Módulo de CPA

A Tabela 57, a Tabela 58 e a Figura 132 ilustram os resultados referentes ao desempenho do pavimento permeável com revestimento de CPA.

Analogamente ao módulo de BCP, porém com maior eficiência, o amortecimento proporcionado pelo conjunto CPA e reservatório diminui a medida em que a duração e o período de retorno aumentam. Porém, a porcentagem de amortecimento se mantém na faixa entre 56% e 85%, quando analisados todos os eventos.

Analisando-se os resultados compreendidos entre 1h e 24 horas de duração percebe-se que o limite superior da faixa cai, ficando entre 56% e 68%.

O que se constatou com as pesquisas é que a eficiência nos eventos de curta duração é muito significativa, com amortecimento da vazão afluenta da ordem de 80% em relação à chuva total podendo chegar a 95% (Tabela 57) em chuvas com duração de 10 minutos e período de retorno de 10 anos, que foi a condição considerada nesta pesquisa.

Tabela 57 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva para o CPA

	% Amortecimento						
	Duração (h)						
TR (anos)	0,17	0,5	1	4	6	12	24
1,05		84,90	68,48	64,82	64,36	63,84	63,51
10	95,75	77,01	60,63	57,89	57,49	57,11	56,88
25		75,90	59,78	57,26	56,92	56,62	56,44
50		75,22	59,29	56,91	56,61	56,36	56,21
100		74,64	58,87	56,64	56,38	56,15	56,03
200		74,13	58,52	56,42	56,18	55,99	55,88

Tabela 58 - Relação %Amortecimento x TR x Duração da Chuva dos Eventos Observados no CPA

TR (anos)	% Amortecimento CPA				
	Duração (h)				
	4,17	4,33	6,83	7	9,67
1	69,47	63,84			70,83
1,05			52,31		
1,12				74,45	
Evento	23/4/2010	8/5/2010	6/3/2010	25/2/2010	14/3/2010

Figura 132 - Amortecimento promovido pelo módulo de CPA para chuvas de diversas durações

O que se percebeu ao longo dos estudos é que o BCP se mostrou muito eficiente para chuvas freqüentes, ou seja, para chuvas com períodos de retorno em torno de 1 ano, independente de sua duração e o CPA apresentou maior eficiência para chuvas compreendidas no intervalo entre 10 e 200 anos de período de retorno. Com relação ao CPA pode-se afirmar que isso ocorre porque nos eventos com períodos de retorno entre 10 e 200 anos, uma parcela do escoamento fica retida no reservatório. Por outro lado, nos eventos curtos, o despejo no sistema de drenagem é muito rápido.

Pode-se observar na Figura 131 e na Figura 132 que em ambas foram determinadas curvas envolventes. Estas curvas representam as porcentagens de amortecimento mínimas e máximas encontradas em função do período de retorno. Portanto, o desempenho/eficiência de cada módulo está contido nas curvas envolventes superior e inferior. O desempenho encontrado nesta pesquisa está na faixa entre 56% e 63% (inferior) e entre 74% e 85% (superior) para o CPA, e entre 28% e 76% (inferior) e 54% e 84% (superior) para o BCP.

Deve-se salientar, que estas conclusões estão relacionadas as características físicas e aos materiais empregados nos dois protótipos estudados.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

9.1 Conclusões

Esta pesquisa teve por objetivo analisar o desempenho hidráulico de duas estruturas compostas de revestimentos permeáveis e reservatórios de material granular. Os revestimentos escolhidos foram o BCP e o CPA e as camadas reservatórios compostas, respectivamente, por brita graduada faixa B (DERSA) e macadame hidráulico (Figura 30 e Figura 31). Com base nos estudos desenvolvidos concluiu-se:

1. Com relação ao ***desempenho dos pavimentos permeáveis:***

Pavimentos permeáveis são dispositivos eficientes para o amortecimento de picos de cheia.

Módulo de BCP

Os resultados dos ensaios do protótipo utilizando revestimento BCP permitem concluir que a capacidade de amortecimento diminui com o aumento da ***duração da chuva e do período de retorno.***

Concluiu-se que para chuvas de até 1 hora de duração e períodos de retorno que variam de 1 a 200 anos, a porcentagem de amortecimento se mantém na faixa de 50% a 85%. Para durações entre 4 e 24 horas este amortecimento fica entre 30% e 79%, valores estes inferiores, mas que indicam boa eficiência da estrutura. Períodos de retorno de 10 anos, valor usual admitido em drenagem urbana, tem amortecimento da ordem de 40%, e o mínimo obtido nas simulações dos eventos de diferentes combinações de duração/recorrência foi de **28%**.

Módulo de CPA

O módulo com revestimento de asfalto poroso (CPA) apresenta amortecimento na faixa entre 56% e 85%, quando considerados todos os eventos simulados.

Destacando-se os resultados compreendidos entre as durações 1h e 24h, o limite superior da faixa reduz-se, permanecendo a faixa entre 56% e 68%. O amortecimento mínimo encontrado nos eventos simulados foi de **56%**.

Comparando-se os resultados dos dois modelos estudados, verifica-se que o revestimento asfáltico permeável tem desempenho melhor em eventos com período de retorno entre 10 e 200 anos. Nesse caso, a eficiência é da ordem de 56% (24h) a 60% (1h), chegando até 77% para eventos com 0,5h de duração e 95% em eventos com 10 minutos de duração. Para a mesma faixa de recorrência, o módulo com revestimento de concreto permeável tem desempenho de 28% (24h) a 64% (0,5h), portanto, com desempenho 17% inferior ao asfalto (CPA) em eventos curtos e 50% em eventos com 24h de duração.

Estes resultados relacionados ao volume e, conseqüentemente à capacidade de infiltração dos materiais que compõem cada estrutura, representam a influência, tanto do material de revestimento como dos componentes da base, que têm permeabilidade e granulometria diferentes nos dois protótipos estudados. Observa-se que, tanto a escolha do material de revestimento como o dimensionamento da base devem obedecer a critérios de projeto específicos, que levam em conta o tráfego e as características geomecânicas da pavimentação.

Embora, segundo estes critérios, as bases de ambos os módulos pudessem ser semelhantes, o arranjo diferenciado permitiu constatar os distintos comportamentos.

Concluiu-se também pelas tabelas 55 e 57, que para eventos com período de retorno igual a 1 ano o módulo de BCP é mais eficiente que o CPA, porque nesses eventos o tempo de concentração médio do CPA é mais baixo que no BCP, acarretando maiores vazões como pode ser visto na Tabela 28 e na Tabela 29.

Cabe ressaltar, que as estruturas analisadas nessa pesquisa são do tipo sem infiltração no solo. O fato do módulo de CPA apresentar coeficiente médio de permeabilidade e porcentagens de amortecimento maiores que o BCP pode se configurar como uma solução interessante para estruturas com infiltração no solo. Isso ocorre principalmente, nos casos em que o solo adjacente é granular, portanto permeável e há necessidade de recarga do lençol freático, por exemplo. Entretanto, devem-se observar questões relacionadas a qualidade da água, pois estas ainda não estão claras o suficiente em nossa sociedade.

2. Com relação aos **métodos de dimensionamento hidráulico de pavimentos permeáveis** que, apesar das equações de dimensionamento dos métodos analisados envolverem diversos parâmetros, a espessura da camada de base é definida em função :

- 1) da existência ou não de área de contribuição adicional;
- 2) da precipitação de projeto que é função do tempo de concentração e do período de retorno adotados no projeto;
- 3) da porosidade do material de base empregado;
- 4) da permeabilidade da camada de base e a declividade longitudinal/transversal que estão associadas ao tempo de drenagem da camada reservatório e;
- 5) do coeficiente de infiltração pelo revestimento drenante adotado.

Além dos parâmetros citados acima, deve-se observar o tipo de dispositivo empregado, ou seja, se este propiciará infiltração no solo ou se a contribuição coletada será armazenada pelo reservatório interno ao pavimento e depois lançada na micro-drenagem.

Ressalta-se que, para o caso estudado não há área adjacente ao pavimento que contribua para o mesmo. Em caso, contrário deve-se efetuar a análise para definição do melhor critério a ser empregado.

Cabe comentar ainda, que pela análise realizada concluiu-se que nem todos os métodos levam em consideração todas as variáveis enumeradas e, portanto, não são **unânimes**. Somente a implantação de protótipos e o desenvolvimento de pesquisas nessa linha poderão indicar qual o melhor método de dimensionamento.

O volume do reservatório na situação testada não foi utilizado totalmente em nenhum dos eventos monitorados. A análise realizada levou em consideração a profundidade do reservatório, o volume total, o volume útil e sua correlação com o evento de chuva. Permitindo-se concluir que o dimensionamento hidráulico resultou em uma estrutura superdimensionada devendo ser valorizado para exploração posterior.

3. Com relação ao **monitoramento do protótipo**

Observa-se que monitoramento não é uma tarefa fácil sendo suscetível a diferentes fatores, como por exemplo, o comportamento dos sensores de chuva e nível d'água, que respondem pelos dados mais importantes, assim como a dependência de sistemas de registro, transmissão e armazenamento de dados, que devem ter desempenho eficiente para que seja possível o aproveitamento de todos os eventos naturais durante o período de testes. Neste experimento o monitoramento foi efetuado de janeiro a maio de 2010, de forma a aproveitar o período de maior incidência de precipitações, porém somente os dados de fevereiro a maio puderam ser aproveitados, por deficiências naturais em qualquer experimento científico.

Conclui-se assim, que o tempo de monitoramento deve ser estendido para no mínimo duas ou três estações chuvosas, de forma a se aumentar a quantidade de eventos completos monitorados e desta forma, melhorar a confiabilidade dos dados.

4. Com relação a **construção** do estacionamento

Concluiu-se que deve haver fiscalização da obra, controle geométrico e tecnológico, a fim de se evitar possível alteração na concepção do projeto. Devem ser tomados cuidados construtivos no tocante à limpeza da obra para não acelerar o processo de colmatação dos revestimentos em pavimentos drenantes.

A construção dos protótipos se deu de maneira rotineira e convencional.

5. O **modelo matemático**

O modelo matemático empregado para simulação das condições extremas de solicitação hidrológica no pavimento e reservatório sub-superficial, embora simplificado, mostrou-se aderente ao fenômeno e sua calibração permitiu a avaliação do comportamento do sistema construído. Embora os seus parâmetros não possam ser extrapolados de forma genérica sem mais pesquisas, indica um caminho promissor para avaliação integrada deste tipo de estrutura.

As chuvas mais longas e as chuvas mais e menos intensas foram envelopadas dentro do experimento. Portanto, os resultados abrangem todos os tipos que chuva.

Em todas as situações estudadas o desempenho dos pavimentos permeáveis foi excelente.

As perdas por infiltração nos pavimentos estão compreendidas entre 0,73 e 30,58 mm no BCP e entre 6,25 e 8,28 mm no CPA. Estas estão associadas à umidade antecedente do pavimento, pois em virtude de chuva antecedente, a tendência é de que a perda, ou seja, a quantidade de água que fica contida dentro da estrutura reservatório, seja menor.

Ressalta-se que nesta pesquisa considerou-se evento independente àquele em que não houve chuva anterior a pelo menos 12 horas.

As figuras a seguir apresentam as precipitações ocorridas no mês de fevereiro e no dia 6/3/2010 onde se pode perceber a ocorrência ou não de chuva antecedente.

A Tabela 59 apresenta a análise da ocorrência de chuva antecedente aos eventos monitorados. Como se pode perceber todos os eventos foram simulados individualmente, exceto os eventos de 25 de fevereiro e 8 de maio. Porém, nesses eventos a precipitação antecedente foi da ordem de 3 mm em 30 e 20 minutos e a perda ficou entre 7,40 mm e 8,28 mm, respectivamente. Portanto, aparentemente as precipitações antecedentes não afetaram o desempenho do pavimento permeável.

Tabela 59 - Relação de eventos e eventos antecedentes.

	Evento	Evento Antecedente	Duração do evento (h)		Duração Total (h)	Precipitação Total (h)
			Início	Fim		
CPA	25/2/2010	24/2/2010 das 14:20 h as 14:50h - 3,2 mm	03:00	10:00	07:00	35,40
	6/3/2010	Não houve chuva anterior a 12h	07:00	13:50	06:50	31,20
	14/3/2010	Não houve chuva anterior a 12h	12:50	22:30	09:40	16,40
	23/4/2010	Não houve chuva anterior a 12h	15:40	19:50	02:10	17,20
	8/5/2010	8/5/2010 das 11:00 h as 11:30 h - 3 mm	17:20	21:40	04:20	21,40
BCP	1/2/2010	Não houve chuva anterior a 12h	18:00	20:00	02:00	23,60
	4/2/2010	Não houve chuva anterior a 12h	15:40	17:50	02:10	42,60
	25/3/2010	Não houve chuva anterior a 12h	14:50	17:00	02:10	73,40
	6/4/2010	Houve chuva antecedente, porém o pluviômetro falhou	09:10	17:10	08:00	18,80

Por outro lado, nos eventos de 6 e 25 de março quando o desempenho dos pavimentos ficou abaixo da média, não houve chuva antecedente que pudesse ter saturado os pavimentos, então não se pode concluir o que ocorreu.

Figura 133 - Eventos ocorridos em fevereiro de 2010.

Figura 134 – Evento de 25/2/2010.

Figura 135 - Evento de 6/3/2010.

Todos os resultados obtidos nesta pesquisa são relacionados aos módulos experimentais e as suas particularidades como, a área de contribuição, os revestimentos e os materiais das camadas reservatório. Portanto, concluiu-se ser imprescindível a elaboração de projetos estrutural e hidráulico adequados para implantação de dispositivos deste tipo, a fim de garantir sua eficiência.

O experimento e a construção dos pavimentos foram um sucesso didático. **Não houve danos, trincas, afundamentos e nem desagregação do pavimento poroso. Portanto, conclui-se que, durante o período desta pesquisa, este tipo de estrutura não afetou as características geomecânicas e nem o desempenho dos pavimentos.**

Esta pesquisa intenciona fomentar novos estudos que venham a complementá-la e que de certa forma, possam servir de instrumentos técnicos a serem adotados na drenagem urbana, em futuro próximo.

9.2 Recomendações

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa identificaram-se aspectos que precisam ser aprimorados. Portanto, recomenda-se:

1. A instalação de sensores de nível d'água dentro da estrutura reservatório a fim de que se possa monitorar o escoamento no meio poroso e, confirmar os resultados obtidos nesta pesquisa.
2. Uma descrição da metodologia de cálculo para possibilitar a utilização desse modelo em projetos com características distintas deste.
3. A continuidade das pesquisas com o monitoramento de outros eventos e confirmação dos resultados obtidos, bem como para verificação de eventual colmatação dos revestimentos utilizados.
4. A alteração dos vértices dos vertedouros para 45°, na medida em que estes foram projetados a 90° e no decorrer da pesquisa foi detectada a necessidade de alteração para 45°, a fim de propiciar maior acurácia devido as vazões afluentes serem de baixa magnitude. A adoção de vertedouros a 45°

possibilitará a formação de lâmina d'água maior sobre o vertedouro e, melhorará a precisão na leitura e transmissão dos dados.

5. A alteração no intervalo de registros dos dados de 10 minutos para 5 ou 2 minutos a fim de possibilitar maior precisão na análise dos eventos.
6. A elaboração de um modelo matemático que agregue as questões hidráulicas relacionadas ao escoamento no meio poroso, com a implantação de sensores de nível d'água dentro da estrutura.
7. A coleta de amostras da água de escoamento subsuperficial em ambos os módulos para análise da qualidade da água. Ressalta-se que foram implantadas caixas nos módulos experimentais para essa finalidade.
8. Em outros experimentos/locais, quando as vazões naturais forem conhecidas poderá se relacionar ou comparar a estas, o amortecimento obtido na ocasião.
9. Estudos de custos à luz das dificuldades construtivas e do dimensionamento em relação aos pavimentos convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13292: Solo - determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante**. Rio de Janeiro, 1995.

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 184p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set. 2000.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Urban runoff quality - impact and quality enhancement technology**. New Hampshire: ASCE, 1986. p. 270-323.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Design and construction of urban stormwater management systems**. New York: ASCE, 1992. 724 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Banco de obras - Pavimentos intertravados**. 2004. 1 DVD-ROM.

AZZOUT, Y. et al. **Techniques alternatives en assainissement pluvial**. Paris: Technique et Documentation - Lavoisier, 1994. 372 p.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica - materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 557p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BARACHO, M. A. R. **Escoamento turbulento com superfície livre em meio poroso**. 1989. 146 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

BENJAMIN, J.; CORNELL, C. A. **Probability, statistics and decision for civil engineers**. [S.l.]: McGraw-Hill Book Company, 1970. 684p.

BETTES, R. **Infiltration drainage - manual of good practice**. Londres: CIRIA, 1996.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Soakaway design. **BRE Digest 365**, Setembro 1991. ISSN ISBN 1-86081-604-5.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban drainage**. Londres: Spon Press, 2004. 543 p.

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 79-94, dez. 1994.

CAMPOS, O. S. **Análise do comportamento de trecho piloto de revestimento poroso com asfalto modificado por polímero**. 1998. 178p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p.

CEDERGREN, H. R. **Drainage of highway and airfield pavement**. Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., FL, 1987.

CEDERGREN, H. R. **Seepage, drainage, and flow nets**. John Wiley & Sons, 1977. 534p.

CERTU. **Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial**. Lyon: CERTU/CETE Sud-Ouest, 1998. 156 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Drenagem urbana - manual de projeto**. 3ª Edição. ed. São Paulo: ASCETESB, 1986. 452p.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1964.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION. **Infiltration drainage - manual of good practice**. Londres: CIRIA, 1996.(Report 156)

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION. **Sustainable urban drainage systems - design manual for Scotland and Northern Ireland**. CIRIA C521. 2000.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION. **Sustainable urban drainage systems - design manual for England and Wales**. CIRIA C522. 2001.

CLAYTOR, R. A.; SCHUELER, T. R. **Design of stormwater filtering systems**. Silver Spring, Maryland: Center for Watershed Protection, 1996.

COLANDINI, V. **Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales - qualité des eaux et devenir des métaux lourds**. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1999. 200p.

COLLINS, K. A.; HUNT, W. F.; HATHAWAY, J. M. Evaluation of various types of permeable pavement with respect to water quality improvement and flood control. In: NATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, 2, 2007, Wilmington, N.C. **Proceedings**. North Carolina: American Society of Civil Engineers, 2007.p. 275-289.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. **Standard specifications for infiltration practices**. State of Maryland. Baltimore, 1985.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. **Maryland stormwater manual**. State of Maryland. Baltimore, 1999.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ET-DE-P00/008: Especificação técnica sub-base ou base de brita graduada**. São Paulo, 2005.

DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S.A. **ET-P00/039: Especificação técnica de pavimentação - brita graduada**. São Paulo, 1997.

DIERKES, C. et al. Pollution retention capability and maintenance of permeable pavements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 9., 2002, Portland, Oregon. **Proceedings**. Portland, Oregon: American Society of Civil Engineers, 2004. p. 1-13.

DIE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN. **Merkblatt für die wasserdurchlässige Befestigung von Verkehrsflächen**; Köln. 1998.

DIE FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN. **Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO.** ; Köln. 2001.

DINIZ, E. V. **Porous pavement - phase I - design and operational criteria**. Cincinnati, Ohio. U.S: Environmental Protection Agency, 1980. 87 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Stormwater technology fact sheet, Porous Pavement**. Washington, D. C.: EPA, 1999. EPA 832-F-99-023.

GUO, J. C. Y.; KOCMAN, S. M.; RAMASWAMI, A. Design of two-layered porous landscaping detention basin. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 12, p. 1268-1274, Dec. 2009.

JONES, J. E. **BMP Performance and receiving water impacts**. Water Resources IMPACT. 6. ed. Nov. 2001.

LEE, J. G.; HEANEY, J. P. Estimation of urban imperviousness and its impacts on storm water systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 129, n. 5, p. 419-426, Sept./Oct. 2003.

LENCASTRE, A. **Hidráulica geral**. Lisboa: [s.n.], 1983. 654p

MARTINEZ, F. J.; MAGNI, N. L. G. **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE. 1999.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; DE SOUZA, V. C. B. **Sistema hidrourb para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem**

urbana. Anais eletrônicos do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória, 1997.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface entre as Áreas de Recursos Hídricos e Saneamento. **Eng. sanit. ambient.**, v. 10, n. 1, p. 36-48, jan./mar. 2005.

OJIMA, R. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 277-300, jul./dez. 2007.

PASHKOV, N. N.; DOLGACHEV, F. M. **Hidráulica y máquinas hidráulicas.** Edição traduzida para o espanhol. ed. [S.l.]: Editorial Mir Moscú, 1985.

PINTO, L. L. C.; MARTINS, J. R. S. Variabilidade da taxa de impermeabilização do solo urbano. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 23, 2008, Cartagena de Indias, Colômbia. **Anais.** Cartagena de Indias: IAHR, 2008. 1 CD ROM.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

PORTO, R. L. L.; MARCELLINI, S. S. Generalização de curvas de distribuição temporal de tormentas de projeto. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1993, Gramado. **Anais.** 1993.

PRATT, C. J.; POWELL, J. J. M. Design of infiltration systems: the new UK approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE DOMAIN OF URBAN STORM WATER DRAINAGE, 1., 1992, Lyon, France. **Proceedings.** Lyon: Congrès Novatech, 1992. p. 155-164.

RAIMBAULT, G. **Bilan de la chaussée à structure-reservoir de la rue de la Classerie à Rezé - dix ans après sa construction.** Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2000. 117p.

ROESNER, L. A.; URBONAS, B.; SONNEN, M. B. **Design of urban runoff quality controls.** Missouri: American Society of Civil Engineers, 1988. 490p.

SÃO PAULO. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes de projeto de hidráulica e drenagem urbana.** São Paulo: PMSP/FCTH, v. 4, 1999. 404 p.

SÃO PAULO. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes de projetos de pavimentação – SIURB – Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras.** São Paulo, 2002.

SÃO PAULO. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **IP-04 - Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio.** São Paulo, 2004.

SÃO PAULO. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **IP-06 - Dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto**. São Paulo, 2004.

SCHLÜTER, W.; JEFFERIES, C. Modelling the outflow from a porous pavement. **Urban Water**, Dundee, Scotland, UK, v. 4, n. 3, p. 245-253, 2002.

SCHLÜTER, W.; SPITZER, A.; JEFFERIES, C. Performance of three sustainable urban drainage systems in East Scotland. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 9., Portland, Oregon, 2002. **Proceedings**. Portland, Oregon: American Society of Civil Engineers, 2004. p. 1-17.

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff**: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.

SMITH, D. R. **Permeable interlocking concrete pavements**. Washington, DC: Interlocking Concrete Pavement Institute, 2001. 44p.

THE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING-THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM. **Drainage design and performance guidelines for Uni Eco-Stone permeable pavement**. College Station: UNI-GROUP U.S.A.- Manufacturers of Uni Paving Stones, 1998. 48 p.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 1995. 428p.

URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT. **Urban storm drainage criteria manual (USWDCM) - Best management practices**. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, v. 3, 2001.

URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT. **Urban storm drainage criteria manual (USWDCM) - Best management practices**. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, v. 3, 2008.

URBONAS, B. R.; ROESNER, L. A. Hydrologic desing for urban drainage and flood control. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1992. Cap.28.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater**: best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management. Englewood Cliffs, New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993. 449p.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

APÊNDICE A – PLANILHAS DE DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DO MODELO FÍSICO

Precipitação

Tabela 60 - Precipitação obtida a partir da equação de chuvas da cidade de São Paulo - Posto E3-035 - IAG/USP

D(min)\TR(anos)	Precipitação (mm)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	16,22	21,14	24,40	26,24	27,53	28,52	31,57	34,61	37,63
20	24,86	32,51	37,58	40,43	42,44	43,98	48,72	53,44	58,13
30	30,34	39,77	46,02	49,55	52,01	53,92	59,77	65,58	71,38
60	39,28	51,78	60,06	64,73	68,00	70,51	78,27	85,97	93,64
120	46,81	62,12	72,25	77,97	81,98	85,06	94,56	103,99	113,39
180	50,48	67,27	78,40	84,67	89,07	92,45	102,88	113,23	123,54
360	55,74	74,88	87,56	94,71	99,71	103,57	115,45	127,24	138,99
720	60,16	81,51	95,64	103,62	109,20	113,50	126,75	139,90	153,01
1080	62,53	85,15	100,13	108,58	114,50	119,06	133,10	147,04	160,92
1440	64,15	87,69	103,27	112,06	118,22	122,96	137,57	152,07	166,51

Módulo de Blocos de Concreto de Cimento Portland Permeável (BCP)

Tabela 61 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=20\%$

D(min)\TR(anos)	H=Espessura do reservatório (mm)								
	$\mu = 20\%$								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	81,11	105,72	122,01	131,20	137,64	142,60	157,87	173,03	188,13
20	124,32	162,56	187,89	202,17	212,18	219,88	243,62	267,18	290,65
30	151,69	198,87	230,11	247,73	260,07	269,58	298,86	327,92	356,88
60	196,40	258,90	300,28	323,63	339,98	352,57	391,36	429,86	468,22
120	234,04	310,59	361,27	389,86	409,88	425,30	472,81	519,96	566,95
180	252,38	336,37	391,99	423,36	445,33	462,25	514,38	566,13	617,68
360	278,69	374,41	437,78	473,54	498,57	517,86	577,26	636,22	694,97
720	300,80	407,55	478,22	518,10	546,01	567,52	633,77	699,52	765,04
1080	312,63	425,75	500,65	542,91	572,50	595,29	665,49	735,18	804,61
1440	320,74	438,43	516,35	560,31	591,09	614,80	687,84	760,34	832,57

Tabela 62 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=20\%$

D(min)\TR(anos)	Módulo BCP								
	H' = Espessura média do reservatório $\mu = 20\%$								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	283,24	307,84	324,14	333,33	339,76	344,72	359,99	375,15	390,25
20	326,44	364,69	390,01	404,30	414,30	422,01	445,74	469,30	492,78
30	353,82	401,00	432,23	449,86	462,20	471,70	500,98	530,05	559,00
60	398,52	461,03	502,41	525,76	542,10	554,69	593,48	631,99	670,35
120	436,17	512,71	563,39	591,99	612,01	627,43	674,93	722,09	769,07
180	454,50	538,50	594,11	625,49	647,46	664,38	716,51	768,25	819,81

Módulo BCP									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 20\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
360	480,82	576,54	639,91	675,66	700,70	719,98	779,38	838,35	897,10
720	502,93	609,67	680,35	720,22	748,14	769,64	835,89	901,65	967,16
1080	514,75	627,88	702,78	745,03	774,62	797,41	867,62	937,30	1006,74
1440	522,87	640,56	718,48	762,44	793,22	816,93	889,97	962,47	1034,70

Figura 136 - Espessura média da camada do reservatório para porosidade da brita 20% - Módulo BCP

Tabela 63 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=25\%$

H=Espessura do reservatório (mm)									
$\mu = 25\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	64,89	84,58	97,61	104,96	110,11	114,08	126,29	138,42	150,50
20	99,45	130,05	150,31	161,74	169,74	175,91	194,89	213,74	232,52
30	121,35	159,10	184,09	198,19	208,06	215,66	239,09	262,34	285,50
60	157,12	207,12	240,23	258,90	271,98	282,06	313,09	343,89	374,58
120	187,23	248,47	289,02	311,89	327,91	340,24	378,25	415,97	453,56
180	201,90	269,10	313,59	338,69	356,27	369,80	411,51	452,90	494,14
360	222,95	299,53	350,23	378,83	398,86	414,28	461,81	508,98	555,98
720	240,64	326,04	382,58	414,48	436,81	454,02	507,01	559,62	612,03
1080	250,10	340,60	400,52	434,33	458,00	476,23	532,39	588,14	643,69
1440	256,59	350,75	413,08	448,25	472,88	491,84	550,27	608,27	666,06

Tabela 64 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=25\%$

Módulo BCP									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 25\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	267,01	286,70	299,73	307,09	312,24	316,20	328,42	340,55	352,63
20	301,58	332,18	352,43	363,86	371,87	378,03	397,02	415,87	434,65
30	323,48	361,22	386,21	400,31	410,18	417,79	441,21	464,46	487,63
60	359,24	409,25	442,35	461,03	474,11	484,18	515,21	546,01	576,70

Módulo BCP									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 25\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
120	389,36	450,60	491,14	514,02	530,03	542,37	580,37	618,10	655,68
180	404,03	471,22	515,71	540,82	558,39	571,93	613,63	655,03	696,27
360	425,08	501,65	552,35	580,96	600,98	616,41	663,93	711,10	758,10
720	442,77	528,16	584,70	616,60	638,94	656,14	709,14	761,74	814,16
1080	452,23	542,73	602,65	636,45	660,12	678,35	734,52	790,27	845,81
1440	458,72	552,87	615,21	650,38	675,00	693,97	752,40	810,40	868,18

Figura 137 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 25% - Módulo BCP

Tabela 65 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=30\%$

H=Espessura do reservatório (mm)									
$\mu = 30\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	54,07	70,48	81,34	87,47	91,76	95,06	105,25	115,35	125,42
20	82,88	108,38	125,26	134,78	141,45	146,59	162,41	178,12	193,77
30	101,13	132,58	153,41	165,16	173,38	179,72	199,24	218,61	237,92
60	130,93	172,60	200,19	215,75	226,65	235,05	260,91	286,57	312,15
120	156,03	207,06	240,85	259,91	273,26	283,54	315,21	346,64	377,96
180	168,25	224,25	261,32	282,24	296,89	308,17	342,92	377,42	411,79
360	185,80	249,61	291,86	315,69	332,38	345,24	384,84	424,15	463,31
720	200,53	271,70	318,81	345,40	364,01	378,35	422,51	466,35	510,03
1080	208,42	283,84	333,77	361,94	381,66	396,86	443,66	490,12	536,41
1440	213,83	292,29	344,23	373,54	394,06	409,87	458,56	506,89	555,05

Tabela 66 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=30\%$

Módulo BCP									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 30\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	256,20	272,60	283,47	289,59	293,88	297,19	307,37	317,48	327,54
20	285,00	310,50	327,38	336,91	343,58	348,71	364,54	380,24	395,89
30	303,25	334,71	355,53	367,28	375,51	381,84	401,36	420,74	440,04
60	333,06	374,73	402,31	417,88	428,78	437,17	463,03	488,70	514,27
120	358,15	409,18	442,97	462,03	475,38	485,66	517,33	548,77	580,09
180	370,38	426,37	463,45	484,37	499,01	510,29	545,05	579,54	613,91
360	387,92	451,73	493,98	517,82	534,51	547,36	586,96	626,27	665,44
720	402,66	473,82	520,94	547,52	566,13	580,47	624,64	668,47	712,15
1080	410,54	485,96	535,89	564,06	583,79	598,98	645,79	692,24	738,53
1440	415,95	494,41	546,36	575,67	596,19	611,99	660,69	709,02	757,17

Figura 138 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 30% - Módulo BCP

Tabela 67 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=35\%$

H=Espessura do reservatório (mm)									
$\mu = 35\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	46,35	60,41	69,72	74,97	78,65	81,48	90,21	98,87	107,50
20	71,04	92,89	107,36	115,53	121,24	125,65	139,21	152,67	166,09
30	86,68	113,64	131,49	141,56	148,61	154,04	170,78	187,38	203,93
60	112,23	147,94	171,59	184,93	194,27	201,47	223,63	245,63	267,56
120	133,74	177,48	206,44	222,78	234,22	243,03	270,18	297,12	323,97
180	144,22	192,21	223,99	241,92	254,48	264,15	293,93	323,50	352,96
360	159,25	213,95	250,16	270,59	284,90	295,92	329,86	363,56	397,13
720	171,89	232,88	273,27	296,05	312,01	324,30	362,15	399,73	437,17
1080	178,64	243,29	286,09	310,23	327,14	340,16	380,28	420,10	459,78
1440	183,28	250,53	295,06	320,18	337,77	351,32	393,05	434,48	475,76

Tabela 68 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=35\%$

Módulo Intertravado									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 35\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	248,47	262,54	271,85	277,10	280,78	283,61	292,34	301,00	309,63
20	273,16	295,02	309,49	317,65	323,37	327,77	341,34	354,80	368,21
30	288,81	315,77	333,62	343,69	350,74	356,17	372,90	389,51	406,06
60	314,35	350,07	373,72	387,06	396,40	403,59	425,76	447,76	469,68
120	335,86	379,60	408,56	424,90	436,34	445,16	472,30	499,25	526,09
180	346,34	394,34	426,12	444,05	456,60	466,27	496,06	525,63	555,09
360	361,38	416,07	452,29	472,72	487,02	498,04	531,99	565,68	599,25
720	374,01	435,01	475,39	498,18	514,13	526,42	564,28	601,85	639,29
1080	380,77	445,41	488,21	512,36	529,27	542,29	582,41	622,23	661,90
1440	385,41	452,66	497,18	522,30	539,89	553,44	595,18	636,61	677,88

Figura 139 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 35% - Módulo Blocos Intertravados

Tabela 69 - Espessura da camada reservatório em função da precipitação e da porosidade $\mu=40\%$

H=Espessura do reservatório (mm)									
$\mu = 40\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	40,56	52,86	61,01	65,60	68,82	71,30	78,93	86,51	94,06
20	62,16	81,28	93,94	101,09	106,09	109,94	121,81	133,59	145,33
30	75,85	99,44	115,05	123,87	130,04	134,79	149,43	163,96	178,44
60	98,20	129,45	150,14	161,82	169,99	176,28	195,68	214,93	234,11
120	117,02	155,29	180,63	194,93	204,94	212,65	236,40	259,98	283,47
180	126,19	168,19	195,99	211,68	222,67	231,13	257,19	283,06	308,84
360	139,35	187,21	218,89	236,77	249,29	258,93	288,63	318,11	347,49
720	150,40	203,77	239,11	259,05	273,01	283,76	316,88	349,76	382,52
1080	156,31	212,88	250,33	271,45	286,25	297,64	332,75	367,59	402,31
1440	160,37	219,22	258,18	280,16	295,55	307,40	343,92	380,17	416,29

Tabela 70 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=40\%$

Módulo Intertravado									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 40\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	242,68	254,98	263,13	267,73	270,94	273,42	281,06	288,64	296,19
20	264,28	283,41	296,07	303,21	308,21	312,07	323,93	335,71	347,45
30	277,97	301,56	317,18	325,99	332,16	336,91	351,55	366,09	380,56
60	300,32	331,58	352,27	363,94	372,11	378,41	397,80	417,06	436,24
120	319,15	357,42	382,76	397,06	407,07	414,78	438,53	462,11	485,60
180	328,31	370,31	398,12	413,81	424,79	433,25	459,32	485,19	510,97
360	341,47	389,33	421,02	438,89	451,41	461,05	490,75	520,24	549,61
720	352,53	405,90	441,24	461,17	475,13	485,88	519,01	551,89	584,64
1080	358,44	415,00	452,45	473,58	488,37	499,77	534,87	569,71	604,43
1440	362,50	421,34	460,30	482,28	497,67	509,53	546,05	582,30	618,41

Figura 140 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 40% - Módulo Blocos Intertravados

Módulo de Concreto Poroso Asfáltico (CPA)

Tabela 71 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=20\%$

Módulo CPA									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 20\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	288,61	313,22	329,51	338,70	345,14	350,10	365,37	380,53	395,63
20	331,82	370,06	395,39	409,67	419,68	427,38	451,12	474,68	498,15
30	359,19	406,37	437,61	455,23	467,57	477,08	506,36	535,42	564,38
60	403,90	466,40	507,78	531,13	547,48	560,07	598,86	637,36	675,72
120	441,54	518,09	568,77	597,36	617,38	632,80	680,31	727,46	774,45
180	459,88	543,87	599,49	630,86	652,83	669,75	721,88	773,63	825,18
360	486,19	581,91	645,28	681,04	706,07	725,36	784,76	843,72	902,47
720	508,30	615,05	685,72	725,60	753,51	775,02	841,27	907,02	972,54
1080	520,13	633,25	708,15	750,41	780,00	802,79	872,99	942,68	1012,11
1440	528,24	645,93	723,85	767,81	798,59	822,30	895,34	967,84	1040,07

Figura 141 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 20% - Módulo CPA

Tabela 72 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=25\%$

Módulo CPA										
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 25\%$										
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200	
10	272,39	292,08	305,11	312,46	317,61	321,58	333,79	345,92	358,00	
20	306,95	337,55	357,81	369,24	377,24	383,41	402,39	421,24	440,02	
30	328,85	366,60	391,59	405,69	415,56	423,16	446,59	469,84	493,00	
60	364,62	414,62	447,73	466,40	479,48	489,56	520,59	551,39	582,08	
120	394,73	455,97	496,52	519,39	535,41	547,74	585,75	623,47	661,06	
180	409,40	476,60	521,09	546,19	563,77	577,30	619,01	660,40	701,64	
360	430,45	507,03	557,73	586,33	606,36	621,78	669,31	716,48	763,48	
720	448,14	533,54	590,08	621,98	644,31	661,52	714,51	767,12	819,53	
1080	457,60	548,10	608,02	641,83	665,50	683,73	739,89	795,64	851,19	
1440	464,09	558,25	620,58	655,75	680,38	699,34	757,77	815,77	873,56

Figura 142 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 25% - Módulo CPA

Tabela 73 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=30\%$

Módulo CPA									
H' = Espessura média do reservatório $\mu=30\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	261,57	277,98	288,84	294,97	299,26	302,56	312,75	322,85	332,92
20	290,38	315,88	332,76	342,28	348,95	354,09	369,91	385,62	401,27
30	308,63	340,08	360,91	372,66	380,88	387,22	406,74	426,11	445,42
60	338,43	380,10	407,69	423,25	434,15	442,55	468,41	494,07	519,65
120	363,53	414,56	448,35	467,41	480,76	491,04	522,71	554,14	585,46
180	375,75	431,75	468,82	489,74	504,39	515,67	550,42	584,92	619,29
360	393,30	457,11	499,36	523,19	539,88	552,74	592,34	631,65	670,81
720	408,03	479,20	526,31	552,90	571,51	585,85	630,01	673,85	717,53
1080	415,92	491,34	541,27	569,44	589,16	604,36	651,16	697,62	743,91
1440	421,33	499,79	551,73	581,04	601,56	617,37	666,06	714,39	762,55

Figura 143 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 30% - Módulo CPA

Tabela 74 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=35\%$

Módulo CPA									
H' = Espessura média do reservatório $\mu=35\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	253,85	267,91	277,22	282,47	286,15	288,98	297,71	306,37	315,00
20	278,54	300,39	314,86	323,03	328,74	333,15	346,71	360,17	373,59
30	294,18	321,14	338,99	349,06	356,11	361,54	378,28	394,88	411,43
60	319,73	355,44	379,09	392,43	401,77	408,97	431,13	453,13	475,06
120	341,24	384,98	413,94	430,28	441,72	450,53	477,68	504,62	531,47
180	351,72	399,71	431,49	449,42	461,98	471,65	501,43	531,00	560,46
360	366,75	421,45	457,66	478,09	492,40	503,42	537,36	571,06	604,63
720	379,39	440,38	480,77	503,55	519,51	531,80	569,65	607,23	644,67
1080	386,14	450,79	493,59	517,73	534,64	547,66	587,78	627,60	667,28
1440	390,78	458,03	502,56	527,68	545,27	558,82	600,55	641,98	683,26

Figura 144 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 35% - Módulo CPA

Tabela 75 - Espessura média da camada reservatório para porosidade $\mu=40\%$

Módulo CPA									
H' = Espessura média do reservatório $\mu = 40\%$									
D(min)\TR(anos)	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	248,06	260,36	268,51	273,10	276,32	278,80	286,43	294,01	301,56
20	269,66	288,78	301,44	308,59	313,59	317,44	329,31	341,09	352,83
30	283,35	306,94	322,55	331,37	337,54	342,29	356,93	371,46	385,94
60	305,70	336,95	357,64	369,32	377,49	383,78	403,18	422,43	441,61
120	324,52	362,79	388,13	402,43	412,44	420,15	443,90	467,48	490,97
180	333,69	375,69	403,49	419,18	430,17	438,63	464,69	490,56	516,34
360	346,85	394,71	426,39	444,27	456,79	466,43	496,13	525,61	554,99
720	357,90	411,27	446,61	466,55	480,51	491,26	524,38	557,26	590,02
1080	363,81	420,38	457,83	478,95	493,75	505,14	540,25	575,09	609,81
1440	367,87	426,72	465,68	487,66	503,05	514,90	551,42	587,67	623,79

Figura 145 - Espessura média do reservatório para porosidade da brita 40% - Módulo CPA

APÊNDICE B – DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DE 24 HORAS PELA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL (CONTINUA)

Tabela 76 – Desagregação de chuvas a partir da chuva de 24 horas obtida pela distribuição de Gumbel

			TR (anos)																		
D (min.)	D (horas)	r	1,01	1,02	1,05	1,10	1,13	1,2	1,3	1,5	2	2,5	3	4	5	10	20	25	50	63	100
10	0,17	0,24	9,67	10,30	11,31	12,25	12,66	13,40	14,19	15,32	17,14	18,34	19,25	20,60	21,60	24,56	27,40	28,30	31,07	31,99	33,82
15	0,25	0,29	11,77	12,53	13,76	14,90	15,40	16,30	17,26	18,65	20,85	22,32	23,43	25,07	26,29	29,89	33,34	34,43	37,80	38,92	41,15
20	0,33	0,33	13,09	13,95	15,31	16,59	17,14	18,14	19,21	20,75	23,21	24,84	26,07	27,90	29,26	33,26	37,10	38,32	42,07	43,31	45,79
25	0,42	0,35	14,10	15,02	16,49	17,86	18,45	19,53	20,68	22,34	24,99	26,74	28,07	30,04	31,50	35,81	39,94	41,26	45,30	46,64	49,31
30	0,50	0,37	14,92	15,89	17,45	18,90	19,53	20,67	21,89	23,64	26,44	28,30	29,70	31,79	33,33	37,89	42,27	43,66	47,93	49,35	52,18
35	0,58	0,39	15,62	16,64	18,26	19,78	20,44	21,64	22,91	24,75	27,68	29,62	31,09	33,28	34,89	39,67	44,25	45,70	50,18	51,66	54,62
40	0,67	0,40	16,23	17,29	18,98	20,56	21,24	22,49	23,81	25,72	28,77	30,79	32,31	34,58	36,26	41,22	45,99	47,50	52,15	53,69	56,76
45	0,75	0,42	16,78	17,87	19,62	21,25	21,96	23,25	24,62	26,59	29,74	31,82	33,40	35,75	37,49	42,62	47,54	49,10	53,91	55,50	58,68
50	0,83	0,43	17,28	18,40	20,20	21,88	22,61	23,93	25,35	27,38	30,62	32,77	34,39	36,81	38,60	43,88	48,95	50,55	55,50	57,15	60,42
55	0,92	0,44	17,73	18,89	20,74	22,46	23,21	24,57	26,01	28,10	31,43	33,63	35,30	37,78	39,62	45,04	50,24	51,89	56,97	58,65	62,01
60	1,0	0,45	18,15	19,34	21,23	23,00	23,76	25,15	26,63	28,77	32,18	34,43	36,14	38,68	40,56	46,11	51,43	53,12	58,32	60,05	63,49
72	1,2	0,47	19,06	20,30	22,29	24,14	24,94	26,40	27,96	30,20	33,78	36,15	37,94	40,60	42,58	48,40	53,99	55,76	61,23	63,04	66,65
84	1,4	0,49	19,84	21,14	23,21	25,14	25,97	27,49	29,11	31,45	35,17	37,64	39,50	42,28	44,33	50,40	56,22	58,07	63,75	65,64	69,40
96	1,6	0,51	20,54	21,88	24,02	26,02	26,89	28,46	30,14	32,55	36,41	38,96	40,90	43,77	45,90	52,18	58,20	60,11	66,00	67,95	71,84
108	1,8	0,53	21,17	22,56	24,76	26,82	27,71	29,34	31,06	33,56	37,53	40,16	42,15	45,11	47,31	53,78	59,99	61,96	68,03	70,04	74,05
120	2	0,54	21,75	23,17	25,44	27,55	28,47	30,14	31,91	34,47	38,55	41,26	43,30	46,35	48,60	55,25	61,63	63,65	69,88	71,95	76,07
130	2,17	0,55	22,20	23,65	25,96	28,12	29,05	30,76	32,57	35,18	39,34	42,11	44,19	47,30	49,60	56,38	62,89	64,96	71,32	73,43	77,64
144	2,4	0,57	22,78	24,27	26,64	28,86	29,82	31,56	33,42	36,10	40,38	43,21	45,35	48,54	50,90	57,86	64,54	66,66	73,19	75,36	79,67

APÊNDICE B – DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DE 24 HORAS PELA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL (CONTINUAÇÃO)

D (min.)	D (horas)	r	TR (anos)																		
			1,01	1,02	1,05	1,10	1,13	1,2	1,3	1,5	2	2,5	3	4	5	10	20	25	50	63	100
156	2,6	0,58	23,24	24,76	27,18	29,45	30,42	32,21	34,10	36,84	41,20	44,09	46,28	49,53	51,93	59,04	65,86	68,02	74,68	76,89	81,30
168	2,8	0,59	23,68	25,23	27,70	30,00	31,00	32,81	34,74	37,53	41,97	44,92	47,15	50,46	52,91	60,15	67,10	69,30	76,09	78,34	82,82
180	3	0,60	24,09	25,67	28,18	30,52	31,54	33,38	35,35	38,18	42,71	45,70	47,97	51,34	53,83	61,20	68,27	70,51	77,41	79,70	84,27
192	3,2	0,61	24,49	26,09	28,64	31,02	32,05	33,93	35,93	38,81	43,40	46,45	48,75	52,17	54,71	62,20	69,38	71,66	78,67	81,00	85,64
204	3,4	0,62	24,86	26,48	29,07	31,49	32,54	34,44	36,47	39,40	44,06	47,15	49,49	52,97	55,54	63,14	70,44	72,75	79,87	82,24	86,95
216	3,6	0,63	25,22	26,86	29,49	31,94	33,01	34,94	37,00	39,96	44,69	47,83	50,20	53,73	56,34	64,05	71,45	73,79	81,02	83,41	88,19
228	3,8	0,64	25,56	27,23	29,89	32,38	33,45	35,41	37,50	40,50	45,30	48,48	50,88	54,46	57,10	64,92	72,41	74,79	82,12	84,54	89,39
240	4	0,64	25,89	27,58	30,27	32,79	33,88	35,86	37,98	41,02	45,88	49,10	51,54	55,16	57,83	65,75	73,34	75,75	83,17	85,63	90,53
252	4,2	0,65	26,20	27,91	30,64	33,19	34,29	36,30	38,44	41,52	46,44	49,70	52,16	55,83	58,54	66,55	74,23	76,67	84,18	86,67	91,63
270	4,5	0,66	26,65	28,39	31,17	33,76	34,88	36,93	39,10	42,24	47,24	50,55	53,06	56,79	59,55	67,70	75,51	77,99	85,63	88,16	93,21
282	4,7	0,67	26,94	28,70	31,51	34,13	35,26	37,33	39,53	42,70	47,75	51,10	53,64	57,40	60,19	68,43	76,33	78,84	86,56	89,12	94,22
300	5	0,68	27,36	29,14	31,99	34,65	35,81	37,90	40,13	43,35	48,49	51,89	54,46	58,29	61,12	69,48	77,51	80,05	87,89	90,49	95,67
360	6	0,71	28,61	30,48	33,46	36,25	37,45	39,64	41,98	45,35	50,72	54,27	56,97	60,97	63,93	72,68	81,07	83,73	91,93	94,65	100,07
420	7	0,74	29,72	31,66	34,75	37,65	38,90	41,17	43,60	47,10	52,67	56,37	59,17	63,32	66,40	75,48	84,20	86,97	95,48	98,31	103,94
480	8	0,76	30,71	32,71	35,91	38,90	40,19	42,55	45,05	48,67	54,43	58,25	61,14	65,43	68,61	78,00	87,00	89,86	98,66	101,58	107,40
540	9	0,79	31,61	33,67	36,96	40,04	41,37	43,79	46,37	50,09	56,02	59,95	62,93	67,34	70,62	80,28	89,55	92,49	101,55	104,55	110,54
600	10	0,81	32,43	34,55	37,93	41,08	42,45	44,93	47,58	51,40	57,48	61,52	64,57	69,10	72,46	82,38	91,89	94,90	104,20	107,28	113,43
660	11	0,83	33,20	35,36	38,82	42,05	43,45	45,99	48,70	52,61	58,84	62,96	66,09	70,73	74,17	84,32	94,05	97,14	106,65	109,81	116,10
720	12	0,84	33,91	36,12	39,65	42,95	44,38	46,98	49,75	53,74	60,10	64,32	67,51	72,25	75,76	86,13	96,07	99,23	108,94	112,17	118,59
780	13	0,86	34,58	36,83	40,44	43,80	45,26	47,91	50,73	54,80	61,29	65,59	68,84	73,67	77,25	87,82	97,97	101,18	111,09	114,38	120,93

APÊNDICE B – DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DE 24 HORAS PELA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL (CONTINUAÇÃO)

			TR (anos)																		
D (min.)	D (horas)	r	1,01	1,02	1,05	1,10	1,13	1,2	1,3	1,5	2	2,5	3	4	5	10	20	25	50	63	100
840	14	0,88	35,21	37,51	41,17	44,60	46,08	48,78	51,65	55,80	62,40	66,78	70,09	75,02	78,66	89,43	99,75	103,03	113,12	116,46	123,13
900	15	0,89	35,80	38,14	41,87	45,36	46,86	49,61	52,53	56,74	63,46	67,91	71,28	76,29	80,00	90,94	101,44	104,77	115,04	118,44	125,22
960	16	0,91	36,37	38,75	42,54	46,07	47,61	50,39	53,36	57,64	64,47	68,99	72,41	77,50	81,26	92,38	103,05	106,43	116,86	120,31	127,21
1020	17	0,92	36,91	39,32	43,17	46,76	48,31	51,14	54,16	58,50	65,42	70,01	73,49	78,65	82,47	93,76	104,58	108,02	118,60	122,10	129,10
1080	18	0,93	37,43	39,87	43,77	47,41	48,99	51,86	54,91	59,32	66,34	71,00	74,52	79,75	83,63	95,07	106,05	109,53	120,26	123,81	130,91
1140	19	0,94	37,92	40,40	44,35	48,04	49,64	52,54	55,64	60,10	67,22	71,94	75,51	80,81	84,73	96,33	107,45	110,98	121,85	125,45	132,64
1200	20	0,96	38,40	40,91	44,91	48,64	50,26	53,20	56,34	60,86	68,06	72,84	76,45	81,82	85,80	97,54	108,80	112,37	123,38	127,03	134,30
1260	21	0,97	38,86	41,40	45,45	49,23	50,86	53,84	57,01	61,58	68,88	73,71	77,37	82,80	86,82	98,70	110,10	113,72	124,85	128,54	135,91
1320	22	0,98	39,30	41,87	45,96	49,79	51,44	54,45	57,66	62,28	69,66	74,55	78,25	83,74	87,81	99,83	111,35	115,01	126,27	130,01	137,45
1440	24	1,00	40,14	42,76	46,94	50,85	52,54	55,62	58,89	63,62	71,15	76,14	79,92	85,53	89,69	101,96	113,73	117,47	128,97	132,79	140,39

APÊNDICE C – RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DO EVENTO DE 04/02/2010 (CONTINUA)

Tabela 77 – Relatório de dados e volumes resultantes do evento de 4 de fevereiro de 2010.

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
4/2/2010 15:30	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
4/2/2010 15:40	1,2	0	0,003	0	1,2	1,34	1,34	0,000	0,001	0,000
4/2/2010 15:50	4,2	0	0	0,009	3	3,34	3,34	0,000	0,000	0,011
4/2/2010 16:00	8,4	0	0,003	0,018	4,2	4,68	4,68	0,000	0,001	0,060
4/2/2010 16:10	13,2	0	0,041	0,029	4,8	5,35	5,35	0,000	0,469	0,197
4/2/2010 16:20	15,4	0	0,061	0,027	2,2	2,45	2,45	0,000	1,266	0,165
4/2/2010 16:30	17,4	0,001	0,06	0,021	2	2,23	2,23	0,000	1,214	0,088
4/2/2010 16:40	27,6	0,005	0,065	0,059	10,2	11,37	11,36	0,002	1,484	1,165
4/2/2010 16:50	39	0,016	0,088	0,102	11,4	12,71	12,70	0,045	3,164	4,576
4/2/2010 17:00	41,4	0,018	0,097	0,041	2,4	2,68	2,67	0,060	4,036	0,469
4/2/2010 17:10	42	0,021	0,097	0,030	0,6	0,67	0,67	0,088	4,036	0,215
4/2/2010 17:20	42,4	0,025	0,097	0,025	0,4	0,45	0,45	0,136	4,036	0,136
4/2/2010 17:30	42,4	0,025	0,097	0,021	0	0,00	0,00	0,136	4,036	0,088
4/2/2010 17:40	42,4	0,025	0,09	0,013	0	0,00	0,00	0,136	3,347	0,027
4/2/2010 17:50	42,6	0,025	0,088	0,013	0,2	0,22	0,22	0,136	3,164	0,027
4/2/2010 18:00	42,6	0,025	0,076	0,013	0	0,00	0,00	0,136	2,193	0,027
4/2/2010 18:10	42,6	0,025	0,062	0,013	0	0,00	0,00	0,136	1,318	0,027
4/2/2010 18:20	42,6	0,025	0,052	0,012	0	0,00	0,00	0,136	0,849	0,022
4/2/2010 18:30	42,6	0,025	0,047	0,01	0	0,00	0,00	0,136	0,660	0,014
4/2/2010 18:40	42,6	0,025	0,041	0,009	0	0,00	0,00	0,136	0,469	0,011
4/2/2010 18:50	42,6	0,025	0,037	0,009	0	0,00	0,00	0,136	0,363	0,011
4/2/2010 19:00	42,6	0,025	0,033	0	0	0,00	0,00	0,136	0,272	0,000
4/2/2010 19:10	42,6	0,025	0,032	0	0	0,00	0,00	0,136	0,252	0,000
4/2/2010 19:20	42,6	0,025	0,031	0	0	0,00	0,00	0,136	0,233	0,000
4/2/2010 19:30	42,6	0,025	0,029	0	0	0,00	0,00	0,136	0,197	0,000
4/2/2010 19:40	42,6	0,025	0,028	0	0	0,00	0,00	0,136	0,181	0,000
4/2/2010 19:50	42,6	0,025	0,027	0	0	0,00	0,00	0,136	0,165	0,000
4/2/2010 20:00	42,6	0,025	0,025	0	0	0,00	0,00	0,136	0,136	0,000
4/2/2010 20:10	42,6	0,025	0,024	0	0	0,00	0,00	0,136	0,123	0,000

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
4/2/2010 20:20	42,6	0,025	0,024	0	0	0,00	0,00	0,136	0,123	0,000
4/2/2010 20:30	42,6	0,025	0,024	0	0	0,00	0,00	0,136	0,123	0,000
4/2/2010 20:40	42,6	0,025	0,023	0	0	0,00	0,00	0,136	0,110	0,000
4/2/2010 20:50	42,6	0,025	0,021	0	0	0,00	0,00	0,136	0,088	0,000
4/2/2010 21:00	42,6	0,025	0,021	0	0	0,00	0,00	0,136	0,088	0,000
4/2/2010 21:10	42,6	0,025	0,021	0	0	0,00	0,00	0,136	0,088	0,000
4/2/2010 21:20	42,6	0,025	0,021	0	0	0,00	0,00	0,136	0,088	0,000
4/2/2010 21:30	42,6	0,025	0,021	0	0	0,00	0,00	0,136	0,088	0,000
4/2/2010 21:40	42,6	0,025	0,021	0	0	0,00	0,00	0,136	0,088	0,000
4/2/2010 21:50	42,6	0,025	0,02	0	0	0,00	0,00	0,136	0,078	0,000
4/2/2010 22:00	42,6	0,025	0,02	0	0	0,00	0,00	0,136	0,078	0,000
4/2/2010 22:10	42,6	0,025	0,02	0	0	0,00	0,00	0,136	0,078	0,000
4/2/2010 22:20	42,6	0,025	0,019	0	0	0,00	0,00	0,136	0,069	0,000
4/2/2010 22:30	42,6	0,025	0,019	0	0	0,00	0,00	0,136	0,069	0,000
4/2/2010 22:40	42,6	0,025	0,019	0	0	0,00	0,00	0,136	0,069	0,000
4/2/2010 22:50	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
4/2/2010 23:00	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
4/2/2010 23:10	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
4/2/2010 23:20	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
4/2/2010 23:30	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
4/2/2010 23:40	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
4/2/2010 23:50	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
5/2/2010 00:00	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
5/2/2010 00:10	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
5/2/2010 00:20	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
5/2/2010 00:30	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
5/2/2010 00:40	42,6	0,025	0,017	0	0	0,00	0,00	0,136	0,052	0,000
5/2/2010 00:50	42,6	0,025	0,016	0	0	0,00	0,00	0,136	0,045	0,000
5/2/2010 01:00	42,6	0,025	0,016	0	0	0,00	0,00	0,136	0,045	0,000
5/2/2010 01:10	42,6	0,025	0,016	0	0	0,00	0,00	0,136	0,045	0,000
5/2/2010 01:20	42,6	0,025	0,016	0	0	0,00	0,00	0,136	0,045	0,000
5/2/2010 01:30	42,6	0,025	0,016	0	0	0,00	0,00	0,136	0,045	0,000
5/2/2010 01:40	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 01:50	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
5/2/2010 02:00	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 02:10	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 02:20	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 02:30	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 02:40	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 02:50	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 03:00	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 03:10	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 03:20	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 03:30	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 03:40	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 03:50	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 04:00	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 04:10	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 04:20	42,6	0,025	0,015	0	0	0,00	0,00	0,136	0,038	0,000
5/2/2010 04:30	42,6	0,025	0,013	0	0	0,00	0,00	0,136	0,027	0,000
5/2/2010 04:40	42,6	0,025	0,013	0	0	0,00	0,00	0,136	0,027	0,000
5/2/2010 04:50	42,6	0,024	0,013	0	0	0,00	0,00	0,123	0,027	0,000
5/2/2010 05:00	42,6	0,022	0,013	0	0	0,00	0,00	0,099	0,027	0,000
5/2/2010 05:10	42,6	0,022	0,013	0	0	0,00	0,00	0,099	0,027	0,000
5/2/2010 05:20	42,6	0,022	0,013	0	0	0,00	0,00	0,099	0,027	0,000
5/2/2010 05:30	42,6	0,022	0,013	0	0	0,00	0,00	0,099	0,027	0,000
5/2/2010 05:40	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 05:50	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 06:00	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 06:10	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 06:20	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 06:30	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 06:40	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 06:50	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 07:00	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 07:10	42,6	0,021	0,013	0	0	0,00	0,00	0,088	0,027	0,000
5/2/2010 07:20	42,6	0,02	0,013	0	0	0,00	0,00	0,078	0,027	0,000
5/2/2010 07:30	42,6	0,02	0,013	0	0	0,00	0,00	0,078	0,027	0,000

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
5/2/2010 07:40	42,6	0,02	0,013	0	0	0,00	0,00	0,078	0,027	0,000
5/2/2010 07:50	42,6	0,018	0,013	0	0	0,00	0,00	0,060	0,027	0,000
5/2/2010 08:00	42,6	0,018	0,013	0	0	0,00	0,00	0,060	0,027	0,000
5/2/2010 08:10	42,6	0,018	0,013	0	0	0,00	0,00	0,060	0,027	0,000
5/2/2010 08:20	42,6	0,016	0,013	0	0	0,00	0,00	0,045	0,027	0,000
5/2/2010 08:30	42,6	0,013	0,013	0	0	0,00	0,00	0,027	0,027	0,000
5/2/2010 08:40	42,6	0,01	0,013	0	0	0,00	0,00	0,014	0,027	0,000
5/2/2010 08:50	42,6	0,009	0,013	0	0	0,00	0,00	0,011	0,027	0,000
5/2/2010 09:00	42,6	0,008	0,013	0	0	0,00	0,00	0,008	0,027	0,000
5/2/2010 09:10	42,6	0,006	0,013	0	0	0,00	0,00	0,004	0,027	0,000
5/2/2010 09:20	42,6	0,006	0,013	0	0	0,00	0,00	0,004	0,027	0,000
5/2/2010 09:30	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 09:40	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 09:50	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 10:00	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 10:10	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 10:20	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 10:30	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 10:40	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 10:50	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 11:00	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 11:10	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 11:20	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 11:30	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 11:40	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 11:50	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 12:00	42,6	0,005	0,013	0	0	0,00	0,00	0,002	0,027	0,000
5/2/2010 12:10	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 12:20	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 12:30	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 12:40	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 12:50	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 13:00	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 13:10	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
5/2/2010 13:20	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 13:30	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 13:40	42,6	0,005	0,012	0	0	0,00	0,00	0,002	0,022	0,000
5/2/2010 13:50	42,6	0,005	0,011	0	0	0,00	0,00	0,002	0,017	0,000
5/2/2010 14:00	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 14:10	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 14:20	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 14:30	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 14:40	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 14:50	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 15:00	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 15:10	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 15:20	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 15:30	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 15:40	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 15:50	42,6	0,005	0,009	0	0	0,00	0,00	0,002	0,011	0,000
5/2/2010 16:00	42,6	0,005	0,008	0	0	0,00	0,00	0,002	0,008	0,000
5/2/2010 16:10	42,6	0,005	0,007	0	0	0,00	0,00	0,002	0,006	0,000
5/2/2010 16:20	42,6	0,005	0,007	0	0	0,00	0,00	0,002	0,006	0,000
5/2/2010 16:30	42,6	0,005	0,005	0	0	0,00	0,00	0,002	0,002	0,000
5/2/2010 16:40	42,6	0,005	0,004	0	0	0,00	0,00	0,002	0,001	0,000
5/2/2010 16:50	42,6	0,005	0,004	0	0	0,00	0,00	0,002	0,001	0,000
5/2/2010 17:00	42,6	0,005	0,004	0	0	0,00	0,00	0,002	0,001	0,000
5/2/2010 17:10	42,6	0,005	0,004	0	0	0,00	0,00	0,002	0,001	0,000
5/2/2010 17:20	42,6	0,005	0,004	0	0	0,00	0,00	0,002	0,001	0,000
Volume total (litros)								6975,52	25253,58	4399,18
Volume total (m³)								6,98	25,25	4,40

APÊNDICE D – RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DO EVENTO DE 25/02/2010 (CONTINUA)

Tabela 78 – Relatório de dados e volumes resultantes do evento de 25 de fevereiro de 2010.

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	CPA Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão CPA superficial (l/s)
25/2/10 2:50	0,00	0,000	0,000	0	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00
25/2/2010 03:00	0,60	0,000	0,000	0	0,60	0,67	0,67	0,000	0,000	0,000
25/2/2010 03:10	1,40	0,000	0,000	0	0,80	0,89	0,89	0,000	0,000	0,000
25/2/2010 03:20	1,80	0,000	0,000	0	0,40	0,45	0,45	0,000	0,000	0,000
25/2/2010 03:30	4,60	0,000	0,000	0	2,80	3,12	3,12	0,000	0,000	0,000
25/2/2010 03:40	11,20	0,000	0,036	0	6,60	7,36	7,35	0,000	0,339	0,000
25/2/2010 03:50	15,40	0,000	0,060	0	4,20	4,68	4,68	0,000	1,214	0,000
25/2/2010 04:00	17,80	0,000	0,063	0	2,40	2,68	2,67	0,000	1,372	0,000
25/2/2010 04:10	19,40	0,000	0,065	0	1,60	1,78	1,78	0,000	1,484	0,000
25/2/2010 04:20	19,80	0,000	0,065	0	0,40	0,45	0,45	0,000	1,484	0,000
25/2/2010 04:30	20,60	0,001	0,065	0	0,80	0,89	0,89	0,00004	1,484	0,000
25/2/2010 04:40	21,40	0,002	0,065	0	0,80	0,89	0,89	0,00025	1,484	0,000
25/2/2010 04:50	22,20	0,004	0,065	0	0,80	0,89	0,89	0,001	1,484	0,000
25/2/2010 05:00	23,00	0,004	0,065	0	0,80	0,89	0,89	0,001	1,484	0,000
25/2/2010 05:10	24,00	0,005	0,065	0,0100	1,00	1,11	1,11	0,002	1,484	0,027
25/2/2010 05:20	24,60	0,006	0,064	0,0130	0,60	0,67	0,67	0,004	1,427	0,045
25/2/2010 05:30	24,80	00,008	0,062	0,0130	0,20	0,22	0,22	0,008	1,318	0,045
25/2/2010 05:40	25,00	0,008	0,057	0	0,20	0,22	0,22	0,008	1,068	0,000
25/2/2010 05:50	25,20	0,008	0,053	0	0,20	0,00	0,00	0,008	0,891	0,000
25/2/2010 06:00	25,20	0,008	0,048	0	0,00	0,00	0,00	0,008	0,695	0,000
25/2/2010 06:10	25,20	0,008	0,045	0	0,00	0,00	0,00	0,008	0,592	0,000
25/2/2010 06:20	25,20	0,008	0,042	0	0,00	0,00	0,00	0,008	0,498	0,000
25/2/2010 06:30	25,20	0,008	0,039	0	0,00	0,00	0,00	0,008	0,414	0,000
25/2/2010 06:40	25,20	0,008	0,036	0	0,20	0,00	0,00	0,008	0,339	0,000
25/2/2010 06:50	25,20	0,008	0,034	0	0,20	0,00	0,00	0,008	0,294	0,000
Volume Total (litros)								48,18	12507,03	69,44
Volume Total (m³)								0,048	12,51	0,069

APÊNDICE E – RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DO EVENTO DE 25/03/2010 (CONTINUA)

Tabela 79– Relatório de dados e volumes resultantes do evento de 25 de março de 2010.

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
25/3/2010 14:40	0	0,001	-0,004	-0,003	0	0	0	0	0	0
25/3/2010 14:50	9,4	-0,003	-0,008	0,102	9,4	10,48	10,47	0	0,000	4,576
25/3/2010 15:00	35,4	0,013	0,105	0,195	26	28,99	28,96	0,027	4,920	23,126
25/3/2010 15:10	49,6	0,012	0,122	0,165	14,2	15,83	15,82	0,022	7,160	15,231
25/3/2010 15:20	58	0,032	0,125	0,104	8,4	9,36	9,36	0,252	7,608	4,804
25/3/2010 15:30	61,6	0,038	0,125	0,065	3,6	4,01	4,01	0,388	7,608	1,484
25/3/2010 15:40	63,8	0,04	0,125	0,046	2,2	2,45	2,45	0,441	7,608	0,625
25/3/2010 15:50	65,6	0,042	0,125	0,042	1,8	2,01	2,00	0,498	7,608	0,498
25/3/2010 16:00	69	0,044	0,122	0,059	3,4	3,79	3,79	0,559	7,1	1,165
25/3/2010 16:10	71,4	0,044	0,121	0,049	2,4	2,68	2,67	0,559	7,014	0,732
25/3/2010 16:20	72	0,045	0,119	0,029	0,6	0,67	0,67	0,592	6,728	0,197
25/3/2010 16:30	72,4	0,048	0,109	0,023	0,4	0,45	0,45	0,695	5,402	0,110
25/3/2010 16:40	72,8	0,049	0,101	0,022	0,4	0,45	0,45	0,732	4,465	0,099
25/3/2010 16:50	73,2	0,049	0,093	0,022	0,4	0,45	0,45	0,732	3,633	0,099
25/3/2010 17:00	73,4	0,049	0,085	0,021	0,2	0,22	0,22	0,732	2,901	0,088
25/3/2010 17:10	73,4	0,049	0,077	0,015	0	0	0	0,732	2,266	0,038
25/3/2010 17:20	73,4	0,049	0,064	0,014	0			0,732	1,427	0,032
25/3/2010 17:30	73,4	0,049	0,052	0,013	0			0,732	0,849	0,027
25/3/2010 17:40	73,4	0,049	0,044	0,013	0			0,732	0,559	0,027
25/3/2010 17:50	73,4	0,049	0,039	0,013	0			0,732	0,414	0,027
25/3/2010 18:00	73,4	0,049	0,033	0,013	0			0,732	0,272	0,027
25/3/2010 18:10	73,4	0,049	0,032	0,012	0			0,732	0,252	0,022
25/3/2010 18:20	73,4	0,049	0,028	0,012	0			0,732	0,181	0,022
25/3/2010 18:30	73,4	0,049	0,027	0,012	0			0,732	0,165	0,022
25/3/2010 18:40	73,4	0,049	0,025	0,012	0			0,732	0,136	0,022
25/3/2010 18:50	73,4	0,049	0,024	0,012	0			0,732	0,123	0,022
25/3/2010 19:00	73,4	0,049	0,023	0,010	0			0,732	0,110	0,014

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA. Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
25/3/2010 19:10	73,4	0,048	0,021	0	0			0,695	0,088	0
25/3/2010 19:20	73,4	0,048	0,02	0	0			0,695	0,078	0
25/3/2010 19:30	73,4	0,048	0,02	0	0			0,695	0,078	0
25/3/2010 19:40	73,4	0,048	0,02	0	0			0,695	0,078	0
25/3/2010 19:50	73,4	0,048	0,019	0	0			0,695	0,069	0
25/3/2010 20:00	73,4	0,048	0,019	0	0			0,695	0,069	0
25/3/2010 20:10	73,4	0,045	0,017	0	0			0,592	0,052	0
25/3/2010 20:20	73,4	0,045	0,016	0	0			0,592	0,045	0
25/3/2010 20:30	73,4	0,045	0,016	0	0			0,592	0,045	0
25/3/2010 20:40	73,4	0,044	0,016	0	0			0,559	0,045	0
25/3/2010 20:50	73,4	0,044	0,016	0	0			0,559	0,045	0
25/3/2010 21:00	73,4	0,041	0,016	0	0			0,469	0,045	0
25/3/2010 21:10	73,4	0,04	0,016	0	0			0,441	0,045	0
25/3/2010 21:20	73,4	0,04	0,016	0	0			0,441	0,045	0
25/3/2010 21:30	73,4	0,04	0,015	0	0			0,441	0,038	0
25/3/2010 21:40	73,4	0,038	0,015	0	0			0,388	0,038	0
25/3/2010 21:50	73,4	0,037	0,015	0	0			0,363	0,038	0
25/3/2010 22:00	73,4	0,037	0,013	0	0			0,363	0,027	0
25/3/2010 22:10	73,4	0,036	0,013	0	0			0,339	0,027	0
25/3/2010 22:20	73,4	0,036	0,012	0	0			0,339	0,022	0
25/3/2010 22:30	73,4	0,036	0,012	0	0			0,339	0,022	0
25/3/2010 22:40	73,4	0,036	0,012	0	0			0,339	0,022	0
25/3/2010 22:50	73,4	0,034	0,012	0	0			0,294	0,022	0
25/3/2010 23:00	73,4	0,034	0,012	0	0			0,294	0,022	0
25/3/2010 23:10	73,4	0,034	0,012	0	0			0,294	0,022	0
25/3/2010 23:20	73,4	0,034	0,012	0	0			0,294	0,022	0
25/3/2010 23:30	73,4	0,032	0,012	0	0			0,252	0,022	0
25/3/2010 23:40	73,4	0,032	0,012	0	0			0,252	0,022	0
25/3/2010 23:50	73,4	0,032	0,012	0	0			0,252	0,022	0
26/3/2010 00:00	73,4	0,032	0,012	0	0			0,252	0,022	0
26/3/2010 00:10	73,4	0,032	0,012	0	0			0,252	0,022	0

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA. Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
26/3/2010 00:20	73,4	0,032	0,011	0	0			0,252	0,017	0
26/3/2010 00:30	73,4	0,03	0,011	0	0			0,215	0,017	0
26/3/2010 00:40	73,4	0,03	0,011	0	0			0,215	0,017	0
26/3/2010 00:50	73,4	0,03	0,009	0	0			0,215	0,011	0
26/3/2010 01:00	73,4	0,03	0,009	0	0			0,215	0,011	0
26/3/2010 01:10	73,4	0,03	0,009	0	0			0,215	0,011	0
26/3/2010 01:20	73,4	0,029	0,009	0	0			0,197	0,011	0
26/3/2010 01:30	73,4	0,029	0,009	0	0			0,197	0,011	0
26/3/2010 01:40	73,4	0,028	0,009	0	0			0,181	0,011	0
26/3/2010 01:50	73,4	0,028	0,009	0	0			0,181	0,011	0
26/3/2010 02:00	73,4	0,028	0,009	0	0			0,181	0,011	0
26/3/2010 02:10	73,4	0,028	0,008	0	0			0,181	0,008	0
26/3/2010 02:20	73,4	0,028	0,008	0	0			0,181	0,008	0
26/3/2010 02:30	73,4	0,028	0,008	0	0			0,181	0,008	0
26/3/2010 02:40	73,4	0,026	0,008	0	0			0,150	0,008	0
26/3/2010 02:50	73,4	0,026	0,008	0	0			0,150	0,008	0
26/3/2010 03:00	73,4	0,026	0,008	0	0			0,150	0,008	0
26/3/2010 03:10	73,4	0,025	0,008	0	0			0,136	0,008	0
26/3/2010 03:20	73,4	0,026	0,008	0	0			0,150	0,008	0
26/3/2010 03:30	73,4	0,025	0,008	0	0			0,136	0,008	0
26/3/2010 03:40	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 03:50	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 04:00	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 04:10	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 04:20	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 04:30	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 04:40	73,4	0,024	0,008	0	0			0,123	0,008	0
26/3/2010 04:50	73,4	0,022	0,008	0	0			0,099	0,008	0
26/3/2010 05:00	73,4	0,022	0,008	0	0			0,099	0,008	0
26/3/2010 05:10	73,4	0,021	0,008	0	0			0,088	0,008	0
26/3/2010 05:20	73,4	0,021	0,008	0	0			0,088	0,008	0

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA. Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
26/3/2010 05:30	73,4	0,021	0,008	0	0			0,088	0,008	0
26/3/2010 05:40	73,4	0,021	0,008	0	0			0,088	0,008	0
26/3/2010 05:50	73,4	0,021	0,008	0	0			0,088	0,008	0
26/3/2010 06:00	73,4	0,021	0,008	0	0			0,088	0,008	0
26/3/2010 06:10	73,4	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 06:20	73,4	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 06:30	73,4	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 06:40	73,4	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 06:50	73,4	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 07:00	73,4	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 07:10	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 07:20	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 07:30	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 07:40	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 07:50	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 08:00	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 08:10	0	0,02	0,008	0	0			0,078	0,008	0
26/3/2010 08:20	0	0,018	0,008	0	0			0,060	0,008	0
26/3/2010 08:30	0	0,018	0,008	0	0			0,060	0,008	0
26/3/2010 08:40	0	0,017	0,008	0	0			0,052	0,008	0
26/3/2010 08:50	0	0,017	0,008	0	0			0,052	0,008	0
26/3/2010 09:00	0	0,016	0,008	0	0			0,045	0,008	0
26/3/2010 09:10	0	0,016	0,008	0	0			0,045	0,008	0
26/3/2010 09:20	0	0,016	0,008	0	0			0,045	0,008	0
26/3/2010 09:30	0	0,016	0,008	0	0			0,045	0,008	0
26/3/2010 09:40	0	0,014	0,008	0	0			0,032	0,008	0
26/3/2010 09:50	0	0,013	0,008	0	0			0,027	0,008	0
26/3/2010 10:00	0	0,013	0,008	0	0			0,027	0,008	0
26/3/2010 10:10	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0
26/3/2010 10:20	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0
26/3/2010 10:30	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0

Data	Chuva Acum. (mm)	BCP Fundo (m)	CPA Fundo (m)	BCP Superf. (m)	Chuva desagregada (mm)	Vazão Potencial BCP (l/s)	Vazão Potencial CPA (l/s)	Vazão BCP fundo (l/s)	Vazão CPA fundo (l/s)	Vazão BCP superficial (l/s)
26/3/2010 10:40	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0
26/3/2010 10:50	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0
26/3/2010 11:00	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0
26/3/2010 11:10	0	0,012	0,008	0	0			0,022	0,008	0
26/3/2010 11:20	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 11:30	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 11:40	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 11:50	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 12:00	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 12:10	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 12:20	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 12:30	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 12:40	0	0,012	0,007	0	0			0,022	0,006	0
26/3/2010 12:50	0	0,012	0,005	0	0			0,022	0,002	0
26/3/2010 13:00	0	0,012	0,005	0	0			0,022	0,002	0
26/3/2010 13:10	0	0,012	0,005	0	0			0,022	0,002	0
26/3/2010 13:20	0	0,012	0,005	0	0			0,022	0,002	0
26/3/2010 13:30	0	0,012	0,005	0	0			0,022	0,002	0
26/3/2010 13:40	0	0,012	0,004	0	0			0,022	0,001	0
26/3/2010 13:50	0	0,009	0,003	0	0			0,011	0,001	0
Volume Total (litros)								21613,71	53075,23	31879,41
Volume Total (m³)								21,61	53,08	31,88

APÊNDICE F – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 01/02/2010 – BCP (CONTINUA)

Tabela 80 – Resultados da modelação matemática do evento de 1/2/2010 – 1ª Fase.

CN Inst	SCS Inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qsuperf. observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
83,00	52,02	0,17	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20	0,000	0,000
83,09	51,69	0,33	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
83,18	51,36	0,50	0,40	0,60	0,00	0,00	0,40	0,000	0,000
83,27	51,02	0,67	1,00	1,60	0,00	0,00	1,00	0,000	0,000
83,36	50,69	0,83	4,20	5,80	0,00	0,00	4,20	0,000	0,000
83,45	50,36	1,00	5,00	10,80	0,01	0,01	4,99	0,010	0,339
83,55	50,03	1,17	4,00	14,80	0,41	0,42	3,59	0,388	0,441
83,64	49,70	1,33	3,40	18,20	0,76	1,18	2,64	0,788	0,069
83,73	49,37	1,50	3,00	21,20	0,94	2,11	2,06	1,030	1,022
83,82	49,04	1,67	0,80	22,00	0,31	2,43	0,49	0,483	0,000
83,91	48,71	1,83	0,80	22,80	0,33	2,76	0,47	0,397	0,000
84,00	48,38	2,00	0,60	23,40	0,27	3,03	0,33	0,324	0,000
84,00	48,38	2,17	0,20	23,60	0,08	3,11	0,12	0,132	0,000
84,00	48,38	2,33	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,022	0,000
84,00	48,38	2,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,002	0,000
84,00	48,38	2,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	2,83	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	3,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	3,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	3,33	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	3,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	3,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	3,83	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	4,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	4,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	4,33	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	4,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	4,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	4,83	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	5,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	5,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	5,33	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	5,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	5,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	5,83	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	6,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	6,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	6,33	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	6,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	6,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	6,83	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	7,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qsuperf. observada (l/s)
84,00	48,38	7,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	7,33	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	7,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	7,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	7,83	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	8,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	8,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	8,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	8,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	8,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	8,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	9,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	9,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	9,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	9,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	9,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	9,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	10,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	10,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	10,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	10,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	10,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	10,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	11,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	11,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	11,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	11,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	11,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	11,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	12,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	12,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	12,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	12,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	12,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	12,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	13,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	13,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	13,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	13,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	13,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	13,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	14,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	14,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	14,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	14,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	14,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	14,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	15,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qsuperf. observada (l/s)
84,00	48,38	15,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	15,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	15,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	15,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	15,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	16,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	16,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	16,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	16,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	16,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	16,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	17,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	17,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	17,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	17,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	17,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	17,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	18,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	18,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	18,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	18,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	18,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	18,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	19,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	19,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	19,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	19,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	19,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	19,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	20,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	20,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	20,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	20,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	20,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	20,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	21,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	21,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	21,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	21,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	21,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	21,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	22,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	22,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	22,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	22,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	22,67	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	22,84	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	23,00	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SCS Inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qsuperf. observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
84,00	48,38	23,17	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	23,34	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000
84,00	48,38	23,50	0,00	23,60	0,00	3,11	0,00	0,000	0,000

Tabela 81 - Resultados da modelação matemática do evento de 1/2/2010 – 2ª Fase.

CN Inst	SCS inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qfundo observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
75,00	84,67	0,17	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20	0,000	0,000
75,10	84,24	0,33	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
75,19	83,81	0,50	0,40	0,60	0,00	0,00	0,40	0,000	0,000
75,29	83,38	0,67	1,00	1,60	0,00	0,00	1,00	0,000	0,000
75,38	82,95	0,83	4,20	5,80	0,00	0,00	4,20	0,000	0,000
75,48	82,52	1,00	4,99	10,79	0,00	0,00	4,99	0,000	0,000
75,57	82,10	1,17	3,59	14,38	0,00	0,00	3,59	0,000	0,000
75,67	81,68	1,33	2,64	17,02	0,01	0,01	2,64	0,000	0,000
75,76	81,25	1,50	2,06	19,09	0,09	0,10	1,97	0,002	0,000
75,86	80,83	1,67	0,49	19,57	0,04	0,14	0,44	0,005	0,004
75,95	80,41	1,83	0,47	20,04	0,05	0,19	0,42	0,012	0,011
76,05	79,99	2,00	0,33	20,37	0,04	0,23	0,29	0,021	0,014
76,05	79,99	2,17	0,12	20,49	0,01	0,24	0,11	0,028	0,027
76,05	79,99	2,33	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,031	0,027
76,05	79,99	2,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,032	0,032
76,05	79,99	2,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,029	0,032
76,05	79,99	2,83	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,024	0,032
76,05	79,99	3,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,019	0,032
76,05	79,99	3,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,015	0,032
76,05	79,99	3,33	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,011	0,032
76,05	79,99	3,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,009	0,032
76,05	79,99	3,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,007	0,032
76,05	79,99	3,83	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,005	0,032
76,05	79,99	4,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,004	0,032
76,05	79,99	4,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,003	0,032
76,05	79,99	4,33	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,002	0,032
76,05	79,99	4,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,002	0,032
76,05	79,99	4,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,001	0,032
76,05	79,99	4,83	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,001	0,032
76,05	79,99	5,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,001	0,032
76,05	79,99	5,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,001	0,032
76,05	79,99	5,33	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	5,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	5,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	5,83	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	6,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	6,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	6,33	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	6,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
76,05	79,99	6,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	6,83	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	7,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	7,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	7,33	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	7,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	7,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	7,83	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	8,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	8,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	8,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	8,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	8,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	8,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	9,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	9,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	9,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	9,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	9,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	9,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	10,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	10,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	10,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	10,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	10,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	10,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	11,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	11,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	11,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	11,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	11,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	11,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	12,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	12,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	12,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	12,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	12,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	12,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	13,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	13,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	13,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	13,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	13,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	13,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	14,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	14,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	14,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032
76,05	79,99	14,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	0,032

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
76,05	79,99	14,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	14,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	15,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	15,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	15,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	15,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	15,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	15,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	16,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	16,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	16,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	16,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	16,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	16,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	17,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	17,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	17,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	17,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	17,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	17,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	18,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	18,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	18,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	18,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	18,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	18,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	19,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	19,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	19,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	19,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	19,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	19,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	20,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	20,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	20,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	20,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	20,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	20,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	21,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	21,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	21,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	21,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	21,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	21,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	22,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	22,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	22,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	22,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
76,05	79,99	22,67	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	22,84	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	23,00	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	23,17	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	23,34	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	
76,05	79,99	23,50	0,00	20,49	0,00	0,24	0,00	0,000	

APÊNDICE G – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 04/02/2010 – BCP (CONTINUA)

Tabela 82 – Resultados da modelação matemática do evento de 4/2/2010 – 1ª Fase

CN Inst	SC Inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qsuperf. observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
80,00	63,50	0,17	1,20	1,20	0,00	0,00	1,20	0,000	0,000
80,12	63,01	0,33	3,00	4,20	0,00	0,00	3,00	0,000	0,011
80,25	62,51	0,50	4,20	8,40	0,00	0,00	4,20	0,000	0,060
80,37	62,02	0,67	4,80	13,20	0,01	0,01	4,79	0,006	0,197
80,50	61,53	0,83	2,20	15,40	0,14	0,15	2,06	0,092	0,165
80,62	61,04	1,00	2,00	17,40	0,26	0,41	1,74	0,226	0,088
80,75	60,56	1,17	10,20	27,60	2,75	3,15	7,45	1,887	1,165
80,87	60,07	1,33	11,40	39,00	5,21	8,37	6,19	4,557	4,576
81,00	59,59	1,50	2,40	41,40	1,39	9,76	1,01	3,557	0,469
81,12	59,10	1,67	0,60	42,00	0,44	10,20	0,16	1,790	0,215
81,25	58,62	1,83	0,40	42,40	0,34	10,54	0,06	0,909	0,136
81,37	58,14	2,00	0,00	42,40	0,11	10,65	-0,11	0,451	0,088
81,50	57,66	2,17	0,00	42,40	0,11	10,76	-0,11	0,241	0,027
81,50	57,66	2,33	0,20	42,60	0,12	10,88	0,08	0,171	0,027
81,50	57,66	2,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,081	0,027
81,50	57,66	2,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,026	0,027
81,50	57,66	2,83	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,008	0,022
81,50	57,66	3,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,003	0,014
81,50	57,66	3,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,001	0,011
81,50	57,66	3,33	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,011
81,50	57,66	3,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	3,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	3,83	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	4,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	4,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	4,33	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	4,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	4,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	4,83	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	5,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	5,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	5,33	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	5,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	5,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	5,83	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	6,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	6,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	6,33	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	6,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	6,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	6,83	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	7,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SC Inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qsuperf. observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
81,50	57,66	7,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	7,33	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	7,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	7,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	7,83	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	8,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	8,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	8,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	8,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	8,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	8,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	9,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	9,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	9,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	9,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	9,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	9,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	10,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	10,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	10,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	10,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	10,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	10,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	11,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	11,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	11,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	11,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	11,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	11,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	12,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	12,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	12,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	12,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	12,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	12,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	13,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	13,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	13,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	13,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	13,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	13,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	14,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	14,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	14,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	14,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	14,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	14,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	15,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SC Inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qsuperf. observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
81,50	57,66	15,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	15,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	15,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	15,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	15,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	16,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	16,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	16,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	16,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	16,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	16,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	17,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	17,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	17,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	17,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	17,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	17,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	18,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	18,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	18,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	18,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	18,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	18,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	19,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	19,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	19,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	19,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	19,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	19,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	20,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	20,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	20,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	20,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	20,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	20,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	21,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	21,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	21,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	21,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	21,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	21,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	22,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	22,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	22,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	22,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	22,67	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	22,84	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	23,00	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SC Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qsuperf. observada (l/s)
81,50	57,66	23,17	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	23,34	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000
81,50	57,66	23,50	0,00	42,60	0,00	10,88	0,00	0,000	0,000

Tabela 83- Resultados da modelação matemática do evento de 4/2/2010 – 2ª Fase

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
72,10	98,29	0,17	1,20	1,20	0,00	0,00	1,20	0,000	0,000
72,10	98,29	0,33	3,00	4,20	0,00	0,00	3,00	0,000	0,000
72,10	98,29	0,50	4,20	8,40	0,00	0,00	4,20	0,000	0,000
72,10	98,29	0,67	4,79	13,19	0,00	0,00	4,79	0,000	0,000
72,10	98,29	0,83	2,06	15,25	0,00	0,00	2,06	0,000	0,000
72,10	98,29	1,00	1,74	16,99	0,00	0,00	1,74	0,000	0,000
72,10	98,29	1,17	7,45	24,45	0,22	0,22	7,23	0,001	0,002
72,10	98,29	1,33	6,19	30,63	0,88	1,10	5,31	0,008	0,045
72,10	98,29	1,50	1,01	31,64	0,20	1,30	0,81	0,019	0,060
72,10	98,29	1,67	0,16	31,80	0,03	1,33	0,13	0,039	0,088
72,10	98,29	1,83	0,06	31,86	0,01	1,35	0,05	0,063	0,136
72,10	98,29	2,00	-0,11	31,75	-0,02	1,32	-0,09	0,093	0,136
72,10	98,29	2,17	-0,11	31,64	-0,02	1,30	-0,09	0,120	0,136
72,10	98,29	2,33	0,08	31,72	0,02	1,32	0,07	0,131	0,136
72,10	98,29	2,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,135	0,136
72,10	98,29	2,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,125	0,136
72,10	98,29	2,83	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,112	0,136
72,10	98,29	3,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,098	0,136
72,10	98,29	3,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,085	0,136
72,10	98,29	3,33	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,073	0,136
72,10	98,29	3,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,062	0,136
72,10	98,29	3,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,050	0,136
72,10	98,29	3,83	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,040	0,136
72,10	98,29	4,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,034	0,136
72,10	98,29	4,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,029	0,136
72,10	98,29	4,33	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,025	0,136
72,10	98,29	4,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,021	0,136
72,10	98,29	4,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,018	0,136
72,10	98,29	4,83	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,015	0,136
72,10	98,29	5,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,012	0,136
72,10	98,29	5,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,010	0,136
72,10	98,29	5,33	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,008	0,136
72,10	98,29	5,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,007	0,136
72,10	98,29	5,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,006	0,136
72,10	98,29	5,83	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,005	0,136
72,10	98,29	6,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,004	0,136
72,10	98,29	6,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,003	0,136
72,10	98,29	6,33	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,003	0,136
72,10	98,29	6,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,002	0,136

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
72,10	98,29	6,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,002	0,136
72,10	98,29	6,83	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,002	0,136
72,10	98,29	7,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,001	0,136
72,10	98,29	7,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,001	0,136
72,10	98,29	7,33	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,001	0,136
72,10	98,29	7,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,001	0,136
72,10	98,29	7,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	7,83	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	8,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	8,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	8,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	8,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	8,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	8,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	9,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	9,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	9,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	9,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	9,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	9,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	10,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	10,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	10,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	10,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	10,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	10,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	11,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	11,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	11,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	11,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	11,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	11,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	12,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	12,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	12,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	12,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	12,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	12,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	13,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	13,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,136
72,10	98,29	13,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,123
72,10	98,29	13,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,099
72,10	98,29	13,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,099
72,10	98,29	13,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,099
72,10	98,29	14,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,099
72,10	98,29	14,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	14,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	14,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
72,10	98,29	14,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	14,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	15,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	15,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	15,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	15,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	15,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,088
72,10	98,29	15,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,078
72,10	98,29	16,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,078
72,10	98,29	16,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,078
72,10	98,29	16,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,060
72,10	98,29	16,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,060
72,10	98,29	16,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,060
72,10	98,29	16,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,045
72,10	98,29	17,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,027
72,10	98,29	17,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,014
72,10	98,29	17,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,011
72,10	98,29	17,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,008
72,10	98,29	17,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,004
72,10	98,29	17,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,004
72,10	98,29	18,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	18,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	18,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	18,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	18,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	18,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	19,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	19,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	19,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	19,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	19,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	19,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	20,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	20,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	20,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	20,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	20,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	20,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	21,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	21,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	21,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	21,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	21,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	21,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	22,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	22,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	22,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	22,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
72,10	98,29	22,67	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	22,84	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	23,00	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	23,17	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	23,34	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002
72,10	98,29	23,50	0,00	31,72	0,00	1,32	0,00	0,000	0,002

APÊNDICE H – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 25/03/2010 – BCP (CONTINUA)

Tabela 84 - Resultados da modelação matemática do evento de 25/3/2010 – 1ª Fase.

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qsuperf. observada (l/s)
95,50	11,97	0,17	9,40	9,40	2,59	0,00	6,81	2,439	0,000
95,36	12,36	0,33	26,00	35,40	23,94	23,94	2,06	23,023	4,576
95,22	12,76	0,50	14,20	49,60	13,07	37,01	1,13	16,570	23,126
95,07	13,16	0,67	8,40	58,00	7,73	44,74	0,67	10,266	15,231
94,93	13,56	0,84	3,60	61,60	3,13	47,87	0,47	4,683	4,804
94,79	13,96	1,00	2,20	63,80	1,78	49,65	0,42	2,452	1,484
94,65	14,36	1,17	1,80	65,60	1,39	51,04	0,41	1,717	0,625
94,51	14,76	1,34	3,40	69,00	2,94	53,98	0,46	3,066	0,498
94,37	15,16	1,50	2,40	71,40	1,97	55,96	0,43	2,412	1,165
94,22	15,57	1,67	0,60	72,00	0,23	56,19	0,37	0,648	0,732
94,08	15,98	1,84	0,40	72,40	0,04	56,23	0,36	0,135	0,197
93,94	16,38	2,00	0,40	72,80	0,04	56,26	0,36	0,051	0,110
93,80	16,79	2,17	0,40	73,20	0,04	56,31	0,36	0,048	0,099
93,80	16,79	2,34	0,20	73,40	0,19	56,50	0,01	0,190	0,099
93,80	16,79	2,51	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,035	0,088
93,80	16,79	2,67	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,006	0,038
93,80	16,79	2,84	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,032
93,80	16,79	3,01	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,027
93,80	16,79	3,17	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,027
93,80	16,79	3,34	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,027
93,80	16,79	3,51	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,027
93,80	16,79	3,67	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,022
93,80	16,79	3,84	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,022
93,80	16,79	4,01	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,022
93,80	16,79	4,18	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,022
93,80	16,79	4,34	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,022
93,80	16,79	4,51	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	4,68	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	4,84	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	5,01	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	5,18	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	5,34	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	5,51	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	5,68	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	5,85	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,014
93,80	16,79	6,01	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	6,18	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	6,35	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	6,51	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	6,68	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	6,85	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	7,01	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qsuperf. observada (l/s)
93,80	16,79	7,18	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	7,35	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	7,52	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	7,68	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	7,85	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	8,02	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	8,18	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	8,35	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	8,52	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	8,68	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	8,85	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	9,02	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,011
93,80	16,79	9,19	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	9,35	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	9,52	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	9,69	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	9,85	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	10,02	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	10,19	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	10,35	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	10,52	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	10,69	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	10,86	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	11,02	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	11,19	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	11,36	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	11,52	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	11,69	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	11,86	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	12,02	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	12,19	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,008
93,80	16,79	12,36	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,004
93,80	16,79	12,53	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,004
93,80	16,79	12,69	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,004
93,80	16,79	12,86	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	13,03	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	13,19	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	13,36	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	13,53	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	13,69	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	13,86	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	14,03	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	14,20	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	14,36	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	14,53	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	14,70	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	14,86	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	15,03	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qsuperf. observada (l/s)
93,80	16,79	15,20	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	15,36	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	15,53	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	15,70	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	15,87	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	16,03	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	16,20	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	16,37	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	16,53	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	16,70	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	16,87	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	17,03	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	17,20	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	17,37	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	17,54	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	17,70	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	17,87	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	18,04	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	18,20	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	18,37	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	18,54	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	18,70	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	18,87	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	19,04	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	19,21	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	19,37	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	19,54	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	19,71	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	19,87	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	20,04	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	20,21	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	20,37	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	20,54	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	20,71	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	20,88	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	21,04	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	21,21	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	21,38	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	21,54	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	21,71	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	21,88	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	22,04	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	22,21	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	22,38	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	22,55	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	22,71	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	22,88	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	23,05	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000

CN Inst	SCS inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qsuperf. observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
93,80	16,79	23,21	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	23,38	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	0,000
93,80	16,79	23,55	0,00	73,40	0,00	56,50	0,00	0,000	

Tabela 85 - Resultados da modelação matemática do evento de 25/3/2010 – 2ª Fase.

CN Inst	SCS inst	Instante	Chuva	Chuva acum.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qfundo observada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
96,80	8,40	0,17	6,81	6,81	1,95	0,00	4,87	0,006	0,000
96,98	7,90	0,33	2,06	8,87	3,50	3,50	-1,44	0,024	0,027
97,17	7,41	0,50	1,13	10,00	1,06	4,56	0,07	0,047	0,022
97,35	6,91	0,67	0,67	10,68	0,77	5,33	-0,10	0,085	0,252
97,53	6,42	0,84	0,47	11,14	0,64	5,97	-0,17	0,142	0,388
97,72	5,93	1,00	0,42	11,56	0,63	6,60	-0,21	0,209	0,441
97,90	5,45	1,17	0,41	11,97	0,65	7,25	-0,24	0,291	0,498
98,08	4,96	1,34	0,46	12,43	0,73	7,98	-0,27	0,387	0,559
98,27	4,48	1,50	0,43	12,86	0,73	8,70	-0,30	0,480	0,559
98,45	4,00	1,67	0,37	13,23	0,70	9,40	-0,33	0,555	0,592
98,63	3,52	1,84	0,36	13,59	0,72	10,12	-0,36	0,619	0,695
98,82	3,04	2,00	0,36	13,95	0,74	10,87	-0,38	0,671	0,732
99,00	2,57	2,17	0,36	14,31	0,76	11,63	-0,41	0,700	0,732
99,00	2,57	2,34	0,01	14,31	0,01	11,64	0,00	0,719	0,732
99,00	2,57	2,51	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,731	0,732
99,00	2,57	2,67	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,737	0,732
99,00	2,57	2,84	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,735	0,732
99,00	2,57	3,01	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,724	0,732
99,00	2,57	3,17	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,704	0,732
99,00	2,57	3,34	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,672	0,732
99,00	2,57	3,51	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,629	0,732
99,00	2,57	3,67	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,577	0,732
99,00	2,57	3,84	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,523	0,732
99,00	2,57	4,01	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,472	0,732
99,00	2,57	4,18	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,426	0,732
99,00	2,57	4,34	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,382	0,732
99,00	2,57	4,51	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,341	0,695
99,00	2,57	4,68	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,302	0,695
99,00	2,57	4,84	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,267	0,695
99,00	2,57	5,01	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,236	0,695
99,00	2,57	5,18	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,208	0,695
99,00	2,57	5,34	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,182	0,695
99,00	2,57	5,51	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,159	0,592
99,00	2,57	5,68	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,139	0,592
99,00	2,57	5,85	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,123	0,592
99,00	2,57	6,01	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,110	0,559
99,00	2,57	6,18	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,097	0,559
99,00	2,57	6,35	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,086	0,469
99,00	2,57	6,51	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,075	0,441

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
99,00	2,57	6,68	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,066	0,441
99,00	2,57	6,85	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,058	0,441
99,00	2,57	7,01	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,051	0,388
99,00	2,57	7,18	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,045	0,363
99,00	2,57	7,35	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,039	0,363
99,00	2,57	7,52	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,034	0,339
99,00	2,57	7,68	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,030	0,339
99,00	2,57	7,85	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,026	0,339
99,00	2,57	8,02	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,023	0,339
99,00	2,57	8,18	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,020	0,294
99,00	2,57	8,35	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,018	0,294
99,00	2,57	8,52	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,016	0,294
99,00	2,57	8,68	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,013	0,294
99,00	2,57	8,85	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,011	0,252
99,00	2,57	9,02	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,010	0,252
99,00	2,57	9,19	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,008	0,252
99,00	2,57	9,35	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,006	0,252
99,00	2,57	9,52	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,005	0,252
99,00	2,57	9,69	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,004	0,252
99,00	2,57	9,85	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,003	0,215
99,00	2,57	10,02	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,003	0,215
99,00	2,57	10,19	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,002	0,215
99,00	2,57	10,35	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,002	0,215
99,00	2,57	10,52	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,001	0,215
99,00	2,57	10,69	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,001	0,197
99,00	2,57	10,86	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,197
99,00	2,57	11,02	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,181
99,00	2,57	11,19	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,181
99,00	2,57	11,36	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,181
99,00	2,57	11,52	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,181
99,00	2,57	11,69	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,181
99,00	2,57	11,86	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,181
99,00	2,57	12,02	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,150
99,00	2,57	12,19	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,150
99,00	2,57	12,36	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,150
99,00	2,57	12,53	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,136
99,00	2,57	12,69	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,150
99,00	2,57	12,86	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,136
99,00	2,57	13,03	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	13,19	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	13,36	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	13,53	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	13,69	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	13,86	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	14,03	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,123
99,00	2,57	14,20	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,099
99,00	2,57	14,36	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,099
99,00	2,57	14,53	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,088

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
99,00	2,57	14,70	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,088
99,00	2,57	14,86	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,088
99,00	2,57	15,03	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,088
99,00	2,57	15,20	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,088
99,00	2,57	15,36	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,088
99,00	2,57	15,53	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	15,70	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	15,87	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	16,03	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	16,20	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	16,37	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	16,53	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	16,70	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	16,87	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	17,03	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	17,20	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	17,37	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	17,54	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,078
99,00	2,57	17,70	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,060
99,00	2,57	17,87	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,060
99,00	2,57	18,04	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,052
99,00	2,57	18,20	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,052
99,00	2,57	18,37	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,045
99,00	2,57	18,54	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,045
99,00	2,57	18,70	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,045
99,00	2,57	18,87	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,045
99,00	2,57	19,04	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,032
99,00	2,57	19,21	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,027
99,00	2,57	19,37	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,027
99,00	2,57	19,54	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	19,71	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	19,87	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	20,04	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	20,21	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	20,37	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	20,54	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	20,71	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	20,88	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	21,04	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	21,21	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	21,38	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	21,54	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	21,71	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	21,88	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	22,04	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	22,21	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	22,38	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	22,55	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qfundo observada (l/s)
99,00	2,57	22,71	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	22,88	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	23,05	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,022
99,00	2,57	23,21	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	0,011
99,00	2,57	23,38	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	
99,00	2,57	23,55	0,00	14,31	0,00	11,64	0,00	0,000	

APÊNDICE I – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 25/02/2010 – CPA (CONTINUA)

Tabela 86- Resultados da modelação matemática do evento de 25/2/2010.

CN Inst.	SCS Inst.	Instante	Chuva	Chuva acumul.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qobservada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
97,0	7,888	0,1667	0,60	0,60	0,00	0,00	0,60	0,000	0,000
97,0	7,872	0,3334	0,80	1,40	0,00	0,00	0,80	0,000	0,000
97,0	7,856	0,5001	0,40	1,80	0,01	0,01	0,39	0,000	0,000
97,0	7,840	0,6668	2,80	4,60	0,84	0,85	1,96	0,015	0,000
97,0	7,824	0,8335	6,60	11,20	4,47	5,32	2,13	0,131	0,339
97,0	7,808	1,0002	4,20	15,40	3,53	8,85	0,67	0,435	1,214
97,0	7,793	1,1669	2,40	17,80	2,13	10,98	0,27	0,929	1,372
97,0	7,777	1,3336	1,60	19,40	1,45	12,43	0,15	1,456	1,484
97,0	7,761	1,5003	0,40	19,80	0,37	12,80	0,03	1,803	1,484
97,0	7,745	1,667	0,80	20,60	0,74	13,54	0,06	1,878	1,484
97,0	7,729	1,8337	0,80	21,40	0,75	14,29	0,05	1,772	1,484
97,1	7,713	2,0004	0,80	22,20	0,75	15,04	0,05	1,591	1,484
97,1	7,698	2,1671	0,80	23,00	0,75	15,79	0,05	1,398	1,484
97,1	7,682	2,3338	1,00	24,00	0,94	16,74	0,06	1,247	1,484
97,1	7,666	2,5005	0,60	24,60	0,57	17,31	0,03	1,145	1,427
97,1	7,650	2,6672	0,20	24,80	0,20	17,51	0,00	1,061	1,318
97,1	7,634	2,8339	0,20	25,00	0,20	17,71	0,00	0,973	1,068
97,1	7,619	3,0006	0,20	25,20	0,20	17,91	0,00	0,856	0,891
97,1	7,603	3,1673	0,00	25,20	0,01	17,92	0,00	0,722	0,695
97,1	7,587	3,334	0,20	25,40	0,20	18,12	0,00	0,596	0,592
97,1	7,571	3,5007	0,00	25,40	0,01	18,14	0,00	0,486	0,498
97,1	7,555	3,6674	0,00	25,40	0,01	18,15	0,00	0,391	0,414
97,1	7,540	3,8341	0,20	25,60	0,20	18,35	0,00	0,313	0,339
97,1	7,524	4,0008	0,20	25,80	0,20	18,55	0,00	0,259	0,294
97,1	7,508	4,1675	0,00	25,80	0,01	18,56	0,00	0,222	0,252
97,1	7,492	4,3342	0,40	26,20	0,39	18,95	0,01	0,203	0,252
97,1	7,476	4,5009	0,60	26,80	0,58	19,53	0,02	0,203	0,215
97,1	7,461	4,6676	0,20	27,00	0,20	19,74	0,00	0,221	0,215
97,2	7,445	4,8343	0,00	27,00	0,01	19,75	0,00	0,250	0,215
97,2	7,429	5,001	0,00	27,00	0,01	19,76	0,00	0,265	0,215
97,2	7,413	5,1677	0,00	27,00	0,01	19,77	0,00	0,245	0,215
97,2	7,397	5,3344	0,00	27,00	0,01	19,79	0,00	0,205	0,215
97,2	7,382	5,5011	0,00	27,00	0,01	19,80	0,00	0,164	0,215
97,2	7,366	5,6678	0,00	27,00	0,01	19,81	0,00	0,127	0,215
97,2	7,350	5,8345	0,40	27,40	0,39	20,20	0,01	0,103	0,215
97,2	7,334	6,0012	1,80	29,20	1,73	21,93	0,07	0,127	0,165
97,2	7,318	6,1679	3,20	32,40	3,09	25,02	0,11	0,262	0,181
97,2	7,303	6,3346	1,20	33,60	1,17	26,19	0,03	0,523	0,770
97,2	7,287	6,5013	0,80	34,40	0,79	26,98	0,01	0,838	0,849
97,2	7,271	6,668	0,20	34,60	0,21	27,18	0,00	1,069	0,849
97,2	7,255	6,8347	0,40	35,00	0,40	27,58	0,00	1,131	0,849
97,2	7,240	7,0014	0,20	35,20	0,21	27,79	0,00	1,054	0,849

CN Inst.	SCS Inst.	Instante	Chuva	Chuva acumul.	Exced. Prec.	Exced. Acum.	Infiltr.	Qmodelo	Qobservada
		(h)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(l/s)	(l/s)
97,2	7,224	7,1681	0,20	35,40	0,21	28,00	0,00	0,926	0,849
97,2	7,224	7,3348	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,780	0,695
97,2	7,224	7,5015	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,632	0,625
97,2	7,224	7,6682	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,500	0,528
97,2	7,224	7,8349	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,390	0,441
97,2	7,224	8,0016	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,296	0,339
97,2	7,224	8,1683	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,223	0,294
97,2	7,224	8,335	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,163	0,252
97,2	7,224	8,5017	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,121	0,233
97,2	7,224	8,6684	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,090	0,215
97,2	7,224	8,8351	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,067	0,181
97,2	7,224	9,0018	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,049	0,165
97,2	7,224	9,1685	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,035	0,165
97,2	7,224	9,3352	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,026	0,123
97,2	7,224	9,5019	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,019	0,123
97,2	7,224	9,6686	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,013	0,123
97,2	7,224	9,8353	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,008	0,110
97,2	7,224	10,002	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,004	0,099
97,2	7,224	10,1687	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,002	0,078
97,2	7,224	10,3354	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,001	0,078
97,2	7,224	10,5021	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,001	0,078
97,2	7,224	10,6688	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,078
97,2	7,224	10,8355	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,078
97,2	7,224	11,0022	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,078
97,2	7,224	11,1689	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,078
97,2	7,224	11,3356	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,069
97,2	7,224	11,5023	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,069
97,2	7,224	11,669	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,069
97,2	7,224	11,8357	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,060
97,2	7,224	12,0024	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,060
97,2	7,224	12,1691	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,060
97,2	7,224	12,3358	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,060
97,2	7,224	12,5025	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,045
97,2	7,224	12,6692	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,045
97,2	7,224	12,8359	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,045
97,2	7,224	13,0026	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	13,1693	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	13,336	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	13,5027	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	13,6694	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	13,8361	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	14,0028	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	0,038
97,2	7,224	14,1695	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	
97,2	7,224	14,3362	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	
97,2	7,224	14,5029	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	
97,2	7,224	14,6696	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	
97,2	7,224	14,8363	0,00	35,40	0,00	28,00	0,00	0,000	

APÊNDICE J – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 06/03/2010 – CPA (CONTINUA)

Tabela 87 - Resultados da modelação matemática do evento de 6/3/2010.

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acumul (mm)	Exced. prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qobservada (l/s)
98,5	3,901	0,167	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20	0,000	0,000
98,5	3,803	0,333	4,60	4,80	2,08	2,08	2,52	0,148	0,000
98,6	3,705	0,500	2,60	7,40	2,20	4,28	0,40	0,633	0,181
98,6	3,606	0,667	1,20	8,60	1,13	5,40	0,07	1,167	1,068
98,6	3,508	0,834	1,00	9,60	0,98	6,38	0,02	1,369	1,266
98,7	3,410	1,000	3,60	13,20	3,46	9,84	0,14	1,513	1,850
98,7	3,312	1,167	1,60	14,80	1,62	11,45	0,00	1,862	2,122
98,8	3,214	1,334	0,20	15,00	0,28	11,73	0,00	1,976	2,266
98,8	3,116	1,500	0,00	15,00	0,08	11,82	0,00	1,617	1,850
98,8	3,018	1,667	0,00	15,00	0,09	11,90	0,00	1,130	1,266
98,9	2,921	1,834	0,20	15,20	0,28	12,18	0,00	0,741	0,732
98,9	2,823	2,000	0,00	15,20	0,09	12,27	0,00	0,529	0,559
98,9	2,725	2,167	0,00	15,20	0,09	12,36	0,00	0,394	0,363
99,0	2,628	2,334	0,00	15,20	0,09	12,45	0,00	0,283	0,316
99,0	2,530	2,501	0,00	15,20	0,09	12,54	0,00	0,210	0,252
99,1	2,433	2,667	0,00	15,20	0,09	12,63	0,00	0,163	0,197
99,1	2,336	2,834	0,20	15,40	0,29	12,91	0,00	0,151	0,181
99,1	2,239	3,001	0,00	15,40	0,09	13,01	0,00	0,167	0,136
99,2	2,141	3,167	0,20	15,60	0,29	13,30	0,00	0,180	0,136
99,2	2,044	3,334	0,20	15,80	0,29	13,59	0,00	0,205	0,123
99,2	1,947	3,501	0,20	16,00	0,29	13,88	0,00	0,245	0,123
99,3	1,850	3,667	2,40	18,40	2,47	16,35	0,00	0,429	0,181
99,3	1,754	3,834	2,80	21,20	2,88	19,23	0,00	0,980	0,891
99,4	1,657	4,001	4,20	25,40	4,28	23,51	0,00	1,795	2,122
99,4	1,560	4,168	0,80	26,20	0,90	24,42	0,00	2,444	2,733
99,4	1,463	4,334	0,20	26,40	0,30	24,72	0,00	2,399	2,733
99,5	1,367	4,501	0,00	26,40	0,11	24,83	0,00	1,809	2,122
99,5	1,270	4,668	0,60	27,00	0,71	25,53	0,00	1,275	1,372
99,5	1,174	4,834	0,60	27,60	0,71	26,24	0,00	0,976	0,891
99,6	1,078	5,001	1,00	28,60	1,11	27,35	0,00	0,919	0,809
99,6	0,981	5,168	0,20	28,80	0,31	27,65	0,00	0,914	0,809
99,7	0,885	5,334	0,80	29,60	0,91	28,56	0,00	0,862	0,809
99,7	0,789	5,501	0,60	30,20	0,71	29,27	0,00	0,827	0,732
99,7	0,693	5,668	0,00	30,20	0,11	29,38	0,00	0,789	0,732
99,8	0,597	5,835	0,20	30,40	0,31	29,70	0,00	0,650	0,732
99,8	0,501	6,001	0,00	30,40	0,11	29,81	0,00	0,508	0,592
99,8	0,405	6,168	0,00	30,40	0,11	29,92	0,00	0,384	0,469
99,9	0,310	6,335	0,20	30,60	0,31	30,23	0,00	0,299	0,363
99,9	0,214	6,501	0,00	30,60	0,11	30,34	0,00	0,273	0,316
100,0	0,118	6,668	0,20	30,80	0,31	30,66	0,00	0,256	0,272
100,0	0,025	6,835	0,00	30,80	0,11	30,77	0,00	0,249	0,252
100,0	0,025	7,001	0,40	31,20	0,40	31,17	0,00	0,251	0,197
100,0	0,025	7,168	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,251	0,181

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acumul (mm)	Exced. prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qobservada (l/s)
100,0	0,025	7,335	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,215	0,181
100,0	0,025	7,502	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,144	0,181
100,0	0,025	7,668	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,090	0,181
100,0	0,025	7,835	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,053	0,181
100,0	0,025	8,002	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,033	0,136
100,0	0,025	8,168	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,020	
100,0	0,025	8,335	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,012	
100,0	0,025	8,502	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,007	
100,0	0,025	8,668	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,004	
100,0	0,025	8,835	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,002	
100,0	0,025	9,002	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,001	
100,0	0,025	9,169	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	9,335	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	9,502	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	9,669	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	9,835	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	10,002	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	10,169	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	10,335	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	10,502	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	10,669	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	10,836	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	11,002	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	11,169	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	11,336	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	11,502	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	11,669	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	11,836	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	12,002	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	12,169	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	12,336	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	12,503	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	12,669	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	12,836	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	13,003	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	13,169	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	13,336	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	13,503	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	13,669	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	13,836	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	14,003	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	14,170	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	14,336	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	14,503	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	14,670	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	14,836	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	15,003	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	15,170	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acumul (mm)	Exced. prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Qmodelo (l/s)	Qobservada (l/s)
100,0	0,025	15,336	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	15,503	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	15,670	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	15,837	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	16,003	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	16,170	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	16,337	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	16,503	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	16,670	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	16,837	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	17,003	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	17,170	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	17,337	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	17,504	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	17,670	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	17,837	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	18,004	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	18,170	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	18,337	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	18,504	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	18,670	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	18,837	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	19,004	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	19,171	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	19,337	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	19,504	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	19,671	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	19,837	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	20,004	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	20,171	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	20,337	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	20,504	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	20,671	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	20,838	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	21,004	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	21,171	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	21,338	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	21,504	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	21,671	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	21,838	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	22,004	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	22,171	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	22,338	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	22,505	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	22,671	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	22,838	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	23,005	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	
100,0	0,025	23,171	0,00	31,20	0,00	31,17	0,00	0,000	

APÊNDICE K – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 14/03/2010 – CPA (CONTINUA)

Tabela 88 - Resultados da modelação matemática do evento de 14/3/2010.

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
96,4	9,470	0,1667	3,20	3,20	0,16	0,16	3,04	0,016	0,000
96,4	9,437	0,3334	0,60	3,80	0,32	0,48	0,28	0,079	0,000
96,4	9,405	0,5001	0,20	4,00	0,07	0,55	0,13	0,147	0,000
96,4	9,372	0,6668	0,00	4,00	0,00	0,55	0,00	0,141	0,001
96,5	9,340	0,8335	0,00	4,00	0,00	0,55	0,00	0,097	0,022
96,5	9,307	1,0002	0,00	4,00	0,00	0,56	0,00	0,058	0,038
96,5	9,274	1,1669	0,00	4,00	0,00	0,56	0,00	0,036	0,045
96,5	9,242	1,3336	0,00	4,00	0,00	0,56	0,00	0,023	0,045
96,5	9,209	1,5003	0,00	4,00	0,00	0,57	0,00	0,014	0,045
96,5	9,177	1,6670	0,00	4,00	0,00	0,57	0,00	0,010	0,045
96,5	9,144	1,8337	0,00	4,00	0,00	0,57	0,00	0,007	0,045
96,5	9,112	2,0004	0,00	4,00	0,00	0,58	0,00	0,006	0,045
96,5	9,079	2,1671	0,00	4,00	0,00	0,58	0,00	0,005	0,045
96,6	9,047	2,3338	0,00	4,00	0,00	0,59	0,00	0,004	0,027
96,6	9,014	2,5005	0,00	4,00	0,00	0,59	0,00	0,004	0,022
96,6	8,982	2,6672	0,00	4,00	0,00	0,59	0,00	0,004	0,017
96,6	8,949	2,8339	0,00	4,00	0,00	0,60	0,00	0,004	0,017
96,6	8,917	3,0006	0,00	4,00	0,00	0,60	0,00	0,004	0,017
96,6	8,884	3,1673	0,00	4,00	0,00	0,60	0,00	0,004	0,017
96,6	8,852	3,3340	0,00	4,00	0,00	0,61	0,00	0,004	0,017
96,6	8,820	3,5007	0,00	4,00	0,00	0,61	0,00	0,004	0,017
96,7	8,787	3,6674	0,00	4,00	0,00	0,61	0,00	0,004	0,017
96,7	8,755	3,8341	0,00	4,00	0,00	0,62	0,00	0,004	0,017
96,7	8,722	4,0008	0,00	4,00	0,00	0,62	0,00	0,004	0,008
96,7	8,690	4,1675	0,00	4,00	0,00	0,63	0,00	0,004	0,008
96,7	8,657	4,3342	0,00	4,00	0,00	0,63	0,00	0,004	0,008
96,7	8,625	4,5009	0,00	4,00	0,00	0,63	0,00	0,004	0,008
96,7	8,593	4,6676	0,00	4,00	0,00	0,64	0,00	0,004	0,008
96,7	8,560	4,8343	0,00	4,00	0,00	0,64	0,00	0,004	0,008
96,8	8,528	5,0010	0,20	4,20	0,08	0,72	0,12	0,012	0,008
96,8	8,496	5,1677	0,20	4,40	0,09	0,81	0,11	0,036	0,008
96,8	8,463	5,3344	6,00	10,40	3,76	4,57	2,24	0,422	0,008
96,8	8,431	5,5011	3,60	14,00	2,89	7,47	0,71	1,440	1,722
96,8	8,399	5,6678	0,00	14,00	0,02	7,48	-0,02	1,949	1,983
96,8	8,366	5,8345	0,00	14,00	0,02	7,50	-0,02	1,551	1,661
96,8	8,334	6,0012	0,20	14,20	0,18	7,69	0,02	0,969	0,977
96,8	8,302	6,1679	0,00	14,20	0,02	7,70	-0,02	0,602	0,559
96,8	8,269	6,3346	0,20	14,40	0,19	7,89	0,01	0,404	0,414
96,9	8,237	6,5013	0,00	14,40	0,02	7,91	-0,02	0,284	0,316
96,9	8,205	6,6680	0,00	14,40	0,02	7,92	-0,02	0,185	0,233
96,9	8,172	6,8347	0,00	14,40	0,02	7,94	-0,02	0,119	0,181

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
96,9	8,140	7,0014	0,00	14,40	0,02	7,96	-0,02	0,076	0,136
96,9	8,108	7,1681	0,00	14,40	0,02	7,98	-0,02	0,050	0,136
96,9	8,076	7,3348	0,00	14,40	0,02	7,99	-0,02	0,032	0,123
96,9	8,043	7,5015	0,00	14,40	0,02	8,01	-0,02	0,024	0,088
96,9	8,011	7,6682	0,00	14,40	0,02	8,03	-0,02	0,022	0,088
97,0	7,979	7,8349	0,00	14,40	0,02	8,05	-0,02	0,021	0,078
97,0	7,947	8,0016	0,00	14,40	0,02	8,06	-0,02	0,020	0,078
97,0	7,914	8,1683	0,00	14,40	0,02	8,08	-0,02	0,020	0,078
97,0	7,882	8,3350	0,00	14,40	0,02	8,10	-0,02	0,020	0,052
97,0	7,850	8,5017	0,00	14,40	0,02	8,12	-0,02	0,020	0,045
97,0	7,818	8,6684	0,00	14,40	0,02	8,14	-0,02	0,020	0,045
97,0	7,786	8,8351	0,00	14,40	0,02	8,15	-0,02	0,020	0,045
97,0	7,754	9,0018	0,20	14,60	0,19	8,34	0,01	0,037	0,045
97,0	7,721	9,1685	0,60	15,20	0,54	8,88	0,06	0,122	0,045
97,1	7,689	9,3352	0,20	15,40	0,19	9,07	0,01	0,240	0,045
97,1	7,657	9,5019	0,40	15,80	0,37	9,44	0,03	0,286	0,045
97,1	7,625	9,6686	0,40	16,20	0,37	9,82	0,03	0,324	0,045
97,1	7,625	9,8353	0,20	16,40	0,18	9,99	0,02	0,337	0,045
97,1	7,625	10,0020	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,289	0,078
97,1	7,625	10,1687	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,194	0,088
97,1	7,625	10,3354	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,115	0,123
97,1	7,625	10,5021	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,066	0,123
97,1	7,625	10,6688	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,039	0,123
97,1	7,625	10,8355	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,022	0,123
97,1	7,625	11,0022	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,012	0,123
97,1	7,625	11,1689	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,006	0,123
97,1	7,625	11,3356	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,003	0,110
97,1	7,625	11,5023	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,001	0,088
97,1	7,625	11,6690	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,088
97,1	7,625	11,8357	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,078
97,1	7,625	12,0024	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,078
97,1	7,625	12,1691	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,078
97,1	7,625	12,3358	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,078
97,1	7,625	12,5025	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,069
97,1	7,625	12,6692	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,052
97,1	7,625	12,8359	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,052
97,1	7,625	13,0026	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,052
97,1	7,625	13,1693	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,052
97,1	7,625	13,3360	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	13,5027	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	13,6694	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	13,8361	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	14,0028	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	14,1695	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	14,3362	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,045
97,1	7,625	14,5029	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,038
97,1	7,625	14,6696	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	0,038
97,1	7,625	14,8363	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	

CN Inst	SCS Inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
97,1	7,625	15,0030	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	15,1697	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	15,3364	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	15,5031	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	15,6698	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	15,8365	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	16,0032	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	16,1699	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	16,3366	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	16,5033	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	16,6700	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	
97,1	7,625	16,8367	0,00	16,40	0,00	9,99	0,00	0,000	

APÊNDICE L – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 23/04/2010 – CPA (CONTINUA)

Tabela 89 - Resultados da modelação matemática do evento de 23/4/2010.

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
97,3	6,996	0,1667	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20	0,000	0,000
97,3	6,996	0,3334	2,00	2,20	0,08	0,08	1,92	0,006	0,000
97,3	6,996	0,5001	0,80	3,00	0,22	0,30	0,58	0,032	0,000
97,3	6,996	0,6668	2,20	5,20	1,04	1,34	1,16	0,140	0,000
97,3	6,996	0,8335	5,00	10,20	3,57	4,90	1,43	0,544	0,136
97,3	6,996	1,0002	2,20	12,40	1,82	6,72	0,38	1,246	1,600
97,3	6,996	1,1669	1,00	13,40	0,86	7,58	0,14	1,700	1,722
97,3	6,996	1,3336	0,20	13,60	0,17	7,75	0,03	1,606	1,722
97,3	6,996	1,5003	0,00	13,60	0,00	7,75	0,00	1,237	1,165
97,3	6,996	1,667	0,00	13,60	0,00	7,75	0,00	0,811	0,695
97,3	6,996	1,8337	0,00	13,60	0,00	7,75	0,00	0,516	0,559
97,3	6,996	2,0004	0,00	13,60	0,00	7,75	0,00	0,323	0,339
97,3	6,996	2,1671	0,00	13,60	0,00	7,75	0,00	0,199	0,272
97,3	6,996	2,3338	0,20	13,80	0,17	7,93	0,03	0,135	0,252
97,3	6,996	2,5005	0,80	14,60	0,70	8,63	0,10	0,160	0,181
97,3	6,996	2,6672	0,80	15,40	0,71	9,34	0,09	0,294	0,136
97,3	6,996	2,8339	0,80	16,20	0,71	10,05	0,09	0,460	0,136
97,3	6,996	3,0006	0,40	16,60	0,36	10,41	0,04	0,560	0,252
97,3	6,996	3,1673	0,00	16,60	0,00	10,41	0,00	0,538	0,339
97,3	6,996	3,334	0,00	16,60	0,00	10,41	0,00	0,409	0,339
97,3	6,996	3,5007	0,20	16,80	0,18	10,59	0,02	0,281	0,339
97,3	6,996	3,6674	0,20	17,00	0,18	10,77	0,02	0,218	0,272
97,3	6,996	3,8341	0,00	17,00	0,00	10,77	0,00	0,193	0,197
97,3	6,996	4,0008	0,00	17,00	0,00	10,77	0,00	0,153	0,181
97,3	6,996	4,1675	0,00	17,00	0,00	10,77	0,00	0,102	0,181
97,3	6,996	4,3342	0,20	17,20	0,18	10,95	0,02	0,075	0,136
97,3	6,996	4,5009	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,077	0,136
97,3	6,996	4,6676	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,074	0,123
97,3	6,996	4,8343	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,051	0,123
97,3	6,996	5,001	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,032	0,110
97,3	6,996	5,1677	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,018	0,088
97,3	6,996	5,3344	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,011	0,088
97,3	6,996	5,5011	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,007	0,078
97,3	6,996	5,6678	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,004	0,078
97,3	6,996	5,8345	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,002	0,078
97,3	6,996	6,0012	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,001	0,069
97,3	6,996	6,1679	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,001	0,052
97,3	6,996	6,3346	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	0,052
97,3	6,996	6,5013	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	6,668	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	6,8347	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	7,0014	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
97,3	6,996	7,1681	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	7,3348	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	7,5015	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	7,6682	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	7,8349	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	8,0016	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	8,1683	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	8,335	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	8,5017	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	8,6684	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	8,8351	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	9,0018	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	9,1685	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	9,3352	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	9,5019	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	9,6686	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	9,8353	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	10,002	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	10,1687	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	10,3354	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	10,5021	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	10,6688	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	10,8355	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	11,0022	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	11,1689	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	11,3356	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	11,5023	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	
97,3	6,996	11,669	0,00	17,20	0,00	10,95	0,00	0,000	

APÊNDICE M – RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO EVENTO DE 08/05/2010 – CPA (CONTINUA)

Tabela 90 - Resultados da modelação matemática do evento de 8/5/2010.

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
96,0	10,583	0,1667	1,80	1,80	0,00	0,00	1,80	0,000	0,000
96,0	10,539	0,3334	0,40	2,20	0,00	0,00	0,40	0,000	0,000
96,0	10,495	0,5001	0,60	2,80	0,04	0,04	0,56	0,004	0,000
96,0	10,451	0,6668	2,60	5,40	0,75	0,80	1,85	0,085	0,000
96,1	10,407	0,8335	3,40	8,80	1,84	2,64	1,56	0,407	0,316
96,1	10,363	1,0002	2,00	10,80	1,35	3,99	0,65	0,886	1,068
96,1	10,319	1,1669	2,20	13,00	1,64	5,63	0,56	1,219	1,372
96,1	10,275	1,3336	1,00	14,00	0,79	6,42	0,21	1,369	1,372
96,1	10,231	1,5003	0,20	14,20	0,18	6,60	0,02	1,216	1,266
96,1	10,187	1,667	0,00	14,20	0,02	6,62	-0,02	0,882	0,849
96,2	10,143	1,8337	0,00	14,20	0,02	6,64	-0,02	0,557	0,469
96,2	10,099	2,0004	0,00	14,20	0,02	6,66	-0,02	0,336	0,339
96,2	10,055	2,1671	0,00	14,20	0,02	6,68	-0,02	0,205	0,197
96,2	10,011	2,3338	1,40	15,60	1,15	7,83	0,25	0,236	0,165
96,2	9,967	2,5005	2,20	17,80	1,86	9,69	0,34	0,588	0,136
96,2	9,923	2,6672	0,60	18,40	0,54	10,23	0,06	0,962	0,559
96,3	9,879	2,8339	0,60	19,00	0,54	10,77	0,06	0,976	0,592
96,3	9,835	3,0006	0,40	19,40	0,37	11,15	0,03	0,833	0,592
96,3	9,791	3,1673	0,80	20,20	0,73	11,87	0,07	0,710	0,469
96,3	9,747	3,334	0,60	20,80	0,56	12,43	0,04	0,695	0,469
96,3	9,703	3,5007	0,20	21,00	0,20	12,63	0,00	0,645	0,469
96,3	9,660	3,6674	0,00	21,00	0,03	12,66	-0,03	0,505	0,441
96,4	9,616	3,8341	0,20	21,20	0,20	12,86	0,00	0,355	0,339
96,4	9,572	4,0008	0,00	21,20	0,03	12,89	-0,03	0,264	0,252
96,4	9,528	4,1675	0,00	21,20	0,03	12,92	-0,03	0,186	0,197
96,4	9,485	4,3342	0,00	21,20	0,03	12,94	-0,03	0,124	0,165
96,4	9,485	4,5009	0,20	21,40	0,18	13,12	0,02	0,095	0,123
96,4	9,485	4,6676	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,100	0,088
96,4	9,485	4,8343	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,079	0,078
96,4	9,485	5,001	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,049	0,069
96,4	9,485	5,1677	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,027	
96,4	9,485	5,3344	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,015	
96,4	9,485	5,5011	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,009	
96,4	9,485	5,6678	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,005	
96,4	9,485	5,8345	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,003	
96,4	9,485	6,0012	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,001	
96,4	9,485	6,1679	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,001	
96,4	9,485	6,3346	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	6,5013	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	6,668	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	6,8347	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	7,0014	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	

CN Inst	SCS inst	Instante (h)	Chuva (mm)	Chuva acum. (mm)	Exced. Prec. (mm)	Exced. Acum. (mm)	Infiltr. (mm)	Q (l/s)	Qobs (l/s)
96,4	9,485	7,1681	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	7,3348	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	7,5015	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	7,6682	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	7,8349	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	8,0016	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	8,1683	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	8,335	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	8,5017	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	8,6684	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	8,8351	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	9,0018	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	9,1685	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	9,3352	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	9,5019	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	9,6686	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	9,8353	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	10,002	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	10,1687	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	10,3354	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	10,5021	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	10,6688	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	10,8355	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	11,0022	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	11,1689	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	11,3356	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	11,5023	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	
96,4	9,485	11,669	0,00	21,40	0,00	13,12	0,00	0,000	

APÊNDICE N – EVENTO DE 08/05/2010 (CONTINUA)

Tabela 91 - Planilha utilizada no cálculo do balanço hídrico para o evento de 8/5/2010.

		0,005		0,012			
Data/Hora	Plu (mm)	Bloc. Fundo (m)	Bloc. Fundo Calibrado (m)	Asf. Fundo (m)	Asf. Fundo Calibrado (m)	Asf. Superf (m)	Asf. Superf. Calibrado (m)
8/5/10 9:00	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 9:10	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 9:20	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 9:30	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 9:40	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 9:50	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 10:00	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 10:10	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 10:20	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 10:30	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 10:40	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 10:50	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 11:00	0	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 11:10	0,2	0,005	0	-0,002	0	0,0120	0,0000
8/5/10 11:20	2,6	0,004	-0,001	-0,002	0	0,0160	0,0040
8/5/10 11:30	3	0,004	-0,001	-0,002	0	0,0330	0,0210
8/5/10 11:40	3	0,005	0	-0,002	0	0,0330	0,0210
8/5/10 11:50	3	0,006	0,001	0,001	0,001	0,0320	0,0200
8/5/10 12:00	3	0,006	0,001	0,005	0,005	0,0290	0,0170
8/5/10 12:10	3	0,008	0,003	0,009	0,009	0,0280	0,0160
8/5/10 12:20	3	0,008	0,003	0,011	0,011	0,0270	0,0150
8/5/10 12:30	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0250	0,0130
8/5/10 12:40	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0240	0,0000
8/5/10 12:50	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0240	0,0000
8/5/10 13:00	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0240	0,0000
8/5/10 13:10	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0240	0,0000
8/5/10 13:20	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0240	0,0000
8/5/10 13:30	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0240	0,0000
8/5/10 13:40	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0230	0,0000
8/5/10 13:50	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0230	0,0000
8/5/10 14:00	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0230	0,0000
8/5/10 14:10	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 14:20	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 14:30	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 14:40	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 14:50	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000

			0,005				0,012
Data/Hora	Plu (mm)	Bloc. Fundo (m)	Bloc. Fundo Calibrado (m)	Asf. Fundo (m)	Asf. Fundo Calibrado (m)	Asf. Superf (m)	Asf. Superf. Calibrado (m)
8/5/10 15:00	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 15:10	3	0,008	0,003	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 15:20	3	0,009	0,004	0,012	0,012	0,0210	0,0000
8/5/10 15:30	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 15:40	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 15:50	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 16:00	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 16:10	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 16:20	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 16:30	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 16:40	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 16:50	3	0,01	0,005	0,011	0,011	0,0210	0,0000
8/5/10 17:00	3	0,012	0,007	0,009	0,009	0,0210	0,0000
8/5/10 17:10	3	0,012	0,007	0,008	0,008	0,0210	0,0000
8/5/10 17:20	4,8	0,009	0,004	0,007	0,007	0,0190	0,0070
8/5/10 17:30	5,2	0,008	0,003	0,005	0,005	0,0240	0,0120
8/5/10 17:40	5,8	0,008	0,003	0,005	0,005	0,0290	0,0170
8/5/10 17:50	8,4	0,008	0,003	0,008	0,008	0,0400	0,0280
8/5/10 18:00	11,8	0,008	0,003	0,043	0,043	0,0440	0,0320
8/5/10 18:10	13,8	0,008	0,003	0,065	0,065	0,0500	0,0380
8/5/10 18:20	16	0,008	0,003	0,071	0,071	0,0480	0,0360
8/5/10 18:30	17	0,008	0,003	0,071	0,071	0,0440	0,0320
8/5/10 18:40	17,2	0,016	0,011	0,069	0,069	0,0410	0,0290
8/5/10 18:50	17,2	0,02	0,015	0,06	0,06	0,0360	0,0240
8/5/10 19:00	17,2	0,022	0,017	0,049	0,049	0,0330	0,0210
8/5/10 19:10	17,2	0,024	0,019	0,044	0,044	0,0300	0,0180
8/5/10 19:20	17,2	0,024	0,019	0,037	0,037	0,0290	0,0170
8/5/10 19:30	18,6	0,024	0,019	0,035	0,035	0,0280	0,0160
8/5/10 19:40	20,8	0,024	0,019	0,033	0,033	0,0340	0,0220
8/5/10 19:50	21,4	0,025	0,02	0,052	0,052	0,0400	0,0280
8/5/10 20:00	22	0,026	0,021	0,053	0,053	0,0400	0,0280
8/5/10 20:10	22,4	0,028	0,023	0,053	0,053	0,0380	0,0260
8/5/10 20:20	23,2	0,029	0,024	0,049	0,049	0,0370	0,0250
8/5/10 20:30	23,8	0,03	0,025	0,049	0,049	0,0360	0,0240
8/5/10 20:40	24	0,032	0,027	0,049	0,049	0,0360	0,0240
8/5/10 20:50	24	0,032	0,027	0,048	0,048	0,0360	
8/5/10 21:00	24,2	0,032	0,027	0,044	0,044	0,0330	0,0210
8/5/10 21:10	24,2	0,032	0,027	0,04	0,04	0,0330	
8/5/10 21:20	24,2	0,032	0,027	0,037	0,037	0,0320	
8/5/10 21:30	24,2	0,032	0,027	0,035	0,035	0,0300	

		0,005		0,012			
Data/Hora	Plu (mm)	Bloc. Fundo (m)	Bloc. Fundo Calibrado (m)	Asf. Fundo (m)	Asf. Fundo Calibrado (m)	Asf. Superf (m)	Asf. Superf. Calibrado (m)
8/5/10 21:40	24,4	0,032	0,027	0,032	0,032	0,0290	0,0170
8/5/10 21:50	24,4	0,032	0,027	0,029	0,029	0,0280	
8/5/10 22:00	24,6	0,032	0,027	0,028	0,028	0,0280	0,0160
8/5/10 22:10	24,8	0,036	0,031	0,027	0,027	0,0240	0,0120
8/5/10 22:20	24,8	0,036	0,031	0,025	0,025	0,0250	
8/5/10 22:30	24,8	0,036	0,031	0,025	0,025	0,0250	
8/5/10 22:40	24,8	0,036	0,031	0,025	0,025	0,0250	
8/5/10 22:50	24,8	0,036	0,031	0,025	0,025	0,0250	
8/5/10 23:00	24,8	0,036	0,031	0,024	0,024	0,0250	
8/5/10 23:10	24,8	0,036	0,031	0,024	0,024	0,0250	
8/5/10 23:20	24,8	0,036	0,031	0,021	0,021	0,0250	
8/5/10 23:30	24,8	0,036	0,031	0,02	0,02	0,0250	
8/5/10 23:40	25	0,034	0,029	0,02	0,02	0,0250	0,0130
8/5/10 23:50	25,2	0,032	0,027	0,02	0,02	0,0250	0,0130
9/5/10 0:00	25,2	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	
879/5/10 0:10	25,2	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	
9/5/10 0:20	25,6	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	0,0130
9/5/10 0:30	25,6	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	
9/5/10 0:40	25,6	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	
9/5/10 0:50	25,8	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	0,0130
9/5/10 1:00	25,8	0,032	0,027	0,019	0,019	0,0250	
9/5/10 1:10	26	0,03	0,025	0,019	0,019	0,0250	0,0130
9/5/10 1:20	26	0,03	0,025	0,019	0,019	0,0250	
9/5/10 1:30	26	0,03	0,025	0,019	0,019	0,0250	
9/5/10 1:40	26,2	0,03	0,025	0,019	0,019	0,0250	0,0130
9/5/10 1:50	26,8	0,029	0,024	0,019	0,019	0,0250	0,0130
9/5/10 2:00	27	0,029	0,024	0,02	0,02	0,0290	0,0170
9/5/10 2:10	27,2	0,029	0,024	0,024	0,024	0,0290	0,0170
9/5/10 2:20	27,4	0,029	0,024	0,027	0,027	0,0300	0,0180
9/5/10 2:30	27,4	0,029	0,024	0,028	0,028	0,0300	
9/5/10 2:40	27,6	0,029	0,024	0,028	0,028	0,0300	0,0180
9/5/10 2:50	28	0,029	0,024	0,028	0,028	0,0300	0,0180
9/5/10 3:00	28,4	0,029	0,024	0,029	0,029	0,0320	0,0200
9/5/10 3:10	29,2	0,029	0,024	0,032	0,032	0,0320	0,0200
9/5/10 3:20	29,6	0,029	0,024	0,037	0,037	0,0330	0,0210
9/5/10 3:30	29,8	0,029	0,024	0,04	0,04	0,0340	0,0220
9/5/10 3:40	29,8	0,029	0,024	0,04	0,04	0,0340	0,0220
9/5/10 3:50	29,8	0,029	0,024	0,04	0,04	0,0340	0,0220
9/5/10 4:00	29,8	0,029	0,024	0,036	0,036	0,0320	0,0200
9/5/10 4:10	29,8	0,029	0,024	0,033	0,033	0,0290	0,0170

		0,005		0,012			
Data/Hora	Plu (mm)	Bloc. Fundo (m)	Bloc. Fundo Calibrado (m)	Asf. Fundo (m)	Asf. Fundo Calibrado (m)	Asf. Superf (m)	Asf. Superf. Calibrado (m)
9/5/10 4:20	29,8	0,029	0,024	0,032	0,032	0,0280	0,0160
9/5/10 4:30	29,8	0,029	0,024	0,028	0,028	0,0250	0,0130
9/5/10 4:40	29,8	0,032	0,027	0,025	0,025	0,0250	0,0130
9/5/10 4:50	30	0,032	0,027	0,025	0,025	0,0250	0,0130