

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Guilherme Xavier de Mello**

**GERENCIAMENTO DE DRENAGEM URBANA:  
USO DE INDICADORES NA ANÁLISE COMPARATIVA DA  
SUSTENTABILIDADE DE MEDIDAS DE CONTROLE**

Porto Alegre  
junho 2014

**GUILHERME XAVIER DE MELLO**

**GERENCIAMENTO DE DRENAGEM URBANA:  
USO DE INDICADORES NA ANÁLISE COMPARATIVA DA  
SUSTENTABILIDADE DE MEDIDAS DE CONTROLE**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Joel Avruch Goldenfum**  
**Coorientador: Fernando Dornelles**

Porto Alegre  
junho 2014

**GUILHERME XAVIER DE MELLO**

**GERENCIAMENTO DE DRENAGEM URBANA:  
USO DE INDICADORES NA ANÁLISE COMPARATIVA DA  
SUSTENTABILIDADE DE MEDIDAS DE CONTROLE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Professores Orientadores e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2014

Prof. Joel Avruch Goldenfum  
Dr. em Hidrologia pelo Imperial  
College/University of London  
Orientador

Prof. Fernando Dornelles  
Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento  
Ambiental pela UFRGS  
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Joel Avruch Goldenfum (UFRGS)**  
Dr. pelo Imperial College/University of  
London

**Prof. Fernando Dornelles (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul

**Prof. André Luiz Lopes da Silveira (UFRGS)**  
Dr. pela Université de Montpellier II, França

**Profa. Rosane Barbosa Lopes Cavalcante**  
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado, especialmente durante o período deste Curso de Graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, principalmente ao meu pai Ricardo, minha mãe Denise e meus irmãos Eduardo e Caroline, pelo carinho e por sempre acreditarem em mim, não só no período de graduação, mas em toda a minha vida.

Agradeço ao Prof. Joel Avruch Goldenfum e ao Prof. Fernando Dornelles, pela disponibilidade, paciência e conhecimentos transmitidos durante a realização deste trabalho, e pelo período de iniciação científica realizado.

Agradeço a Prof. Carin Maria Schmitt, pela extrema dedicação e comprometimento com seus alunos, possibilitando a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos pelo companheirismo e pelos momentos que sempre passamos juntos, especialmente ao amigo e colega de profissão Vinícius Pellizzari, pelo apoio nos momentos difíceis, inclusive durante o período de graduação, e por se fazer presente sempre que precisei de ajuda.

Não ande apenas pelo caminho traçado, pois ele conduz  
somente até onde os outros já foram.

*Alexander Graham Bell*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre o resultado da análise comparativa da sustentabilidade de dois tipos de medidas de controle de alagamentos, na cidade de Porto Alegre, através do uso de indicadores propostos por Castro (2002, 2007) e Moura (2004). A partir da revisão da literatura, que aborda o histórico do desenvolvimento urbano e seus principais impactos sobre o meio ambiente, principalmente no que diz respeito às inundações, adotaram-se critérios para a comparação das medidas de controle a serem empregadas para minimizar a magnitude e frequência de alagamentos, por meio de indicadores. Primeiramente, foram definidas e caracterizadas as medidas de controle a serem analisadas no presente trabalho, sendo elas uma bacia de detenção e um pavimento permeável, localizados na rua Osório Tuyuti de Oliveira Freitas e estacionamento de veículos leves do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, respectivamente. Na segunda parte do trabalho, foram escolhidos os indicadores que subsidiaram a análise comparativa do grau de sustentabilidade das medidas de controle já implementadas, podendo ser qualitativos ou quantitativos, dependendo do critério analisado. Os critérios escolhidos para análise foram objetivos, impactos e inserção da obra. Por fim, foi apresentado o resultado dessa análise comparativa das duas estruturas em estudo, através de figuras.

Palavras-chave: Gerenciamento da Drenagem Urbana. Medidas de Controle. Indicadores de Sustentabilidade. Bacia de Detenção. Pavimentos Permeáveis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa .....	17
Figura 2 – Diagrama devido à urbanização .....	21
Figura 3 – Hidrograma típico de bacias de detenção .....	27
Figura 4 – Pavimento permeável analisado .....	44
Figura 5 – Seção transversal do pavimento .....	44
Figura 6 – Planta baixa e corte da bacia de detenção .....	45
Figura 7 – Bacia de detenção em funcionamento .....	46
Figura 8 – Indicadores relacionados aos representantes de órgãos e agências ambientais, para o pavimento permeável .....	58
Figura 9 – Indicadores relacionados aos representantes de serviços técnicos municipais, para o pavimento permeável .....	58
Figura 10 – Indicadores relacionados aos representantes de empresas de consultoria, para o pavimento permeável .....	59
Figura 11 – Indicadores relacionados aos representantes da população afetada, para o pavimento permeável .....	59
Figura 12 – Indicadores relacionados aos representantes de órgãos e agências ambientais, para a bacia de detenção .....	60
Figura 13 – Indicadores relacionados aos representantes de serviços técnicos municipais, para a bacia de detenção .....	60
Figura 14 – Indicadores relacionados aos representantes de empresas de consultoria, para a bacia de detenção .....	61
Figura 15 – Indicadores relacionados aos representantes da população afetada, para a bacia de detenção .....	61
Figura 16 – Análise comparativa dos representantes de órgãos e agências ambientais ...	63
Figura 17 – Análise comparativa dos representantes de serviços técnicos municipais ....	63
Figura 18 – Análise comparativa dos representantes de empresas de consultoria .....	64
Figura 19 – Análise comparativa da população afetada .....	64



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros quantitativos para o pavimento permeável .....	48
Tabela 2 – Parâmetros quantitativos para a bacia de detenção .....	50
Tabela 3 – Parâmetros qualitativos para o pavimento permeável .....	52
Tabela 4 – Parâmetros qualitativos para a bacia de detenção .....	53
Tabela 5 – Mudança de escala para os indicadores quantitativos aplicáveis no pavimento permeável e na bacia de detenção .....	54
Tabela 6 – Resumo dos indicadores utilizados para o pavimento permeável .....	55
Tabela 7 – Resumo dos indicadores utilizados para a bacia de detenção .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

$T_R$  – tempo de retorno de projeto (anos)

$T_{RD}$  – tempo de retorno desejável (anos)

$I_0$  – indicador de atendimento da obra

$Q_{JUS}$  – vazão mínima a escoar a jusante segundo a alternativa estudada (L/s)

$Q_{ALVO}$  – vazão alvo a ser mantida a jusante (L/s)

$I_{H1}$  – indicador hidrológico relacionado ao impacto sobre as vazões a jusante

$Q_{JUS}$  – vazão mínima a escoar a jusante, segundo a alternativa estudada (L/s)

$Q_{ALVO}$  – vazão alvo a ser mantida a jusante (L/s)

$I_{H1}$  – indicador hidrológico relacionado ao impacto sobre as vazões a jusante

$I_{H2}$  – indicador hidrológico relacionado à recarga do aquífero

$Q_{INF}$  – vazão infiltrada segundo a alternativa escolhida (L/s)

$Q_{NAT}$  – vazão infiltrada sem a ocorrência da urbanização (L/s)

$I_{H2}$  – indicador hidrológico relacionado à recarga do aquífero

$A_{INF}$  – área de infiltração segundo a alternativa escolhida (m<sup>2</sup>)

$A_{NAT}$  – área de infiltração sem a ocorrência da urbanização (m<sup>2</sup>)

$I_{A1}$  – indicador ambiental relacionado à preservação e criação de habitats

$A_{APTA2}$  – área ecologicamente apta após a implementação do sistema de drenagem proposto (m<sup>2</sup>)

$A_{APTA1}$  – área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem (m<sup>2</sup>)

$I_{SC1}$  – indicador social relacionado à criação de áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos

$A_{RL2}$  – área referente à recreação, lazer e equipamento urbanos, após a implementação do sistema proposto ( $m^2$ )

$A_{RL1}$  – área referente à recreação, lazer e equipamento urbanos, antes da implementação do sistema de drenagem ( $m^2$ )

$A_{RL}$  – área criada referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem ( $m^2$ )

$A_{maxRL}$  – maior área, dentre as diversas alternativas, referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem ( $m^2$ )

$I_{SC4}$  – indicador social relacionado à desapropriação de áreas

$A_{maxDES}$  – maior valor, dentre as alternativas estudadas, para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem ( $m^2$ )

$A_{DES}$  – área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto ( $m^2$ ).

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA .....	15
2.3 PRESSUPOSTO .....	15
2.4 PREMISA .....	15
2.5 DELIMITAÇÕES .....	15
2.6 LIMITAÇÕES .....	16
2.7 DELINEAMENTO .....	16
<b>3 DESENVOLVIMENTO URBANO E DRENAGEM: BREVE HISTÓRICO E IMPACTOS</b> .....	19
3.1 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO URBANO .....	19
3.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA URBANIZAÇÃO .....	20
<b>3.2.1 Impermeabilização das superfícies</b> .....	20
<b>3.2.2 Mudança no fluxo do balanço hídrico</b> .....	22
<b>4 MEDIDAS DE CONTROLE NO GERENCIAMENTO DA DRENAGEM URBANA</b> .....	23
4.1 MEDIDAS DE CONTROLE .....	23
<b>4.1.1 Medidas de controle estruturais</b> .....	24
<b>4.1.2 Medidas de controle não estruturais</b> .....	25
4.2 BACIAS DE DETENÇÃO .....	26
<b>4.2.1 Tipos de reservatórios de detenção</b> .....	27
<b>4.2.2 Funções complementares das bacias de detenção</b> .....	28
<b>4.2.3 Definição dos locais dos reservatórios</b> .....	29
4.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	29
<b>4.3.1 Tipos de pavimentos</b> .....	30
<b>4.3.2 Vantagens e limitações</b> .....	31
<b>5 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE APLICADOS À DRENAGEM URBANA</b> .....	33
5.1 CARACTERÍSTICAS .....	33
5.2 USO DE INDICADORES .....	34
5.3 PROPOSIÇÃO DE INDICADORES .....	35
<b>5.3.1 Indicador: Objetivo</b> .....	35
<b>5.3.2 Indicador: Impactos da Obra</b> .....	36

5.3.2.1 Aspectos hidrológicos .....	36
5.3.2.2 Aspectos sanitários .....	38
5.3.2.3 Aspectos sobre a qualidade da água .....	39
<b>5.3.3 Indicador: Inserção da Obra .....</b>	<b>39</b>
5.3.3.1 Ambiental .....	39
5.3.3.2 Social .....	40
<b>6 ESTRUTURAS DE CONTROLE SELECIONADAS .....</b>	<b>43</b>
6.1 PAVIMENTO PERMEÁVEL .....	43
6.2 BACIA DE DETENÇÃO .....	44
6.3 PARÂMETROS QUANTITATIVOS .....	46
6.4 PAVIMENTO QUALITATIVOS .....	50
<b>7 APLICAÇÃO DOS INDICADORES .....</b>	<b>54</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>66</b>
REFERÊNCIAS .....	67
APÊNDICE A .....	69



## 1 INTRODUÇÃO

A urbanização, desde as primeiras aglomerações, ocorre na maioria das vezes de forma acelerada e desordenada. Essa transformação urbana aumenta a quantidade de áreas impermeabilizadas, refletindo, no que diz respeito à drenagem urbana, no escoamento superficial, podendo acarretar diversos problemas relacionados a inundações e danos ecológicos.

A população ribeirinha, que ocupava o leito maior da seção de escoamento de um rio, acabava por sofrer com as inundações típicas desses locais. Sem a devida capacidade de infiltração do solo e com chuvas intensas, o nível d'água subia do leito menor para o leito maior, quando em pequenas declividades, durante o período de vazões altas, e a população sofria prejuízos socioeconômicos (TUCCI, 2007, p. 125-127). No caso das inundações urbanas, Tucci (2007, p. 185) afirma que as principais causas de impactos são a impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial, e a canalização do escoamento, transportando a água para jusante, em um menor tempo.

A preocupação em se evitar os riscos de doenças, por parte dos sanitaristas, fez surgir uma fase chamada higienista, no início do século XX, quando a ideia era de se coletar água à montante e dispor esgoto à jusante, sem o devido tratamento. Esta fase teve grande impacto no ambiente urbano, acarretando em alguns planejamentos de obras de drenagem (TUCCI, 2007, p. 52-53). Righetto et al. (2009, p. 21) afirmam que:

[...] a consciência ambiental de se realizar a gestão das águas urbanas de forma integrada avançou nos discursos políticos e técnicos nacionais [...], com a introdução e absorção de novos paradigmas relacionados às águas urbanas e particularmente o de manejo das águas pluviais urbanas.

Visando recuperar a capacidade de infiltração do solo, ou reter parte do excesso de escoamento superficial, adotam-se certas medidas de controle, podendo elas ser do tipo estrutural e não-estrutural. Segundo Tucci (2007, p. 143), as medidas estruturais “[...] são obras de engenharia que alteram os rios e são implementadas para reduzir o risco de enchentes.”. O mesmo autor ainda define as medidas não-estruturais como sendo “[...] aquelas

que conservam o meio ambiente e os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as inundações através de medidas preventivas [...]”.

A escassez dos recursos naturais e a crescente preocupação com as gerações futuras fez surgir a ideia de medidas de controle vinculadas a um sistema urbano sustentável. Righetto et al. (2009, p. 53-54) enfatizam que o planejamento urbano nas regiões metropolitanas está passando por um período de inovação, no que tange à gestão de águas pluviais e sua interface com o saneamento, visando diminuir os problemas de saúde relacionados ao meio hídrico. Ainda descrevem que, para uma melhor relação entre a população e o meio ambiente, devem ser adotadas soluções inovadoras de engenharia, que busquem, além de um ambiente saudável e livre de poluição, uma situação econômica mais favorável quanto a recursos humanos e financeiros.

Uma maneira de escolher e comparar qual medida de controle é mais adequada para determinada situação pode ser através do uso de indicadores. Segundo Castro (2007, p. 97), “Os indicadores são componentes essenciais no estudo global do progresso, em relação ao desenvolvimento sustentável, tendo sido aplicados com grande frequência nos últimos anos.”. Moura (2004, p. 12) ressalta que os indicadores facilitam a tomada de decisão e possibilitam a avaliação entre alternativas de projeto, também denominadas de cenários.

Diversos estudos vêm sendo realizados com a utilização de indicadores, tanto nacional como internacionalmente. Na França, na periferia da cidade de Bordeaux, assim como no Brasil, nos estados de Goiás e Minas Gerais, indicadores de desempenho e custos são utilizados para que se escolha a medida de controle mais adequada a ser executada (MOURA, 2004).

Nos primeiros capítulos do presente trabalho, foram abordados os temas relacionados ao desenvolvimento urbano, de forma a apresentar seu histórico, principais impactos e preocupação para que aconteça de forma sustentável. Na sequência foram feitas considerações referentes às medidas de controle, seus usos e suas principais funções na implantação em meios urbanos. O foco da pesquisa ocorreu para as bacias de retenção e os pavimentos permeáveis. No capítulo seguinte foram estudados os principais indicadores propostos pela bibliografia, de forma a facilitar a comparação das medidas escolhidas para este trabalho.



## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o resultado da análise comparativa da sustentabilidade de diferentes medidas de controle de alagamentos na cidade de Porto Alegre, através do uso de indicadores?

### **2.2 OBJETIVO DA PESQUISA**

O objetivo principal do trabalho é a análise comparativa da sustentabilidade de duas estruturas de controle para o gerenciamento de drenagem urbana, já implantadas na cidade de Porto Alegre, utilizando os indicadores propostos por Castro (2002, 2007) e Moura (2004).

### **2.3 PRESSUPOSTO**

O trabalho tem por pressuposto que o conjunto de indicadores propostos por Castro (2002, 2007) e Moura (2004) são aplicáveis na comparação de diferentes medidas de controle.

### **2.4 PREMISSE**

As medidas de controle do escoamento pluvial podem apresentar graus de sustentabilidade distintos, e esses graus são fatores importantes para a seleção das medidas de controle a serem implantadas.

### **2.5 DELIMITAÇÕES**

O trabalho delimita-se à avaliação de duas estruturas de controle do escoamento pluvial para o gerenciamento de drenagem urbana, na cidade de Porto Alegre.

## 2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho aborda apenas duas medidas de controle, sendo um reservatório de detenção, localizado na rua Osório Tuyuti de Oliveira Freitas, e um pavimento permeável localizado no estacionamento de veículos leves do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ambas localizadas na cidade de Porto Alegre.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1 e descritas nos próximos parágrafos:

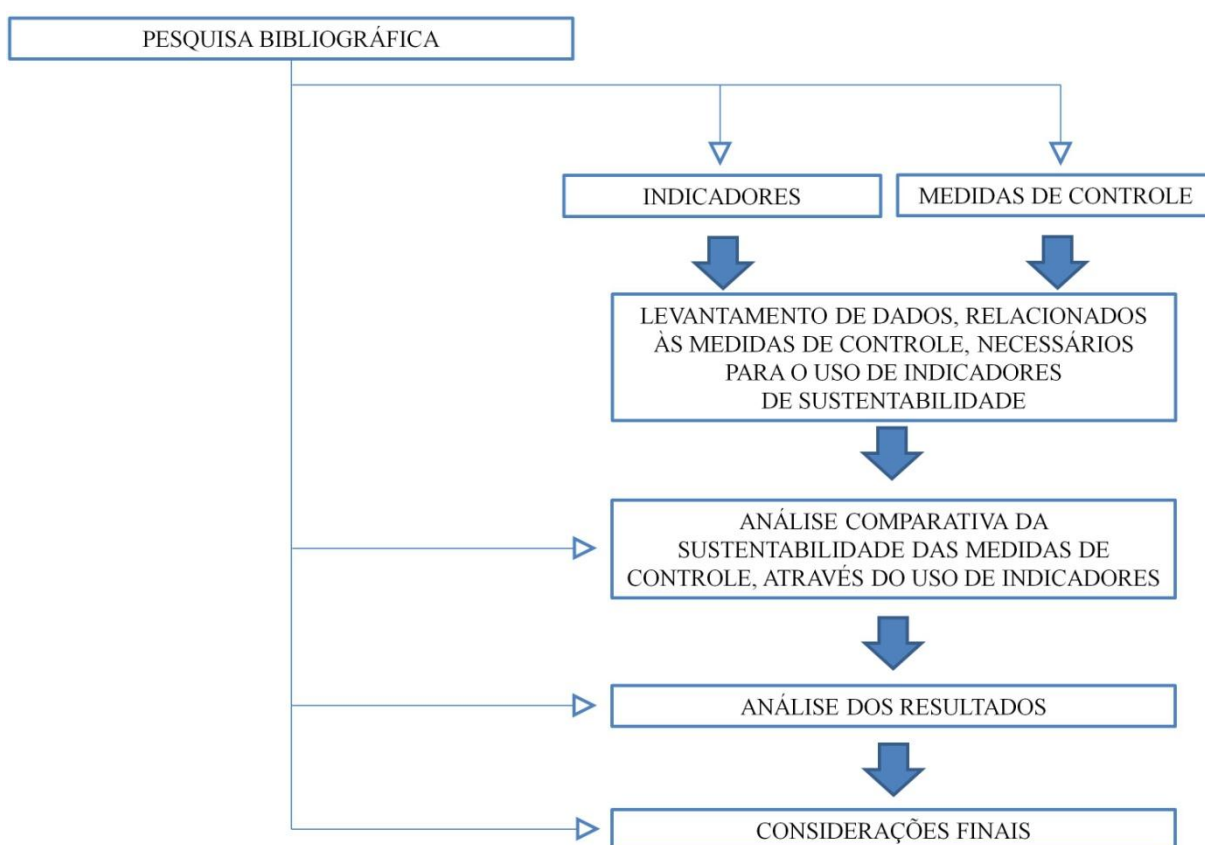
- a) pesquisa bibliográfica;
- b) seleção das medidas de controle;
- c) identificação dos indicadores e dos dados das medidas de controle para aplicá-los;
- d) levantamento de dados necessários para o uso de indicadores de sustentabilidade;
- e) avaliação do grau de sustentabilidade das medidas de controle, através do uso de indicadores;
- f) análise dos resultados;
- g) considerações finais.

O trabalho iniciou com a pesquisa bibliográfica, sendo esta efetuada ao longo de todo o projeto. Esta etapa tem por objetivo desenvolver o embasamento teórico para a realização do trabalho proposto, que neste caso atentou para o desenvolvimento urbano, seus impactos causados e preocupação para que aconteça de forma sustentável, bem como o uso de indicadores para escolha das melhores medidas de controle do escoamento pluvial. Foi realizada por meio de consulta a livros, artigos científicos, trabalhos de conclusão de cursos de graduação, teses e dissertações.

A segunda etapa consistiu na escolha das medidas de controle a serem estudadas no trabalho. Foram escolhidas duas medidas de controle, sendo obras já implantadas com a finalidade de reduzir a geração de escoamento pluvial superficial e assim contribuir para minimização de alagamentos, na cidade de Porto Alegre.

O passo seguinte foi a seleção dos indicadores a serem adotados como critério de comparação entre as medidas de controle escolhidas, a partir do conjunto de indicadores propostos por Castro (2002, 2007) e Moura (2004). Os indicadores podem ser adaptados quando necessário, a fim de retratar as reais condições das medidas de controle do escoamento pluvial implantadas na cidade.

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

A quarta etapa corresponde ao levantamento de dados, relacionados às medidas de controle do escoamento pluvial, necessários para o uso de indicadores de sustentabilidade adotados. Aspectos como objetivo, impacto e inserção da obra foram considerados para a execução da etapa seguinte. Posteriormente, foi realizada a análise comparativa da sustentabilidade das medidas de controle adotadas, através do uso dos indicadores selecionados nas etapas anteriores. Essa avaliação foi importante para a análise dos resultados da pesquisa.

A análise dos resultados ocorreu após a avaliação realizada na etapa anterior. Por fim, foram feitas as considerações finais e verificação do alcance dos objetivos propostos neste trabalho.

### **3 DESENVOLVIMENTO URBANO E DRENAGEM: BREVE HISTÓRICO E IMPACTOS**

O crescimento populacional, juntamente com o avanço da tecnologia e a ocupação acelerada de áreas urbanas, são algumas das principais causas de impactos sobre a sociedade e o meio ambiente. O desenvolvimento econômico de um país acaba atraindo a população, que antes vivia em zonas rurais, para os grandes centros urbanos, resultando em um aumento do consumo dos recursos naturais existentes, afetando diretamente a biodiversidade natural (TUCCI, 2007, p. 29). Nos próximos itens, é apresentado um breve histórico do desenvolvimento urbano e os impactos causados pela urbanização.

#### **3.1 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO URBANO**

Ao longo da história da humanidade, a ocupação do espaço urbano vem ocorrendo de forma rápida e sem o devido planejamento, ficando as primeiras aglomerações geralmente localizadas ao longo dos cursos d'água. Essa tendência era explicada pela necessidade do homem de adquirir seu próprio alimento, através da pesca e da irrigação de suas plantações, e da realização de sua higiene pessoal. A proximidade com os recursos hídricos também era justificada pela possibilidade de navegação, favorecendo as relações comerciais com outras cidades, além de ser importante para as atividades artesanais (BAPTISTA et al., 2005, p. 15).

Em períodos de riscos de cheias dos rios, habitar essas zonas inundáveis tornava-se extremamente perigoso. Tucci (2007, p. 128-129) salienta que a ocupação do solo ocorria, primeiramente, em lugares mais altos, livre do perigo de inundações. As zonas inundáveis começaram a ser ocupadas, geralmente, por uma população de baixa renda, como consequência do desenvolvimento urbano das cidades e a falta de conhecimento no risco que essas zonas trariam, ocasionando prejuízos relacionados tanto a perdas humanas quanto materiais.

Apesar dos riscos, as inundações já eram esperadas e desejadas pela população, pois suas águas tornavam as terras férteis, favorecendo o plantio. As edificações de culto da Religião Católica, por exemplo, raramente eram afetadas pelas cheias, tendo em vista que era uma

construção muito valorizada na época, e por essa razão era construída em locais seguros, mostrando que já havia um planejamento para ocupações dessas áreas inundáveis (TUCCI, 2007, p. 129).

As inundações, que antes afetavam somente as populações que ocupavam as proximidades dos rios, acabaram por afetar, em função da planialtimetria das cidades e da diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, áreas localizadas ao longo das linhas naturais de escoamento. Isso ocorreu pelo fato de que não havia um planejamento para a ocupação do solo, nem mesmo uma legislação e fiscalização adequada (RIGHETTO et al., 2009, p. 20).

Com o desenvolvimento das cidades, a população rural começou a migrar para os grandes centros urbanos, e as principais consequências dessa mobilização estão relacionadas diretamente com a drenagem urbana. A impermeabilização do solo e a subtração da cobertura vegetal natural do terreno são alguns exemplos de geradores de impacto consequentes da ocupação do espaço urbano, sendo descritos, entre outros, a seguir.

## 3.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA URBANIZAÇÃO

Os maiores efeitos causados pela urbanização nos recursos hídricos são em relação à impermeabilização das superfícies e as alterações nos processos do balanço hídrico. A cobertura vegetal natural facilita a infiltração da água, chegando aos seus lençóis freáticos mais facilmente, e a construção sobre esse tipo de solo, sem as devidas precauções, acaba por dificultar essa infiltração.

Tucci (2007, p. 185) corrobora que “A ocupação urbana exige impermeabilizar superfícies e quando isto ocorreu aumentou a vazão e a tendência foi de transportar água adicional para jusante, sem recuperação das funções de infiltração e armazenamento do solo.”. Nos itens seguintes, são apresentados os impactos causados pela urbanização quanto à impermeabilização do solo e as mudanças no fluxo do balanço hídrico.

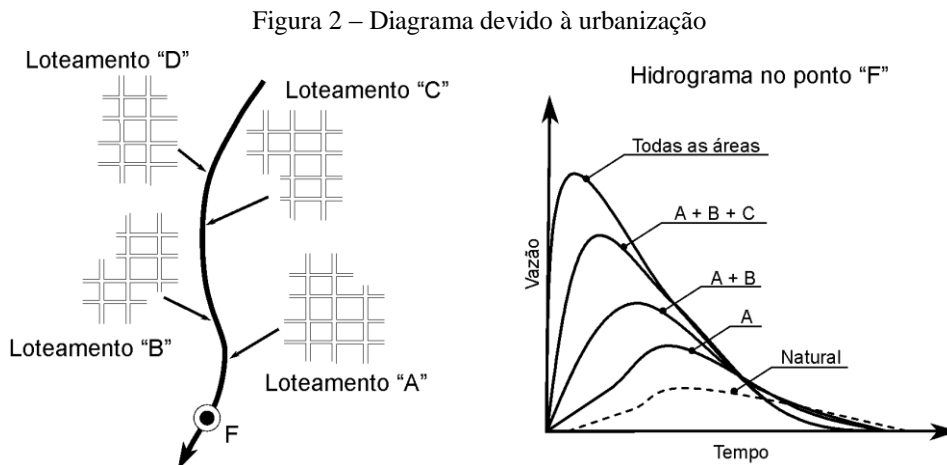
### 3.2.1 Impermeabilização das superfícies

Tucci (2007, p. 90-91) afirma que a impermeabilização dos solos é uma das consequências mais visíveis da urbanização, podendo acarretar no aumento do escoamento superficial, redução do tempo de concentração e recarga dos aquíferos, além da alteração das principais

variáveis climáticas, como a radiação solar, temperatura e precipitação. O tempo de concentração é definido por Tucci (2007, p. 90) como sendo “[...] o tempo que leva o escoamento superficial se deslocar do ponto mais extremo até a seção de saída da bacia hidrográfica.”.

A redução da recarga dos aquíferos, causada pela impermeabilização do solo, pode interferir diretamente em municípios que utilizam essas águas para abastecimento humano, além da possibilidade de formação de depressões no terreno, prejudicando as construções civis (CASTRO, 2007, p. 10). Os lençóis freáticos são de extrema importância para a população em áreas urbanas, por ser uma importante fonte de água doce para o aproveitamento humano.

O aumento da velocidade do escoamento superficial faz com que diminua o tempo de concentração na bacia, ocasionando um aumento nas vazões de pico (TUCCI, 2007, p. 186). A figura 2 apresenta um diagrama de uma bacia antes e depois da ocorrência da urbanização. Evidencia-se o aumento das vazões de pico, ocorrendo em um tempo menor em comparação à bacia natural.



(fonte: TUCCI, 2007, p. 186)

Em relação às alterações climáticas locais, Tucci (2007, p. 91-92) realça que, com os pavimentos dos grandes centros urbanos sendo compostos de concreto e asfalto como principais elementos, a absorção da energia devido à radiação solar acaba se tornando muito maior, pelo fato de suas cores serem, em geral, mais escuras, aumentando também a emissão de radiação térmica, elevando a temperatura ambiente. O aumento da temperatura nos centros

urbanos diferencia-se da sua periferia, podendo acarretar em um aumento nas precipitações onde se tem maior área impermeabilizada.

### **3.2.2 Mudanças no fluxo do balanço hídrico**

De um ponto de vista geral, o fluxo do balanço hídrico começa pela transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre, na forma de precipitação. Uma parte desse volume precipitado é retida pela cobertura vegetal natural do terreno, em folhas e caules, até que atinjam sua capacidade máxima de absorção. Em hidrologia este processo é denominado de interceptação vegetal, ou simplesmente, interceptação. A parcela que não é interceptada atinge o solo e percola pelos poros existentes, sendo parte absorvida pelas raízes dos vegetais, que as devolvem na forma de transpiração, e parte absorvida no solo até atingirem o lençol freático (SILVEIRA, 1993, p. 36-37).

Quando o solo fica saturado, a água em excesso começa a escoar, dando início ao escoamento superficial. Tucci (2007, p. 87) afirma que a substituição da superfície natural do terreno prejudica a infiltração de água no solo, sendo esse escoamento levado à jusante através de condutos, podendo ocasionar efeitos físicos e ambientais.

No Brasil, têm-se dificuldades em obter estudos que englobem os impactos da urbanização no escoamento dos cursos d'água, tendo a maioria deles somente a preocupação de resolver problemas já existentes, deixando de analisar o que levou a provocá-los. Estudos mais aprofundados em relação aos impactos da urbanização no fluxo do balanço hídrico poderiam solucionar diversos problemas, contribuindo no controle de drenagem urbana, orientando a implementação de sistemas de drenagem mais adequados (CASTRO, 2007, p. 7-8).



## **4 MEDIDAS DE CONTROLE NO GERENCIAMENTO DA DRENAGEM URBANA**

O crescimento populacional causou muitos impactos no meio ambiente. A ocupação do solo tinha como objetivo suprir as necessidades momentâneas, causando a escassez dos recursos naturais, e assim comprometendo as gerações futuras.

Nas últimas décadas, a preocupação com os problemas ambientais e os riscos ocasionados pelos alagamentos acabou ficando em evidência. Castro (2007, p. 34) afirma que “[...] o crescente foco da mídia em relação a questões ambientais tem levado à conscientização da população em busca de discussões e soluções para esses problemas, o que reflete em uma grande demanda pela valorização da paisagem urbana e da melhoria da qualidade da água.”. Essa preocupação fez surgir a ideia de medidas de controle de inundações vinculadas a um sistema urbano sustentável, a fim de minimizar os impactos no meio ambiente e amenizar as consequências no futuro.

A escolha da melhor medida de controle a ser implantada em determinado local pode ser realizada através do uso de indicadores. As medidas de controle e os indicadores são descritos nos próximos itens.

### **4.1 MEDIDAS DE CONTROLE**

As medidas de controle têm por objetivo minimizar as consequências das inundações geradas pelos problemas na ocupação do espaço urbano. Righetto et al. (2009, p. 28) enfatizam que:

O manejo da água pluvial no meio urbano deve proporcionar qualidade de vida aos cidadãos, reduzindo a um nível aceitável os riscos de inundação oriundos da impermeabilização do solo. Ao mesmo tempo, o uso sustentável da água envolve a elaboração de políticas de uso e ocupação do solo, com cenários de desenvolvimento e planejamento estratégico de médio e longo prazo. Nesse contexto, a concepção de sistemas destinados a reduzir os efeitos da urbanização na quantidade e qualidade da água escoada tem como objetivo aumentar o armazenamento, reduzindo o lançamento de deflúvios e da carga de poluição difusa. Nas últimas décadas, a crescente necessidade de enfrentar os problemas da água pluvial no meio urbano fez surgir o conceito de sistemas não convencionais de controle na fonte, com ênfase no manejo sustentável da água de drenagem. Esses sistemas compreendem medidas que estabelecem soluções práticas para o problema dos deflúvios urbanos, com a

implantação de sistemas de controle próximo ao local de geração do deflúvio, e ainda envolvem medidas estruturais e não estruturais.

#### 4.1.1 Medidas de controle estruturais

De acordo com Tucci (2007, p. 143), as medidas de controle estruturais são obras de Engenharia que visam reduzir o risco de alagamentos. Podem-se dividir em medidas extensivas e intensivas.

As medidas estruturais extensivas são técnicas utilizadas para reduzir os alagamentos, efetuando-se um aumento na cobertura vegetal do terreno, favorecendo a capacidade de interceptação do volume de água precipitado, dificultando, assim, o escoamento superficial e aumentando a evapotranspiração. Esses métodos geram melhores resultados em bacias hidrográficas pequenas, sendo esses resultados positivos quando se tem uma precipitação frequente de alto risco de ocorrência. O controle de erosão do solo e o reflorestamento são outros tipos de medidas extensivas, também contribuindo para a redução dos impactos dos alagamentos (TUCCI, 2007, p. 143-144).

As medidas estruturais intensivas são aquelas que agem nos rios, e o seu controle difere dependendo do tipo de obra implantada. Essas construções podem ser do tipo: reservatórios, onde se retém parte da água ocorrida pela inundação, reduzindo o pico do hidrograma e o impacto a jusante; diques ou *polders*, obras nas quais a finalidade é a proteção das áreas ribeirinhas contra inundações, através de muros laterais construídos a uma certa distância das margens; modificadores dos rios, efetuando um aumento da seção transversal ou aumentando a velocidade de escoamento, reduzindo a frequência de ocorrência de alagamentos (TUCCI, 2007, p. 148-155).

Righetto et al. (2009, p. 37-43) mencionam algumas das principais medidas de controle estruturais:

- a) bacias de detenção: dispositivos que impedem que as águas oriundas das inundações alcancem áreas situadas a jusante, detendo parte do escoamento a montante, esvaziando-se nos intervalos de chuvas e podendo ser usadas como áreas de recreação, quando completamente vazias;
- b) bacias de retenção: além de reter parte do escoamento gerado pelas águas da chuva, esses sistemas permitem o tratamento dessa água coletada;

c) bacias de infiltração: semelhantes às bacias de detenção secas, essas bacias filtram a água decorrente das chuvas, através de um dispositivo situado na entrada da estrutura, podendo essa água ser usada na recarga do aquífero;

d) vala de infiltração: é uma vala escavada no solo, revestida de manta geotêxtil e preenchida com brita. Pode-se instalar um dispositivo de drenagem a fim de reter sedimentos oriundos do deflúvio;

e) pavimento permeável: sua implantação facilita a entrada de água nos solo, reduzindo o efeito da impermeabilização sobre a drenagem. Necessita manutenção periódica, podendo ser executada através de jateamento de ar ou água ou varredura a vácuo.

#### **4.1.2 Medidas de controle não estruturais**

As medidas de controle não estruturais permitem, juntamente com as medidas estruturais, a diminuição dos prejuízos causados pelos períodos de cheias dos rios, além de serem técnicas com menores custos de implantação no controle de inundações (TUCCI, 1993, p. 629). Tucci (2007, p. 141) salienta que a combinação de medidas estruturais e não estruturais minimizam ainda mais os riscos de inundações, proporcionando uma convivência harmônica entre a população e os recursos hídricos.

As medidas não estruturais são de grande importância para manutenção da drenagem urbana. Elas dependem muito mais da conscientização da população quanto ao uso racional do espaço urbano, manutenção dos elementos estruturais, e dependem de uma legislação e fiscalização apropriada para que se obtenham os resultados esperados (RIGHETTO et al., 2009, p. 21).

Righetto et al. (2009, p. 31-37) descrevem algumas das medidas não estruturais de controle quali-quantitativo de escoamento na fonte:

a) participação da comunidade: a conscientização da população é estimulada por programas educativos, modificando padrões de conduta errôneos em relação à conduta não sustentável de uso da água;

b) equipe técnica capacitada: a implantação da rede de drenagem urbana deve preservar as condições naturais da bacia;

c) manutenção dos dispositivos de infiltração: através da varrição das ruas, coleta de resíduos sólidos, limpeza dos sistemas de filtração;

d) telhado verde: o planejamento de uma estrutura deste tipo auxilia na redução do escoamento e favorece a evapotranspiração através da evaporação da água do solo e a transpiração das plantas;

- e) manuseio e armazenamento de produtos tóxicos: conscientização e fiscalização para evitar contato de produtos tóxicos com a água;
- f) manutenção do revestimento de vias: evitar o aparecimento de trincas e a degradação do pavimento, a fim de conter a ação erosiva das chuvas e do escoamento na camada de base do solo.

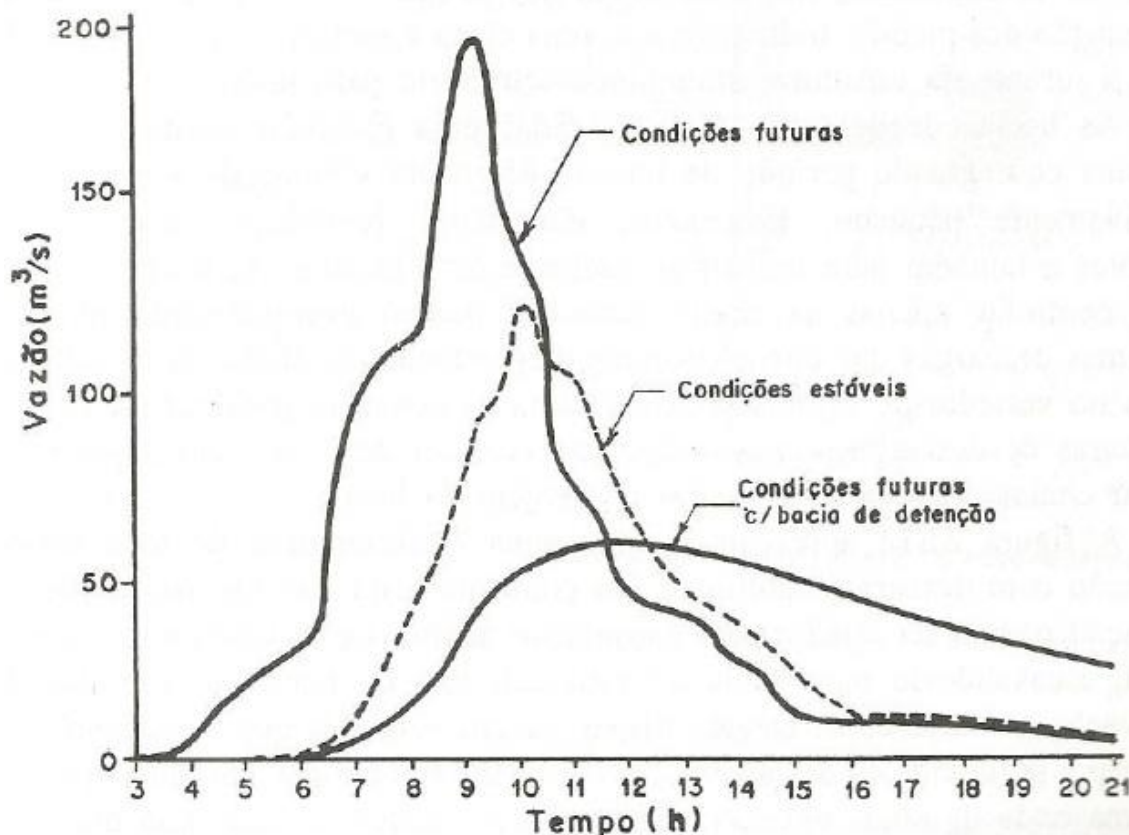
Neste trabalho, são avaliados os graus de sustentabilidade de duas medidas de controle estruturais, sendo uma bacia de detenção e um pavimento permeável. Os próximos itens apresentam algumas das características importantes dessas medidas de controle, para um melhor embasamento teórico sobre o assunto.

## 4.2 BACIA DE DETENÇÃO

As bacias (ou reservatórios) de detenção são obras de Engenharia que tem por objetivo amenizar os problemas relacionados a alagamentos, causados pelo processo de urbanização. O amortecimento de cheias era o principal objetivo dos primeiros experimentos realizados com esse dispositivo no Brasil. Sua estrutura se baseia em um volume de espera, em que as águas oriundas dos escoamentos superficiais são armazenadas ou infiltradas, uma estrutura de descarga no fundo e um vertedor de emergência (BAPTISTA et al., 2005, p. 115). Os autores ainda reforçam que “No Brasil, como em vários países, há uma considerável experiência acumulada de emprego de bacias de detenção em contexto urbano, com início em meados do século passado.”.

Castro (2007, p. 37) define bacia de detenção como sendo “[...] obras hidráulicas de drenagem urbana com a finalidade de reservar e/ou infiltrar as águas pluviais, determinando o rearranjo temporal e/ou a redução das vazões escoadas.”. Atualmente, as bacias de detenção buscam uma visão integrada com o espaço urbano. A ideia de usos múltiplos do espaço destinado ao armazenamento das águas nos períodos de cheias, através da criação, por exemplo, de espaços de lazer, vem sendo considerada na concepção dos projetos (BAPTISTA et al., 2005, p. 116). A figura 3 representa, através do hidrograma típico de bacias de detenção, os resultados atingidos pela implantação desse dispositivo que, segundo Porto et al. (1993, p. 838), “[...] reduzem as vazões de pico dos hidrogramas das cheias, aumentando seu tempo de base.”.

Figura 3 – Hidrograma típico de bacias de detenção



(fonte: PORTO et al., 1993, p. 839)

#### 4.2.1 Tipos de reservatórios de detenção

Baptista et al. (2005, p. 117) definem bacia de detenção como sendo:

[...] toda estrutura com função de armazenamento temporário de águas de escoamento de origem pluvial, e sua eventual infiltração, localizada em contexto urbano, dentro dos seguintes limites dimensionais:

- a) estruturas com maior capacidade de armazenamento que os estacionamentos reservatório, as valetas e os telhados reservatório, que igualmente desempenham função de armazenamento, não se classificando, entretanto, na categoria de bacias de detenção;
- b) reservatórios ou barragens destinados ao amortecimento de cheias ou que possam desempenhar funções de amortecimento de cheias, porém localizados fora do contexto urbano.

As bacias de detenção podem ser classificadas, quanto à forma, em bacias a céu aberto e subterrâneas ou cobertas. As bacias a céu aberto podem ser subdivididas em bacias a céu aberto com espelho d'água permanente, bacias secas e bacias de zonas úmidas, sendo a

principal diferença a ocorrência permanente ou não de água no espaço reservado para o armazenamento (BAPTISTA et al., 2005, p. 118). Os reservatórios a céu aberto possuem menores custos e uma maior facilidade de manutenção, se comparados às bacias subterrâneas ou cobertas.

As bacias secas são divididas, conforme mostram Baptista et al. (2005, p. 118-119), em bacias:

- a) secas com fundo impermeabilizado ou não: utiliza-se a impermeabilização para evitar o contato da água subterrânea com poluentes oriundos das águas de escoamento superficial;
- b) de infiltração: as águas pluviais são infiltradas no solo, não possuindo um controle de saída.

Do ponto de vista hidrológico, as bacias de retenção podem ainda receber denominações específicas, como bacias de tempestades, de decantação e de amortecimento. Os seus principais objetivos são, respectivamente: reter temporariamente parte do escoamento da rede a montante, armazenando a água durante todo o evento de precipitação; decantação de sedimentos; controle de cheias e poluição de origem pluvial (BAPTISTA et al., 2005, p. 119-120). Castro (2007, p. 38) ressalta que “No que se refere a alterações no regime hidrológico, a construção de bacias de retenção permite que as vazões restituídas possam se aproximar daquelas observadas para a bacia em seu estado natural.”.

#### **4.2.2 Funções complementares das bacias de retenção**

A implantação das bacias de retenção no espaço urbano, com lâmina d'água ou secas, pode acarretar a indevida utilização pela população, quando não projetadas para isso, devido a uma falta de informação e aceitação de regras de uso em zonas mais pobres. Porém, já existem bacias de retenção multifuncionais, proporcionando áreas de lazer e/ou reservas ecológicas. Como principais usos multifuncionais empregados pelas bacias de retenção, têm-se as bacias com espelho d'água permanente e as bacias secas, que podem fazer parte do projeto paisagístico e urbanístico, com a valorização da água no espaço urbano, ou fornecer uma área destinada à própria população, com praças e quadras esportivas. O uso complementar das bacias de retenção permite a diluição do investimento em infraestrutura e manutenção, uma vez que o custo do solo urbano é elevado (BAPTISTA et al., 2005, p. 123-124).

O tipo de bacia a ser analisada neste trabalho é uma bacia de detenção seca, a céu aberto. Castro (2007, p. 39) realça os impactos positivos desse tipo de bacia como sendo:

- a) o choque no curso de água receptor é evitado, com a restituição lenta das águas a jusante;
- b) as matérias em suspensão sedimentam-se, devendo, no entanto, ser retiradas pela manutenção logo após o período chuvoso.

### 4.2.3 Definição dos locais dos reservatórios

A localização de reservatórios de detenção, em áreas muito urbanizadas, depende do espaço a ser ocupado pelo reservatório e do benefício que ela trará para a região. Em áreas de pouco valor, os locais para a implantação do dispositivo de detenção priorizam o relevo natural do terreno, a fim de estimular o desenvolvimento da localidade (TUCCI; GENZ, 1995, p. 310).

Segundo Baptista et al. (2005, p. 136):

A análise dos locais com potencial para a implantação de bacias de detenção é realizada segundo critérios físicos, urbanísticos, econômicos e ambientais. Esses critérios orientam, igualmente, a escolha do tipo de detenção (com espelho d'água, seca, subterrânea) e dos usos complementares eventualmente a implementar.

## 4.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Os pavimentos permeáveis consistem em uma técnica para amenizar os alagamentos causados pela urbanização, principalmente relacionados à redução da capacidade de infiltração de água no solo. Tucci (2007, p. 202) salienta que esses dispositivos devem ser utilizados apenas em lugares de pouco tráfego de pessoas e veículos, para que sua estrutura não se deforme ou se torne impermeável. Porém, Baptista et al. (2005, p. 216) enfatizam que:

A simples adoção de pavimentos com superfície permeável ou semipermeável, por si só, não representa um ganho significativo para os sistemas de drenagem. Sua combinação com a adoção de uma estrutura de pavimento porosa, permitindo a reserva temporária das águas pluviais em seu interior, com possibilidades de infiltração, podem melhorar significativamente o controle da produção de escoamentos em zona urbana.

Na França, os primeiros pavimentos porosos começaram a ser executados no início de 1960. No final de 1970, empresas de rodovias já questionavam o uso do pavimento impermeável tradicional utilizado nas estradas, baseando-se no fato de que a segurança ao dirigir em dias

de chuvas, em pavimentos porosos, aumentava significativamente, em função da aderência dos pneus. Em 1977, diversos experimentos começaram a ser realizados com o uso de pavimento poroso, confirmando a ideia de uma maior segurança e conforto ao dirigir em dias de chuvas, além da redução de ruídos, no contato pneu-pavimento, percebidos pelos usuários das rodovias. A técnica de asfalto poroso teve um desenvolvimento significativo, na França, a partir de 1987, podendo também ser encontrados estudos nos Estados Unidos, Japão e Suécia (AZZOUT et al., c1994, p. 65-66).

Acioli (2005, p. 8) reitera que os principais motivos que levaram a implantação dos pavimentos permeáveis são:

- a) o aumento das superfícies impermeáveis, devido ao rápido crescimento populacional do pós-guerra, sobrecarregou os sistemas de drenagem existentes, levando a frequentes inundações urbanas;
- b) a drenagem da água evita a formação de poças no pavimento, o que aumenta a segurança e o conforto para dirigir durante eventos chuvosos;
- c) o reduzido nível de emissão de ruídos em comparação com o pavimento convencional, o que ajuda a diminuir a poluição sonora nas cidades.

### 4.3.1 Tipos de pavimentos

Em relação ao controle do escoamento superficial, os pavimentos podem ser classificados em três diferentes tipos, citados por Baptista et al. (2005, p. 216) como sendo:

- a) pavimentos dotados de revestimentos superficiais permeáveis, possibilitando a redução da velocidade do escoamento superficial, a retenção temporária de pequenos volumes na própria superfície do pavimento e a infiltração de parte das águas pluviais;
- b) pavimentos dotados de estrutura porosa, onde é efetuada a detenção temporária das águas pluviais, provocando o amortecimento de vazões e a alteração no desenvolvimento temporal nos hidrogramas;
- c) pavimentos dotados de estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração, onde ocorre tanto a detenção temporária das águas pluviais como também a infiltração de parte delas. Obtém-se assim o amortecimento de vazões, a alteração temporal nos hidrogramas e a redução dos volumes efetivamente escoados.

Baptista et al. (2005, p. 218) ainda subdividem os pavimentos dotados de estrutura porosa, nos quais é efetuada a detenção temporária das águas pluviais, em:



- a) pavimentos porosos de retenção com injeção direta, dotados de revestimentos permeáveis.
- b) pavimentos porosos de retenção com injeção localizada, dotados de revestimentos impermeáveis;

Esses tipos de pavimentos podem ser de concreto ou de asfalto, com a remoção dos materiais finos da mistura, ou de blocos vazados (TUCCI, 2007, p. 202). Cada um desses tipos de pavimentos tem suas próprias especificidades, devendo ser implantados a fim de favorecer a drenagem urbana.

### 4.3.2 Vantagens e limitações

Castro (2002, p. 11) descreve algumas das vantagens da utilização de pavimentos porosos como sendo:

- a) filtração dos poluentes;
- b) redução dos níveis sonoros;
- c) melhor aderência à circulação de veículos;
- d) redução do risco de aquaplanagem;
- e) melhor aspecto visual, devido à ausência de poças d'água.

Azzout et al. (1994, p. 67) ressaltam ainda algumas vantagens, como por exemplo, a redução dos custos relacionados com a drenagem pluvial, podendo ser reduzidos ou eliminados alguns elementos tradicionais para drenagem urbana (boca de lobo, calhas, sarjetas, etc.). Baptista et al. (2005, p. 219) acrescentam que os custos dos pavimentos porosos, atualmente, são equivalentes aos pavimentos tradicionais, através do desenvolvimento de técnicas adequadas de construção. A redução dos custos dos pavimentos porosos se dá ao fato de que se pode evitar a implantação de alguns sistemas de drenagem pluvial tradicionais.

Castro (2002, p. 12) alega que, como um dos inconvenientes causados pelo uso de pavimentos com estrutura de reservação, “[...] pode ser destacado o risco de poluição do aquífero, nos casos onde ocorre a infiltração das águas.”. Porém, Baptista et al. (2005, p. 221-222) afirmam que, nos pavimentos porosos, ocorre uma redução significativa de grande parte dos poluentes,

em geral os sólidos em suspensão, que ficam retidos no corpo da estrutura, aumentando a qualidade das águas infiltradas.

A retenção de sólidos suspensos, além de poeira, folhas, dejetos de animais e outros materiais que são arrastados pelo escoamento superficial, podem causar a colmatação dos pavimentos permeáveis (BAPTISTA et al., 2005, p. 222-223). A utilização do pavimento poroso não é recomendada em rótulas ou curvas acentuadas, devido ao fato de que o cisalhamento gerado pelo contato com os pneus acaba por arrancar partículas do próprio pavimento, provocando o entupimento dos poros e, assim, favorecendo a colmatação (AZZOUT et al., c1994, p. 86). Castro (2002, p. 13) ressalta que “O efeito da colmatação é o principal problema em relação aos pavimentos porosos. Com o fenômeno da colmatação, os poros superficiais são entupidos, fazendo com que estes pavimentos percam suas principais características e propriedades.”

## 5 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE APLICADOS À DRENAGEM URBANA

A utilização de indicadores auxiliam a decisão de implementação de medidas de controle do escoamento pluvial, para que se possa interferir positivamente em alguns aspectos sociais, econômicos e ambientais. Segundo Castro (2007, p. 97):

Os indicadores são componentes essenciais no estudo global do progresso, em relação ao desenvolvimento sustentável, tendo sido aplicados com grande frequência nos últimos anos. No entanto, há diversas definições conhecida para eles, sem um consenso entre os estudiosos na área. Pode-se perceber ambiguidade e algumas contradições dentre as diversas conceituações existentes.

Moura (2004, p. 12) resume indicador como sendo um parâmetro que fornece informações simples de fenômenos complexos, podendo ser aplicados em períodos diferentes. Dentre as diferentes definições para os indicadores, Castro (2007, p. 98) acrescenta que o indicador é qualquer variável que expresse informações relevantes sobre determinado atributo, para a tomada de decisão perante a comunidade. Nos próximos itens, são abordadas algumas características, o uso e a proposição dos indicadores de sustentabilidade aplicados a medida de controle do escoamento.

### 5.1 CARACTERÍSTICAS

Os indicadores são caracterizados, segundo Castro (2002, p. 27-28), nos seguintes aspectos:

- a) indicadores quantitativos e qualitativos: na maioria das vezes, usam-se indicadores quantitativos;
- b) necessidade de interligação entre os indicadores: as relações existentes entre diferentes indicadores, por exemplo, ambientais e econômicos, auxiliam nas etapas de obtenção de dados, simplificando problemas complexos relacionados ao desenvolvimento sustentável ou ao planejamento de recursos hídricos;
- c) não limitação à variação temporal: é importante que diversas variáveis relacionadas às alternativas de projeto devam ser avaliadas pelos indicadores, não somente as mudanças ao longo do tempo;
- d) integração no julgamento dos analistas nos valores dos indicadores: o julgamento que se dá à importância dos indicadores pode ser de forma subjetiva,

através de valores explícitos ou implícitos. Os valores explícitos são baseados nos próprios indicadores, e escolhidos conscientemente. Já os valores implícitos são muito relativos, não sendo muito claros, tornando a sua utilização viável ou não, na avaliação global.

## 5.2 USO DE INDICADORES

De acordo com Castro (2007, p. 101):

A principal finalidade dos indicadores é de ajudar e aperfeiçoar o processo de tomada de decisão em diferentes níveis. Os usuários dos indicadores podem variar bastante socialmente, geograficamente ou culturalmente, dependendo da escala do empreendimento em estudo. Um dos importantes aspectos a serem considerados na construção e desenvolvimento dos indicadores trata de fazer com que eles sejam apropriados, aceitáveis e conclusivos aos olhos da comunidade envolvida e afetada pelo empreendimento.

Os indicadores devem analisar se as medidas adotadas estão melhorando ou piorando em termos de desenvolvimento sustentável e impactos ambientais, sociais e econômicos. Para isso, devem reproduzir a realidade de uma maneira confiável, podendo haver a calibração para melhores resultados. Castro (2002, p. 28) enfatiza que “[...] os indicadores devem ser transparentes, de forma que seus valores e significados possam ser entendidos e discutidos por todos.”. Van Bellen (2002, p. 32) reforça que “Os indicadores são de fato um modelo da realidade, mas não podem ser considerados como a própria realidade, entretanto devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia coerente de mensuração.”.

Em termos de sustentabilidade, Van Bellen (2002, p. 32) reflete que:

A grande maioria dos sistemas de indicadores existentes e utilizados foi desenvolvida por razões específicas: são indicadores ambientais, econômicos, de saúde e sociais e não podem ser considerados indicadores de sustentabilidade em si mesmos. Entretanto, esses indicadores muitas vezes possuem um potencial representativo dentro do contexto do desenvolvimento sustentável.

Van Bellen (2002, p. 34) ainda ressalta que, em termos de sustentabilidade, os julgamentos de um determinado valor fornecido pelos indicadores podem ser explícitos ou implícitos. Os julgamentos de valores explícitos estão relacionados com os valores implícitos, e são feitos de uma forma racional. A avaliação de um indicador pode estar relacionada a: preferências visuais; limitações legais ou a partir de alguma meta desejada; variação de pesos atribuídos para os diferentes indicadores. Os julgamentos implícitos dependem muito mais da cultura e

da maneira de pensar de determinada sociedade, sendo difíceis de estabelecer sua influência na formulação de indicadores.

### 5.3 PROPOSIÇÃO DE INDICADORES

Castro (2002, p. 38) escolheu os critérios a serem adotados para comparar diferentes medidas de controle da drenagem urbana, através do uso de indicadores. Esses critérios foram: objetivo; impactos da obra e inserção da obra. A partir dos critérios escolhidos, entre uma série de indicadores, definiram-se os que proporcionam a melhor comparação entre as medidas de controle implantadas, devendo ser de fácil entendimento pela população afetada por esses novos empreendimentos. Moura (2004, p. 19) acrescenta que:

Os indicadores pertinentes à avaliação tiveram dois caracteres: quantitativo, quando foram definidas expressões de cálculo para os mesmos, e qualitativo, onde foi estabelecida uma escala de 7 níveis, sendo eles, em ordem crescente: Grande Piora, Sensível Piora, Pequena Piora, Indiferente, Pequena Melhora, Sensível Melhora, Grande Melhora.

#### 5.3.1 Indicador: Objetivo

Castro (2002, p. 39-40) utiliza o indicador de atendimento para avaliar o objetivo principal da obra implantada. As fórmulas 1 e 2 definem a forma de cálculo desse indicador, utilizando o tempo de retorno previsto no projeto e o tempo de retorno desejável, mostrando que, se:

$$T_R \geq T_{RD} \Rightarrow I_0 = 1,0 \quad (\text{fórmula 1})$$

$$T_R < T_{RD} \Rightarrow I_0 = \frac{T_R}{T_{RD}} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$T_R$  = tempo de retorno de projeto (anos);

$T_{RD}$  = tempo de retorno desejável (anos);

$I_0$  = indicador de atendimento da obra.

O mesmo autor ainda lembra que:

Nesse caso, o valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1, uma vez que o projeto de um sistema de drenagem tem sempre a finalidade de melhorar a situação da área. Um valor negativo para este indicador significaria uma situação oposta ao que se pretende desenvolver, ou seja, um prejuízo para a área.

### 5.3.2 Indicador: Impactos da Obra

Os indicadores desenvolvidos para o critério de impactos da obra foram referentes aos aspectos hidrológicos, sanitários e no que diz respeito à qualidade das águas. O indicador que representa os impactos da obra é formado pela relação entre esses três aspectos citados (CASTRO, 2002, p. 40-41). Estes aspectos são descritos nos próximos itens.

#### 5.3.2.1 Aspectos hidrológicos

Em relação aos aspectos hidrológicos, o mesmo autor divide os seus indicadores no que diz respeito a impactos sobre as vazões a jusante e recarga do aquífero. O indicador que defini os impactos sobre as vazões a jusante tem por objetivo comparar as alternativas propostas para o controle de drenagem. As fórmulas 3 e 4 mostram as condições para esses indicadores, no caso em que se deseja manter uma vazão mínima a jusante. Sempre é previsto um impacto positivo nessas condições, no intervalo entre 0 e 1:

$$Q_{JUS} \geq Q_{ALVO} \Rightarrow I_{H1} = 1,0 \quad (\text{fórmula 3})$$

$$Q_{JUS} < Q_{ALVO} \Rightarrow I_{H1} = \frac{Q_{JUS}}{Q_{ALVO}} \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

$Q_{JUS}$  = vazão mínima a escoar a jusante segundo a alternativa estudada (L/s);

$Q_{ALVO}$  = vazão alvo a ser mantida a jusante (L/s);

$I_{H1}$  = indicador hidrológico relacionado ao impacto sobre as vazões à jusante.

As fórmulas 5 e 6 representam o caso em que se tem um valor máximo a ser mantido para as vazões desejadas a jusante, sendo as condições para os indicadores descritas a seguir:

$$Q_{JUS} \leq Q_{ALVO} \Rightarrow I_{H1} = 1,0 \quad (\text{fórmula 5})$$

$$Q_{JUS} > Q_{ALVO} \Rightarrow I_{H1} = \frac{Q_{ALVO}}{Q_{JUS}} \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

$Q_{JUS}$  = vazão máxima a escoar à jusante, segundo a alternativa estudada (L/s);

$Q_{ALVO}$  = vazão alvo a ser mantida a jusante (L/s);

$I_{H1}$  = indicador hidrológico relacionado ao impacto sobre as vazões a jusante.

Sempre é previsto um impacto positivo nessas condições, no intervalo entre 0 e 1. Castro (2002, p. 41) ainda acrescenta que “Se a vazão alvo a ser mantida a jusante tiver um limite mínimo e máximo, a avaliação referente às vazões a jusante deverá ser feita a partir da média [...] [entre os indicadores citados anteriormente], mantendo-se no mesmo intervalo [0;1].”.

Segundo Moura (2004, p. 21), o indicador relacionado à recarga do aquífero pode ser calculado através da fórmula 7, limitada ao valor 1,0, da seguinte maneira:

$$I_{H2} = \frac{Q_{INF} - Q_{NAT}}{Q_{NAT}} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

$I_{H2}$  = indicador hidrológico relacionado à recarga do aquífero;

$Q_{INF}$  = vazão infiltrada segundo a alternativa escolhida (L/s);

$Q_{NAT}$  = vazão infiltrada sem a ocorrência da urbanização (L/s).

Moura (2004, p. 21-22) permite simplificar os cálculos nos casos em que as áreas de infiltração forem homogêneas e as cargas hidráulicas forem iguais, utilizando as áreas de infiltração ao invés das vazões infiltradas. A fórmula 8 mostra essa simplificação:

$$I_{H2} = \frac{A_{INF} - A_{NAT}}{A_{NAT}} \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

$I_{H2}$  = indicador hidrológico relacionado à recarga do aquífero;

$A_{INF}$  = área de infiltração segundo a alternativa escolhida (m<sup>2</sup>);

$A_{NAT}$  = área de infiltração sem a ocorrência da urbanização (m<sup>2</sup>).

### 5.3.2.2 Aspectos sanitários

Moura (2004, p. 22) define dois indicadores para representar os aspectos sanitários, sendo eles a possibilidade de transmissão de doenças e a possibilidade de proliferação de insetos. As avaliações são feitas de forma qualitativa, por serem de difícil representação quantitativa.

A possibilidade de transmissão de doença é definida pelo indicador  $I_{S1}$ , e Castro (2002, p. 42) ressalta ainda que:

[...] a avaliação proposta por esse indicador ( $I_{S1}$ ) é de forma subjetiva, devendo ser realizada pelo decisor de acordo com a influência de cada alternativa de projeto para o sistema de drenagem a ser adotado [...]. Sua avaliação, sendo subjetiva, variará, segundo os níveis informados anteriormente, de uma grande piora, aumentando bastante a possibilidade de transmissão de doenças, até uma grande melhora, significando que a obra proposta proporcionará uma grande redução na possibilidade de transmissão de doenças.

A possibilidade de proliferação de insetos é definida pelo indicador  $I_{S2}$ , que mede o impacto que o sistema para o controle de drenagem acarretará. A grande preocupação é com os insetos vetores de doenças, podendo haver a melhora ou a piora de sua proliferação (CASTRO, 2002, p. 42). Moura (2004, p. 22) enfatiza ainda que “A avaliação desse aspecto deve ser feita de forma qualitativa, a partir da análise dos principais fatores intervenientes, variando na escala



proposta de uma grande piora a uma grande melhora, conforme as possibilidades associadas a cada alternativa analisada.”.

#### 5.3.2.3 Aspectos sobre a qualidade da água

Castro (2002, p. 43-44) divide a avaliação desse aspecto em indicadores relacionados a impactos nas águas:

- a) superficiais: avalia a poluição que a implantação do sistema de drenagem pode vir a causar nas águas pluviais, de uma maneira qualitativa;
- b) subterrâneas: avalia a contaminação das águas infiltradas no solo, afetando o lençol freático, de uma maneira qualitativa.

### 5.3.3 Indicador: Inserção da Obra

O critério inserção da obra é dividido em aspectos ambientais e sociais. Os indicadores que avaliam esses aspectos são, respectivamente,  $I_A$  e  $I_{SC}$  (CASTRO, 2002, p. 44).

#### 5.3.3.1 Ambiental ( $I_A$ )

Os indicadores que avaliam o impacto ambiental causado pela inserção da obra se referem à criação e preservação de habitats e ao impacto paisagístico (CASTRO, 2002, p. 44). No que tange a criação e preservação de habitats, o autor descreve que:

[...] devem ser também consideradas as áreas ecologicamente aptas ou favoráveis à revitalização, criadas a partir da implantação de um determinado sistema de drenagem. Este aspecto é importante de ser considerado, uma vez que estas novas áreas, que serão a partir de então de preservação, deverão abrigar ecossistemas com uma diversidade compatível com as condições naturais do meio.

Moura (2004, p. 44-45) define que “A avaliação para este critério, realizada por meio de expressão de cálculo, considera a relação entre o que se denominou área ecologicamente apta antes e após a intervenção relativa ao empreendimento.”. A fórmula 9 exemplifica o que foi dito, através da condição:

$$I_{A1} = \frac{A_{APTA2} - A_{APTA1}}{A_{APTA1}} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$I_{A1}$  = indicador ambiental relacionado à preservação e criação de habitats;

$A_{APTA2}$  = área ecologicamente apta após a implementação do sistema de drenagem proposto ( $m^2$ );

$A_{APTA1}$  = área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem ( $m^2$ ).

Em relação ao impacto paisagístico, Castro (2002, p. 45) alega que:

Esse critério é muito difícil de ser quantificado por meio de expressões matemáticas, devendo ser avaliado pelo decisor, por comparações entre os diversos cenários propostos. A análise das diversas alternativas de projeto em relação ao impacto paisagístico será feita de forma subjetiva pelo decisor, sendo que o valor do indicador  $I_{A2}$  deve estar sempre contido no intervalo da escala proposta de avaliação, variando de uma grande piora à grande melhora, que significaria a adequação completa da alternativa estudada aos planos diretores e leis do uso e ocupação do solo para a área do empreendimento.

### 5.3.3.2 Social ( $I_{SC}$ )

O indicador social está relacionado: à criação de áreas de recreação, lazer e novos equipamentos urbanos; a impactos nas condições de circulação do sistema; a possibilidade da utilização do empreendimento para o desempenho de outras funções e os efeitos da desapropriação de áreas. A forma de avaliação desses indicadores pode ser realizada de forma qualitativa ou quantitativa, dependendo do tipo de indicador (CASTRO, 2002, p. 45-48)

Em termos de criação de áreas de recreação, lazer e novos equipamentos urbanos, Moura (2004, p. 24) cita que, “A avaliação do indicador em questão se dá por meio de expressão de cálculo relacionando as áreas referentes à recreação e lazer antes e depois da implantação do sistema de drenagem [...]”. O cálculo é feito através da fórmula 10:

$$I_{SC1} = \frac{A_{RL2} - A_{RL1}}{A_{RL1}} \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

$I_{SCI}$  = indicador social relacionado à criação de áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos;

$A_{RL2}$  = área referente à recreação, lazer e equipamento urbanos, após a implementação do sistema proposto ( $m^2$ );

$A_{RL1}$  = área referente à recreação, lazer e equipamento urbanos, antes da implementação do sistema de drenagem ( $m^2$ ).

Moura (2004, p. 24) ressalta ainda que, nos casos em que não existia área para recreação, lazer e equipamentos urbanos, a avaliação é feita para a alternativa em que sua implementação gere o maior impacto positivo. A fórmula 11 exemplifica esse cálculo:

$$I_{SCI} = \frac{A_{RL}}{A_{\max RL}} \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

$I_{SCI}$  = indicador social relacionado à criação de áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos;

$A_{RL}$  = área criada referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem ( $m^2$ );

$A_{\max RL}$  = maior área, dentre as diversas alternativas, referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem ( $m^2$ ).

Quanto ao impacto nas condições de circulação, Moura (2004, p. 25) disserta que “A utilização de diferentes técnicas de drenagem urbana pode causar um impacto benéfico ou prejudicial às condições de circulação de veículos e pessoas. Sua avaliação deve ser feita de forma qualitativa, considerando os principais fatores intervenientes.”.

Castro (2002, p. 47-48) descreve que, para a possibilidade da utilização do empreendimento para o desempenho de outras funções técnicas:

A avaliação deste indicador ( $I_{SC3}$ ) deverá ser feita pelo decisor por meio de análise das diversas alternativas de projeto, verificando a possibilidade da sua utilização para o desempenho de outras funções, além daquelas para as quais foram previstas. A escala utilizada será de análise subjetiva, sendo que, no entanto, sua análise não poderá ser negativa, variando da indiferença à grande melhora, nos casos em que a alternativa proposta puder desempenhar muitas outras funções técnica e trazer grandes benefícios à área, além da drenagem e o controle de inundações.

Para a desapropriação de áreas, Castro (2002, p. 48) afirma que os impactos sociais perante essa medida é sempre negativo. A fórmula 12 mostra a maneira de se calcular esse indicador, sendo que, quanto maior a área a ser desapropriada, mais negativo será o impacto:

$$I_{SC4} = \frac{A_{\max DES} - A_{DES}}{A_{\max DES}} \quad (\text{fórmula 12})$$

Onde:

$I_{SC4}$  = indicador social relacionado à desapropriação de áreas;

$A_{\max DES}$  = maior valor, dentre as alternativas estudadas, para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem ( $m^2$ );

$A_{DES}$  = área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto ( $m^2$ ).

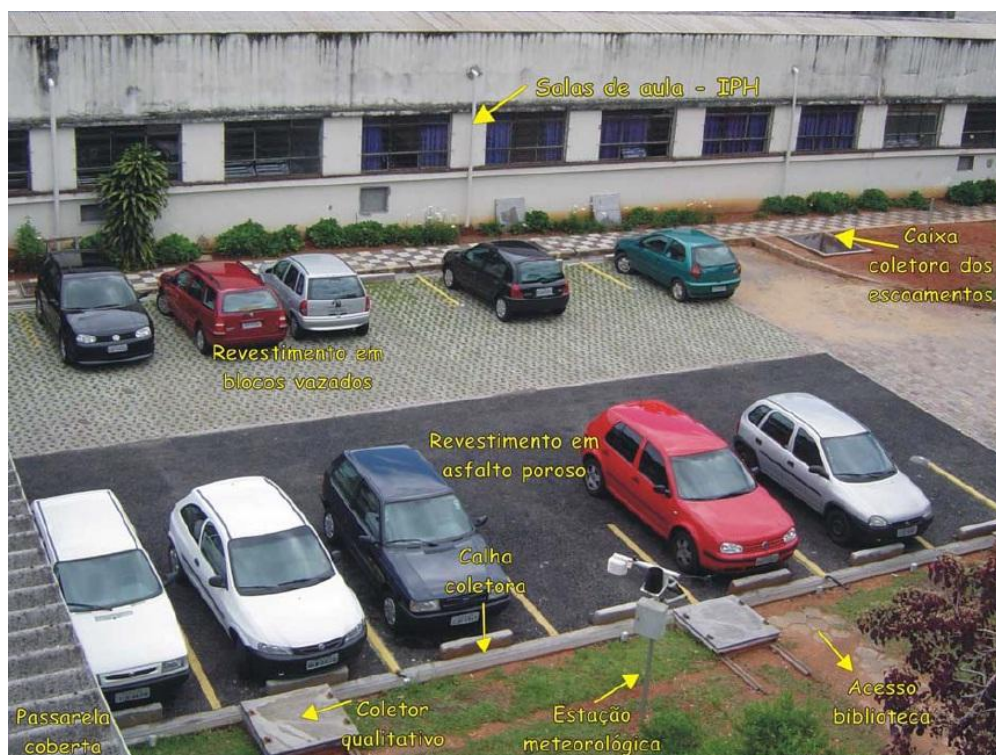
## 6 ESTRUTURAS DE CONTROLE SELECIONADAS

A presente pesquisa consiste na análise comparativa de duas estruturas de controle estruturais, sendo um pavimento permeável, localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e uma bacia de retenção, localizada na Rua Osório Tuyuti de Oliveira Freitas. A caracterização e a análise dessas estruturas são feitas nos itens a seguir, juntamente com o levantamento dos parâmetros quantitativos e qualitativos referente a cada medida de controle em estudo.

### 6.1 PAVIMENTO PERMEÁVEL

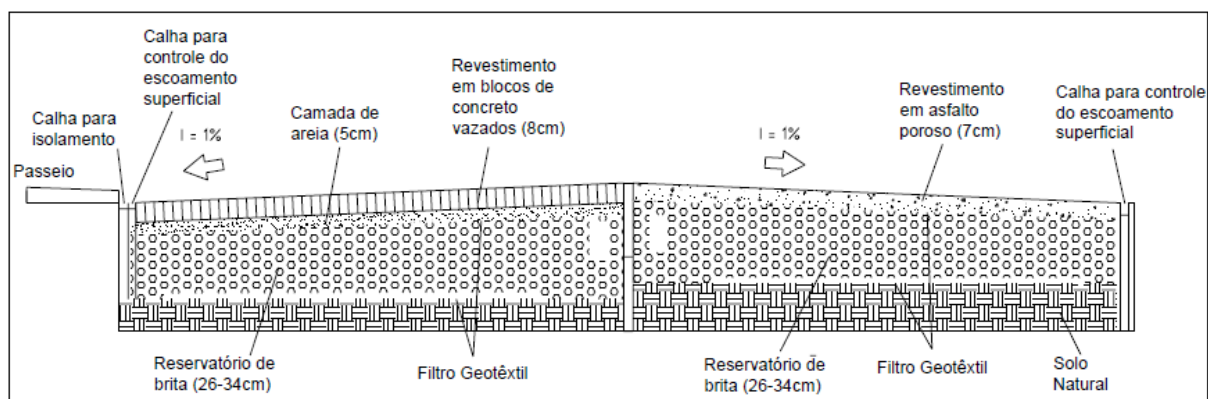
O pavimento permeável utilizado na aplicação dos indicadores de sustentabilidade localiza-se no estacionamento para veículos leves, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Segundo Acioli (2005), a área em estudo possui 132 m<sup>2</sup>, com capacidade para 8 automóveis, sendo utilizado um asfalto poroso pré-misturado a frio para a camada superior de revestimento, com espessura de 7 cm. Possui uma camada de reservatório constituída de material granular poroso, com altura variando de 26 cm a 34 cm. Uma manta geotêxtil foi inserida entre as camadas, para que não houvesse perda de material para as camadas subjacentes. Anterior à implantação dessa estrutura de controle, a área já era utilizada como estacionamento, com um revestimento em blocos de granito, e não havia acesso rotineiro de veículos pesados. O pavimento ainda possui uma calha para controle do escoamento superficial, fazendo incidir somente as águas provenientes das chuvas em sua superfície. A figura 4 apresenta o pavimento permeável analisado, e a figura 5 detalhes de sua seção transversal.

Figura 4 – Pavimento permeável analisado



(fonte: ACIOLI, 2005, p. 40)

Figura 5 – Seção transversal do pavimento



(fonte: ACIOLI, 2005, p. 40)

## 6.2 BACIA DE DETENÇÃO

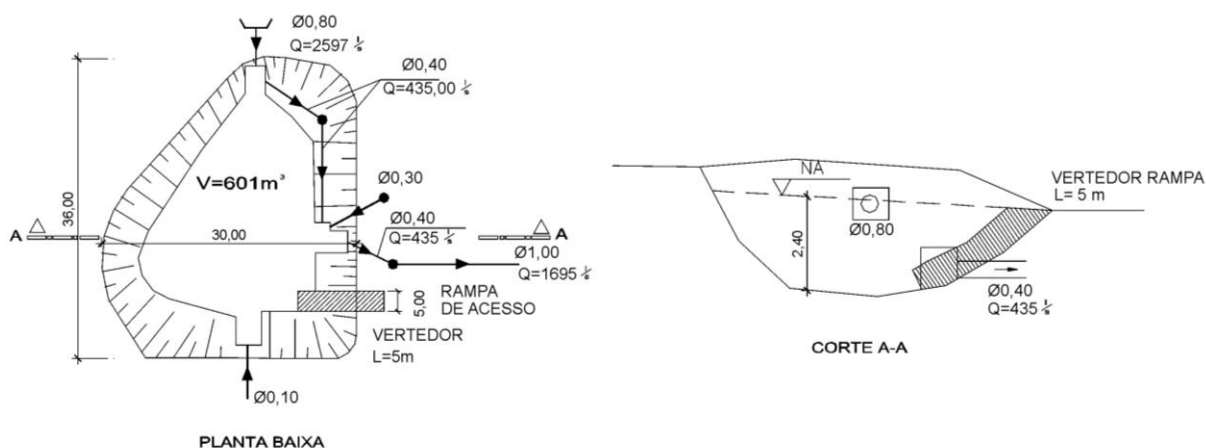
Localizada na Rua Osório Tuyuti de Oliveira Freitas, bairro Três Figueiras, no município de Porto Alegre, a estrutura de controle utilizada na aplicação dos indicadores de sustentabilidade tem, segundo Carmona (2008), as seguintes características:

- a) sem ocorrência permanente das águas provenientes de chuvas;

- b) tipo de ocupação urbana residencial;
- c) reservatório aberto, em grama;
- d) não serve para outro tipo de uso;
- e) limpeza dos sólidos realizada após chuvas intensas.

A figura 6 ilustra a planta baixa e o corte da bacia de detenção. Detalhes como volume, diâmetros das tubulações, vertedouro, profundidade do reservatório, vazões de entrada e saída podem ser melhores analisados. A figura 7 mostra a bacia de detenção em funcionamento, com uma lâmina d'água, após um evento de chuva.

Figura 6 – Planta baixa e corte da bacia de detenção



(fonte: CARMONA, 2008, p. 81)

Figura 7 – Bacia de detenção em funcionamento



(fonte: fotos cedidas por JOEL AVRUCH GOLDENFUM)

### 6.3 PARÂMETROS QUANTITATIVOS

Com base nos dados necessários para determinação dos indicadores selecionados, os parâmetros quantitativos analisados no trabalho são:

- a) tempo de retorno desejável ( $T_{RD}$ );
- b) tempo de retorno de projeto ( $T_R$ );
- c) vazão máxima a escoar a jusante ( $Q_{JUS}$ );
- d) vazão alvo a ser mantida a jusante ( $Q_{ALVO}$ );
- e) vazão infiltrada segundo a alternativa escolhida ( $Q_{INF}$ );
- f) vazão infiltrada sem a ocorrência da urbanização ( $Q_{NAT}$ );
- g) área ecologicamente apta após a implementação do sistema de drenagem proposto ( $A_{APTA2}$ );
- h) área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem proposto ( $A_{APTA1}$ );
- i) área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, após a implantação do sistema proposto ( $A_{RL2}$ );
- j) área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, antes da implantação do sistema proposto ( $A_{RL1}$ );



- l) maior valor para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem ( $A_{\max\text{DES}}$ );
- m) área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto ( $A_{\text{DES}}$ ).

Para o pavimento permeável, o Decreto n. 18.611 (PORTO ALEGRE, 2014) define alguns desses parâmetros, como o período de retorno desejável ( $T_{\text{RD}}$ ) de 10 anos, e a vazão alvo a ser mantida a jusante ( $Q_{\text{ALVO}}$ ) de 0,27 L/s. Acioli (2005) adota o período de retorno de projeto ( $T_{\text{R}}$ ) como sendo 10 anos, calcula o valor obtido para vazão máxima a escoar a jusante ( $Q_{\text{JUS}}$ ) de 0,1 L/s, e o valor obtido para a vazão infiltrada sem a ocorrência da urbanização ( $Q_{\text{NAT}}$ ) de 0,2 L/s. O dimensionamento do reservatório é efetuado utilizando a intensidade máxima de chuva e considerando o tempo crítico da chuva de projeto. Esse tempo crítico foi determinado para obter a máxima diferença entre as curvas de volumes acumulados de entrada e de saída da estrutura de controle, resultando em uma intensidade de chuva máxima de 21 mm/h, e uma vazão infiltrada ( $Q_{\text{INF}}$ ) de 0,7 L/s.

Os indicadores referentes à área ecologicamente apta antes ( $A_{\text{APTA1}}$ ) e após ( $A_{\text{APTA2}}$ ) a implementação do sistema de drenagem proposto foram considerados indiferentes para o trabalho, pois não houve mudança no habitat natural do terreno, em virtude de já existir uma ocupação anterior à implantação da estrutura de controle. Os indicadores referentes às áreas de recreação, lazer e outros equipamentos urbanos, antes ( $A_{\text{RL1}}$ ) e depois ( $A_{\text{RL2}}$ ) da implantação do sistema proposto, e os indicadores relacionados à desapropriação de áreas ( $A_{\max\text{DES}}$  e  $A_{\text{DES}}$ ), também foram considerados indiferentes, pois não houve desapropriação de áreas e impactos nessas áreas. A tabela 1 resume os parâmetros quantitativos para o pavimento permeável.

Tabela 1 – Parâmetros quantitativos para o pavimento permeável

PAVIMENTO PERMEÁVEL	
Tempo de retorno desejável ( $T_{RD}$ )	10 anos
Tempo de retorno de projeto ( $T_R$ )	10 anos
Vazão máxima a escoar a jusante ( $Q_{JUS}$ )	0,1 L/s
Vazão alvo a ser mantida a jusante ( $Q_{ALVO}$ )	0,27 L/s
Vazão infiltrada ( $Q_{INF}$ )	0,7 L/s
Vazão infiltrada sem a ocorrência da urbanização ( $Q_{NAT}$ )	0,2 L/s
Área ecologicamente apta após a implementação do sistema de drenagem proposto ( $A_{APTA2}$ )	-
Área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem proposto ( $A_{APTA1}$ )	-
Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, após a implantação do sistema proposto ( $A_{RL2}$ )	-
Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, antes da implantação do sistema proposto ( $A_{RL1}$ )	-
Maior valor para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem ( $A_{maxDES}$ )	-
Área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto ( $A_{DES}$ )	-

(fonte: elaborada pelo autor<sup>1</sup>)

Para a bacia de detenção, o período de retorno desejável ( $T_{RD}$ ) e o período de retorno de projeto ( $T_R$ ) foram de 10 anos, conforme Decreto n. 18.611 (PORTO ALEGRE, 2014) e o projeto da bacia de detenção, fornecido pelo Departamento de Esgotos Pluviais (trabalho não

<sup>1</sup> Dados obtidos através do Decreto n. 18.611 (PORTO ALEGRE, 2014) e Dissertação de Mestrado (ACIOLI, 2005).

publicado<sup>2</sup>), respectivamente. Segundo Carmona (2008), a vazão máxima a escoar a jusante ( $Q_{JUS}$ ) é de 435 L/s, mesmo valor da vazão alvo a ser mantida ( $Q_{ALVO}$ ). A bacia de detenção em estudo não altera as vazões de infiltração, portanto o indicador referente à recarga do aquífero ( $I_{H2}$ ), cujos parâmetros são a vazão infiltrada com a estrutura já implantada ( $Q_{INF}$ ) e a vazão infiltrada no terreno natural ( $Q_{NAT}$ ), não foi considerado.

Por se tratar de uma bacia de detenção aberta em grama, não houve mudanças significativas no habitat natural do terreno, e o indicador referente à área ecologicamente apta antes ( $A_{APTA1}$ ) e depois ( $A_{APTA2}$ ) da implantação do sistema de drenagem proposto foi considerado indiferente para a análise. Como não houve desapropriação de áreas, assim como impacto nas áreas referentes à recreação, lazer e equipamentos urbanos, esses indicadores ( $I_{SC1}$  e  $I_{SC4}$ ) também foram considerados indiferentes para o trabalho. A tabela 2 resume os parâmetros quantitativos para a bacia de detenção.

---

<sup>2</sup> Informação obtida no projeto da bacia de detenção, fornecido pelo Departamento de Esgotos Pluviais, do município de Porto Alegre, com ordem de início dia 31 de agosto de 2001.

Tabela 2 – Parâmetros quantitativos para a bacia de detenção

BACIA DE DETENÇÃO	
Tempo de retorno desejável ( $T_{RD}$ )	10 anos
Tempo de retorno de projeto ( $T_R$ )	10 anos
Vazão máxima a escoar a jusante ( $Q_{JUS}$ )	435 L/s
Vazão alvo a ser mantida a jusante ( $Q_{ALVO}$ )	435 L/s
Vazão infiltrada ( $Q_{INF}$ )	-
Vazão infiltrada sem a ocorrência da urbanização ( $Q_{NAT}$ )	-
Área ecologicamente apta após a implementação do sistema de drenagem proposto ( $A_{APTA2}$ )	-
Área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem proposto ( $A_{APTA1}$ )	-
Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, após a implantação do sistema proposto ( $A_{RL2}$ )	-
Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, antes da implantação do sistema proposto ( $A_{RL1}$ )	-
Maior valor para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem ( $A_{maxDES}$ )	-
Área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto ( $A_{DES}$ )	-

(fonte: elaborada pelo autor<sup>3</sup>)

## 6.4 PARÂMETROS QUALITATIVOS

Os parâmetros qualitativos já são representados pelos próprios indicadores, e foram definidos por quatro tipos de decisores, sendo representantes:

<sup>3</sup> Dados obtidos através do Decreto n. 18.611 (PORTO ALEGRE, 2014) e projeto da bacia de detenção, fornecido pelo Departamento de Esgotos Pluviais, do município de Porto Alegre, com ordem de início dia 31 de agosto de 2001.

- a) de órgãos e agências ambientais;
- b) dos serviços técnicos municipais;
- c) de empresas de consultoria;
- d) da população afetada.

A escolha por representantes de diferentes áreas foi importante para que fossem obtidas opiniões distintas em relação às medidas de controle analisadas. Cada decisor respondeu a um questionário simples, como apresentado no Apêndice A (adaptado de Castro, 2002), nos quais puderam avaliar o empreendimento de acordo com sua área de interesse e seu conhecimento pessoal, atribuindo valores de -3 a +3, caracterizando uma grande piora ou uma grande melhora, respectivamente, e possibilitando uma maior abrangência de resultados. Os indicadores qualitativos analisados foram:

- a) possibilidade de transmissão de doenças ( $I_{S1}$ );
- b) possibilidade de proliferação de insetos ( $I_{S2}$ );
- c) impactos sobre as águas superficiais ( $I_{S3}$ );
- d) impactos sobre as águas subterrâneas ( $I_{S4}$ );
- e) impacto paisagístico ( $I_{A2}$ );
- f) impacto nas condições de circulação ( $I_{SC2}$ );
- g) possibilidade da utilização do empreendimento para o desempenho de outras funções ( $I_{SC3}$ ).

Para que fosse obtido somente um resultado representativo por grupo, foi calculada a média entre todas as respostas, dentro de cada grupo de decisores. Todos os grupos tiveram a resposta de pelo menos 1 representante, sendo que 7 pessoas responderam o questionário enviado. A tabela 3 e 4 resumem esses resultados para os parâmetros qualitativos do pavimento permeável e da bacia de detenção, respectivamente.

Tabela 3 – Parâmetros qualitativos para o pavimento permeável

<b>INDICADORES</b>	<b>ÓRGÃOS E AGÊNCIAS AMBIENTAIS</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS MUNICIPAIS</b>	<b>EMPRESAS DE CONSULTORIA</b>	<b>POPULAÇÃO AFETADA</b>
<b>Possibilidade de transmissão de doenças (I<sub>S1</sub>)</b>	0,0	0,3	3,0	1,0
<b>Possibilidade de proliferação de insetos (I<sub>S2</sub>)</b>	0,0	0,3	2,0	1,0
<b>Impactos sobre as águas superficiais (I<sub>S3</sub>)</b>	1,0	0,0	2,0	1,0
<b>Impactos sobre as águas subterrâneas (I<sub>S4</sub>)</b>	-1,0	0,0	-1,0	1,0
<b>Impacto paisagístico (I<sub>A2</sub>)</b>	1,5	0,3	3,0	1,0
<b>Impacto nas condições de circulação (I<sub>SC2</sub>)</b>	-1,0	1,3	0,0	2,0
<b>Possibilidade da utilização para outras funções técnicas (I<sub>SC3</sub>)</b>	-0,5	0,7	0,0	0,0

(fonte: elaborada pelo autor<sup>4</sup>)<sup>4</sup> Dados obtidos através de um questionário elaborado pelo autor, respondido por cada decisor.

Tabela 4 – Parâmetros qualitativos para a bacia de detenção

<b>INDICADORES</b>	<b>ÓRGÃOS E AGÊNCIAS AMBIENTAIS</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS MUNICIPAIS</b>	<b>EMPRESAS DE CONSULTORIA</b>	<b>POPULAÇÃO AFETADA</b>
<b>Possibilidade de transmissão de doenças (I<sub>S1</sub>)</b>	-1,5	0,3	-1,0	-1,0
<b>Possibilidade de proliferação de insetos (I<sub>S2</sub>)</b>	-1,5	-1,7	-2,0	-2,0
<b>Impactos sobre as águas superficiais (I<sub>S3</sub>)</b>	1,0	-0,3	0,0	2,0
<b>Impactos sobre as águas subterrâneas (I<sub>S4</sub>)</b>	-1,0	-0,7	0,0	1,0
<b>Impacto paisagístico (I<sub>A2</sub>)</b>	-1,0	-0,3	2,0	-1,0
<b>Impacto nas condições de circulação (I<sub>SC2</sub>)</b>	-0,5	2,0	0,0	1,0
<b>Possibilidade da utilização para outras funções técnicas (I<sub>SC3</sub>)</b>	0,5	0,7	2,0	0,0

(fonte: elaborada pelo autor<sup>5</sup>)<sup>5</sup> Dados obtidos através de um questionário elaborado pelo autor, respondido por cada decisor.

## 7 APLICAÇÃO DOS INDICADORES

Com a obtenção de todos os parâmetros quantitativos e qualitativos necessários, foram calculados os indicadores mediante fórmulas apresentadas nos capítulos anteriores. Para que fossem comparados igualmente em uma mesma figura, foi feita uma alteração de escala nos indicadores que variavam entre -1 e +1 através de uma regra de três simples, para que todos variassem de -3 a +3. A tabela 5 resume essa mudança de escala e apresenta os novos valores para os indicadores quantitativos, e a tabela 6 e 7 apresentam todos os indicadores com seus devidos valores, para o pavimento permeável e a bacia de detenção.

Tabela 5 – Mudança de escala para os indicadores quantitativos aplicáveis no pavimento permeável e na bacia de detenção

INDICADORES	PAVIMENTO PERMEÁVEL	VALORES CORRIGIDOS	BACIA DE DETENÇÃO	VALORES CORRIGIDOS
<b>Objetivo da Obra (<math>I_0</math>)</b>	1,0	3,0	1,0	3,0
<b>Impacto sobre as vazões a jusante (<math>I_{H1}</math>)</b>	1,0	3,0	1,0	3,0
<b>Recarga do aquífero (<math>I_{H2}</math>)</b>	1,0	3,0	0,0	0,0
<b>Criação e preservação de habitats (<math>I_{A1}</math>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Área referente a recreação, lazer e outros equipamentos urbanos (<math>I_{SC1}</math>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Desapropriação de áreas (<math>I_{SC4}</math>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0

(fonte: elaborada pelo autor)



Tabela 6 – Resumo dos indicadores utilizados para o pavimento permeável

<b>PAVIMENTO PERMEÁVEL</b>				
<b>INDICADORES</b>	<b>ÓRGÃOS E AGÊNCIAS AMBIENTAIS</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS MUNICIPAIS</b>	<b>EMPRESAS DE CONSULTORIA</b>	<b>POPULAÇÃO AFETADA</b>
<b>Objetivo da Obra (I<sub>0</sub>)</b>	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Impacto sobre as vazões a jusante (I<sub>H1</sub>)</b>	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Recarga do aquífero (I<sub>H2</sub>)</b>	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Possibilidade de transmissão de doenças (I<sub>S1</sub>)</b>	0,0	0,3	3,0	1,0
<b>Possibilidade de proliferação de insetos (I<sub>S2</sub>)</b>	0,0	0,3	2,0	1,0
<b>Impactos sobre as águas superficiais (I<sub>S3</sub>)</b>	1,0	0,0	2,0	1,0
<b>Impactos sobre as águas subterrâneas (I<sub>S4</sub>)</b>	-1,0	0,0	-1,0	1,0
<b>Criação e preservação de habitats (I<sub>A1</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Impacto paisagístico (I<sub>A2</sub>)</b>	1,5	0,3	3,0	1,0
<b>Área referente a recreação, lazer e outros equipamentos urbanos (I<sub>SC1</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Impacto nas condições de circulação (I<sub>SC2</sub>)</b>	-1,0	1,3	0,0	2,0
<b>Possibilidade da utilização para outras funções técnicas (I<sub>SC3</sub>)</b>	-0,5	0,7	0,0	0,0

continua

continuação

<b>PAVIMENTO PERMEÁVEL</b>				
<b>INDICADORES</b>	<b>ÓRGÃOS E AGÊNCIAS AMBIENTAIS</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS MUNICIPAIS</b>	<b>EMPRESAS DE CONSULTORIA</b>	<b>POPULAÇÃO AFETADA</b>
<b>Desapropriação de áreas (I<sub>SC4</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 7 – Resumo dos indicadores utilizados para a bacia de detenção

<b>BACIA DE DETENÇÃO</b>				
<b>INDICADORES</b>	<b>ÓRGÃOS E AGÊNCIAS AMBIENTAIS</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS MUNICIPAIS</b>	<b>EMPRESAS DE CONSULTORIA</b>	<b>POPULAÇÃO AFETADA</b>
<b>Objetivo da Obra (I<sub>0</sub>)</b>	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Impacto sobre as vazões a jusante (I<sub>H1</sub>)</b>	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Recarga do aquífero (I<sub>H2</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Possibilidade de transmissão de doenças (I<sub>S1</sub>)</b>	-1,5	0,3	-1,0	-1,0
<b>Possibilidade de proliferação de insetos (I<sub>S2</sub>)</b>	-1,5	-1,7	-2,0	-2,0
<b>Impactos sobre as águas superficiais (I<sub>S3</sub>)</b>	1,0	-0,3	0,0	2,0
<b>Impactos sobre as águas subterrâneas (I<sub>S4</sub>)</b>	-1,0	-0,7	0,0	1,0
<b>Criação e preservação de habitats (I<sub>A1</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0

continua

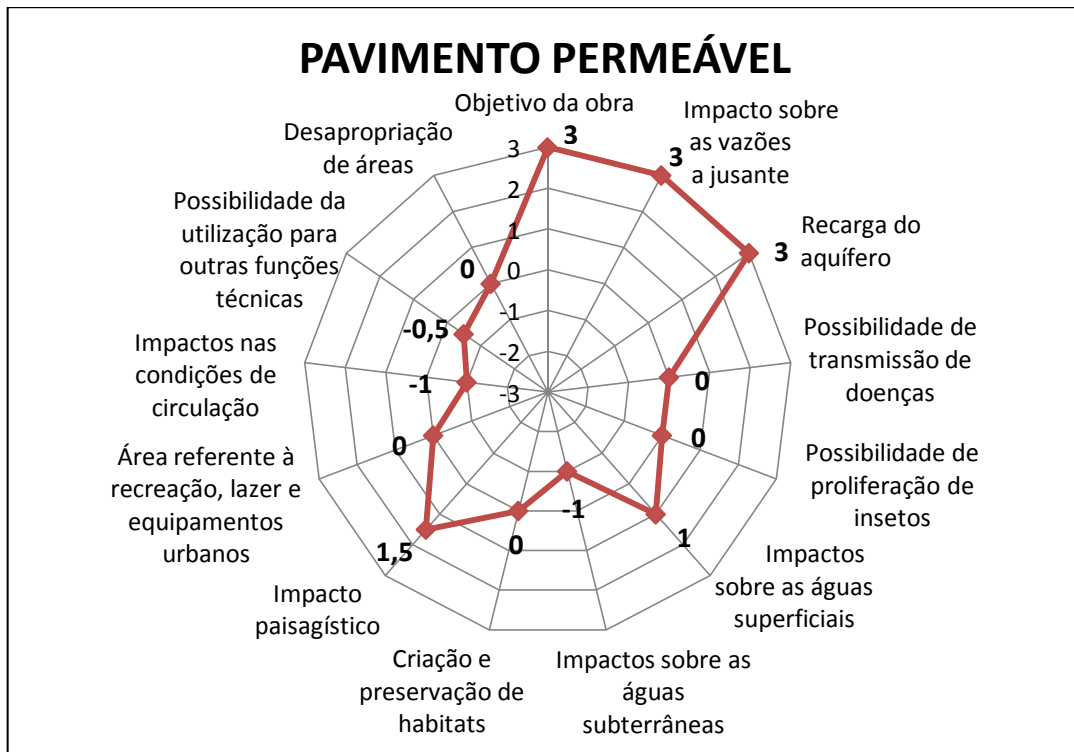
continuação

<b>BACIA DE DETENÇÃO</b>				
<b>INDICADORES</b>	<b>ÓRGÃOS E AGÊNCIAS AMBIENTAIS</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS MUNICIPAIS</b>	<b>EMPRESAS DE CONSULTORIA</b>	<b>POPULAÇÃO AFETADA</b>
<b>Impacto paisagístico (I<sub>A2</sub>)</b>	-1,0	-0,3	2,0	-1,0
<b>Área referente a recreação, lazer e outros equipamentos urbanos (I<sub>SC1</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Impacto nas condições de circulação (I<sub>SC2</sub>)</b>	-0,5	2,0	0,0	1,0
<b>Possibilidade da utilização para outras funções técnicas (I<sub>SC3</sub>)</b>	0,5	0,7	2,0	0,0
<b>Desapropriação de áreas (I<sub>SC4</sub>)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0

(fonte: elaborada pelo autor)

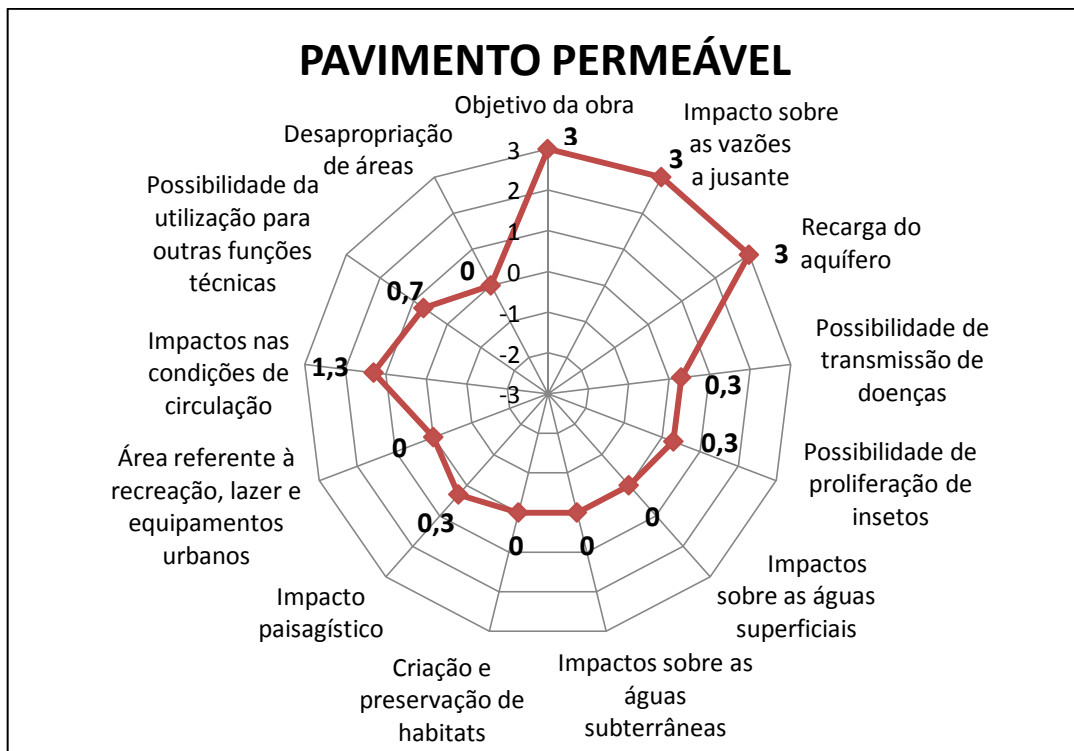
As figuras 8 a 11 apresentam uma melhor visualização e comparação entre o grau de sustentabilidade do pavimento permeável estudado, para cada grupo de decisores, em que os indicadores estão localizados nas extremidades, e uma linha une seus valores, variando entre -3 e +3. As figuras 12 a 15 representam a mesma situação, para a bacia de retenção. Todas as figuras analisadas sugerem que quanto mais pontos estiverem próximos das extremidades, ou seja, próximo do valor +3, maior o grau de sustentabilidade do conjunto de indicadores, e por consequência, da medida de controle analisada.

Figura 8 – Indicadores relacionados aos representantes de órgãos e agências ambientais, para o pavimento permeável



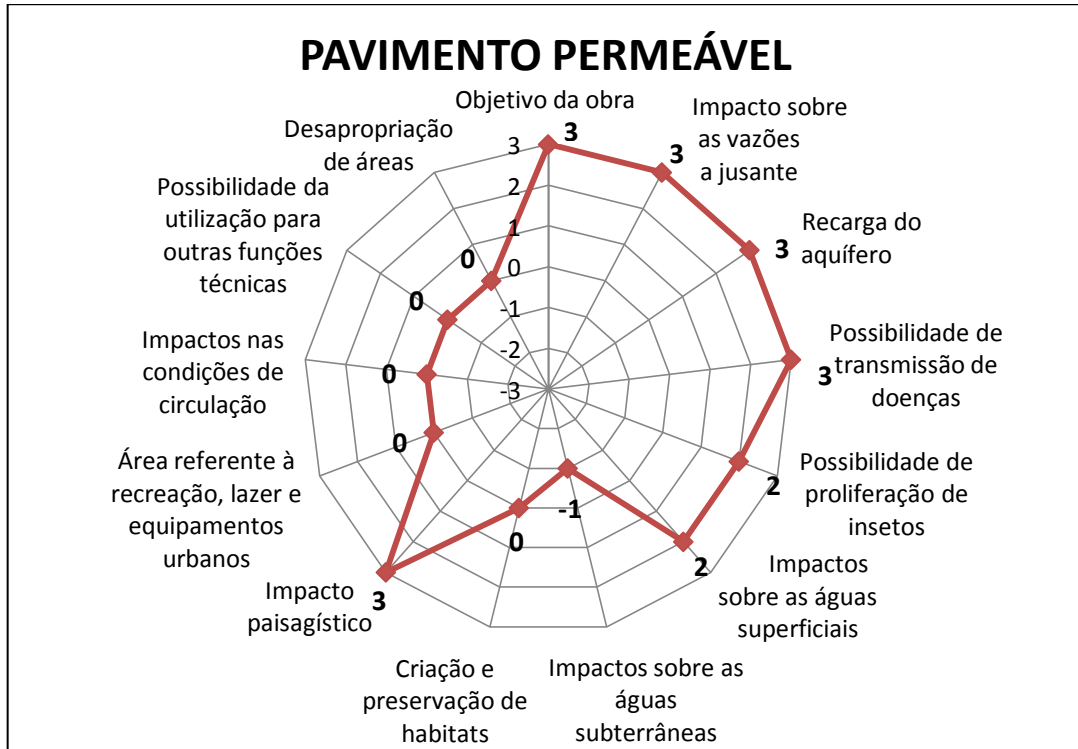
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 9 – Indicadores relacionados aos representantes de serviços técnicos municipais, para o pavimento permeável



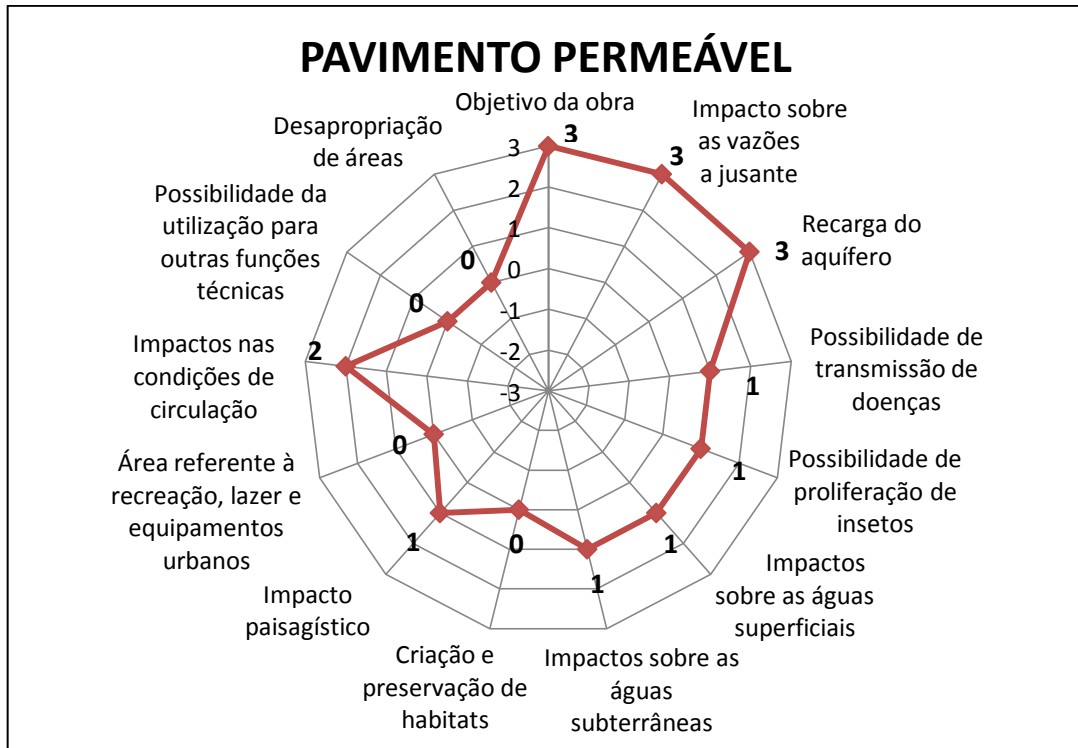
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 10 – Indicadores relacionados aos representantes de empresas de consultoria, para o pavimento permeável



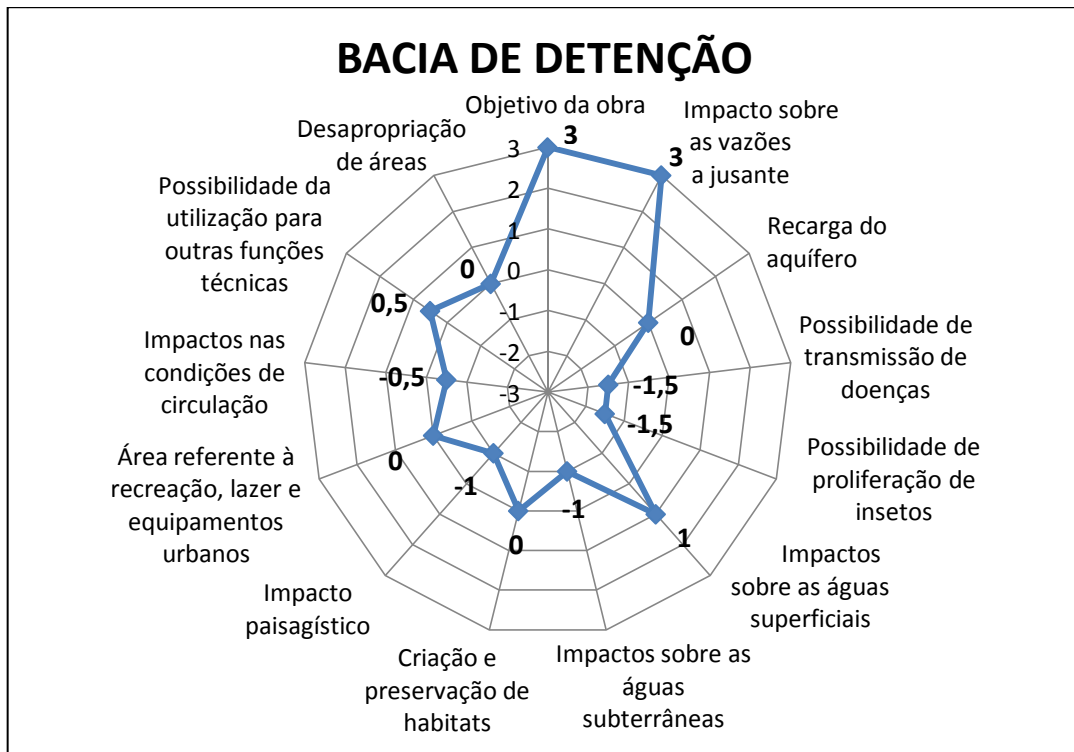
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 11 – Indicadores relacionados aos representantes da população afetada, para o pavimento permeável



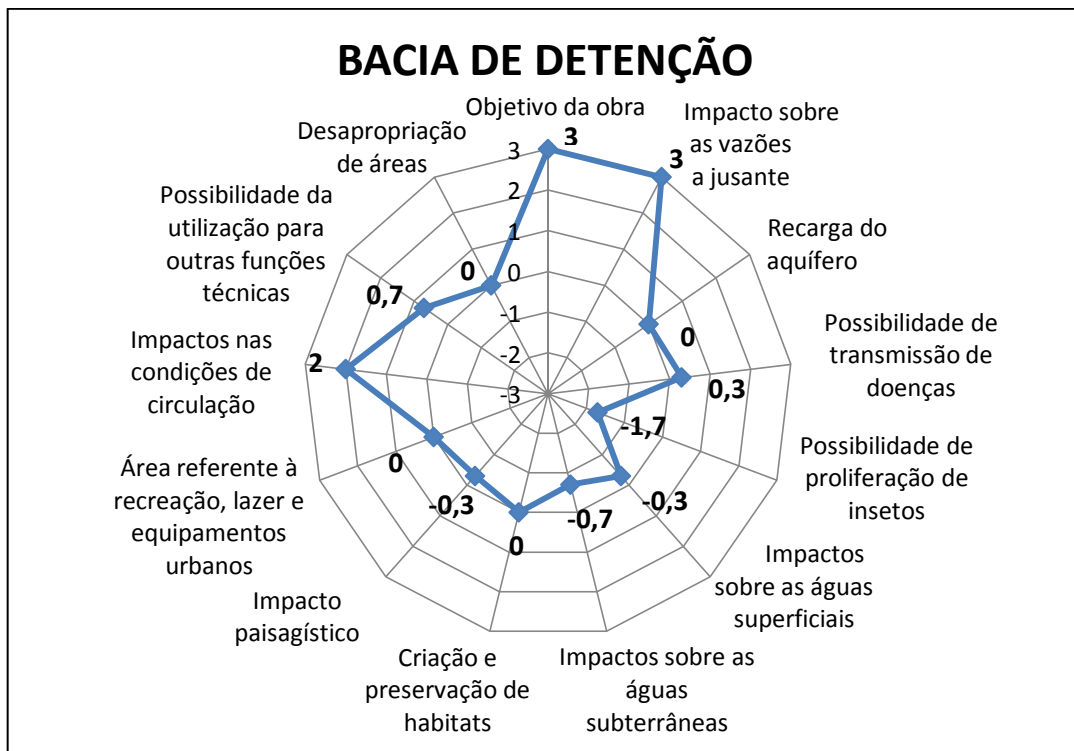
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 12 – Indicadores relacionados aos representantes de órgãos e agências ambientais, para a bacia de detenção



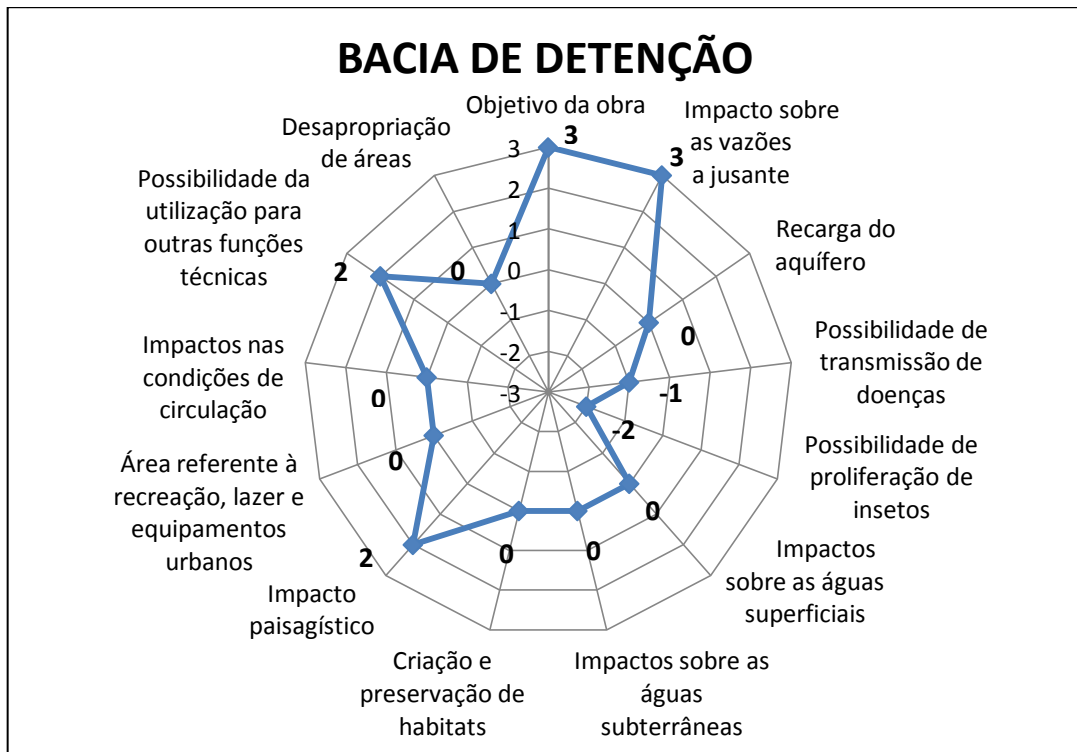
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 13 – Indicadores relacionados aos representantes de serviços técnicos municipais, para a bacia de detenção



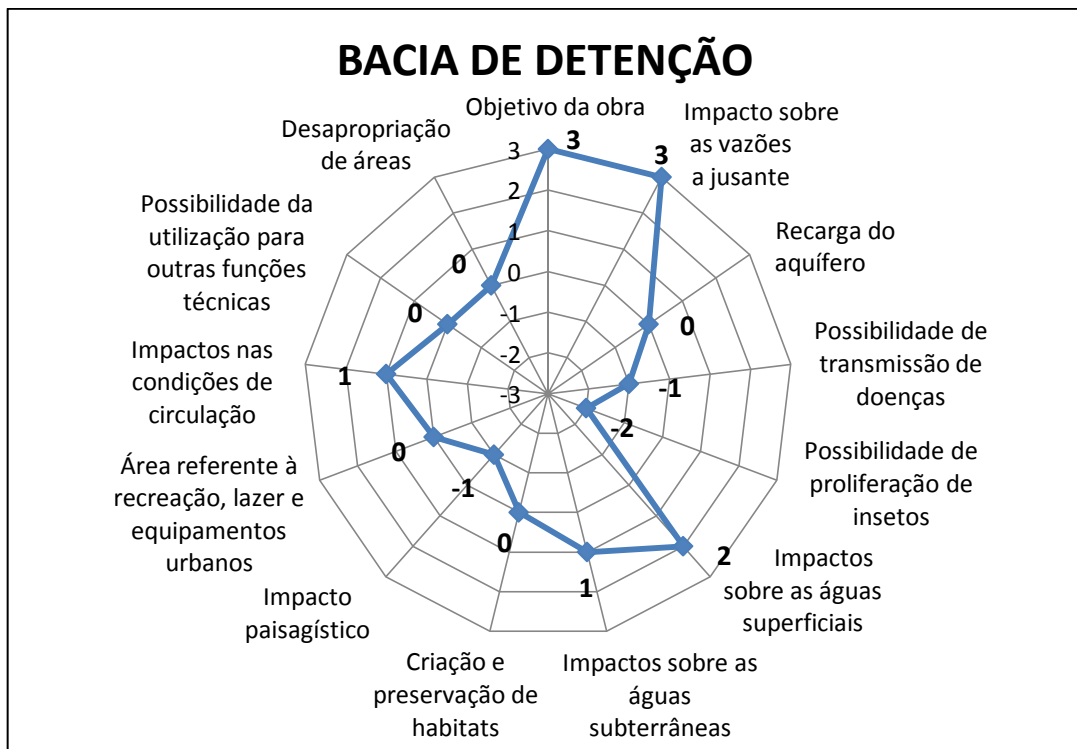
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 14 – Indicadores relacionados aos representantes de empresas de consultoria, para a bacia de detenção



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 15 – Indicadores relacionados aos representantes da população afetada, para a bacia de detenção



(fonte: elaborada pelo autor)

As figuras analisadas mostram que, para cada grupo de decisores, existe uma diferença nos conjuntos de indicadores propostos. No caso do pavimento permeável, para os representantes de serviços técnicos municipais e para a população afetada, o indicador referente a impacto nas condições de circulação de pessoas e veículos, por exemplo, recebeu um valor de +1,3 e +2, respectivamente, caracterizando uma sensível melhora com a implantação do empreendimento. Essa situação não é percebida da mesma forma por representantes dos órgãos e agências ambientais e empresas de consultoria, que avaliaram esse mesmo indicador com um valor de -1 e 0, respectivamente.

Na bacia de detenção, observam-se casos semelhantes. Como exemplo, tem-se o indicador referente ao impacto paisagístico causado pelo empreendimento, avaliado com valores de -1 e +2, para a população afetada e para as empresas de consultoria, respectivamente.

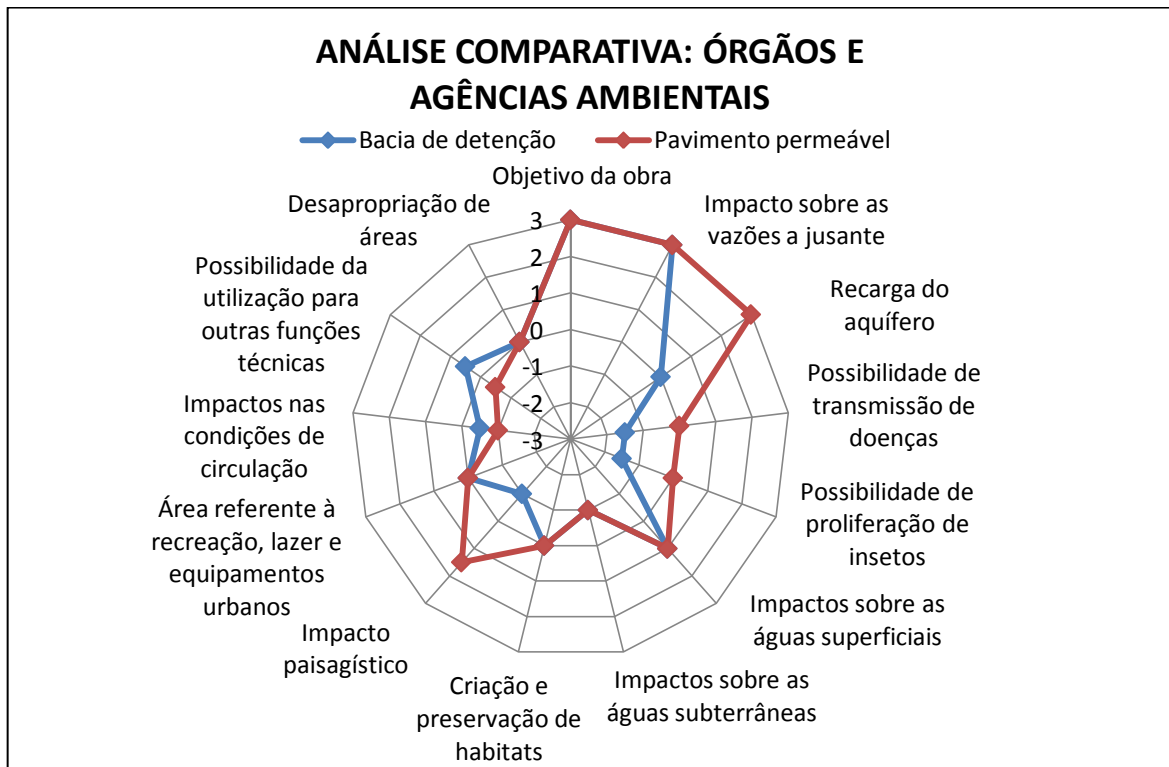
A visão que cada grupo de decisor tem a respeito de cada indicador de sustentabilidade é a causa dessa divergência de resultados, o que torna a análise mais complexa e interessante. A importância que é dada a cada indicador pode ser decisiva na hora da escolha do tipo de estrutura de controle a ser implementada e se ela é viável conforme proposto em projeto.

Algumas vantagens são observadas na apresentação dos resultados em figuras do tipo radar. A visualização dos diferentes valores obtidos entre os grupos de decisores foi melhor representada, permitindo a análise dos resultados conferidos a cada um deles, individualmente, ao mesmo tempo que possibilita uma avaliação global do grau de sustentabilidade do empreendimento, a partir da área da figura. Para a obtenção dos índices globais, é necessária a ponderação dos indicadores por meio de pesos atribuídos pelos grupos de representantes envolvidos.

Para uma análise comparativa da sustentabilidade das estruturas de controle estudadas, foram avaliados os resultados dos indicadores nas figuras 16 a 19, para cada grupo de decisores. Esse tipo de visualização facilita a tomada de decisão em relação à melhor opção de medida de controle a ser implantada, fornecendo ao decisor tanto uma ideia global quanto individual de todos os indicadores de sustentabilidade.

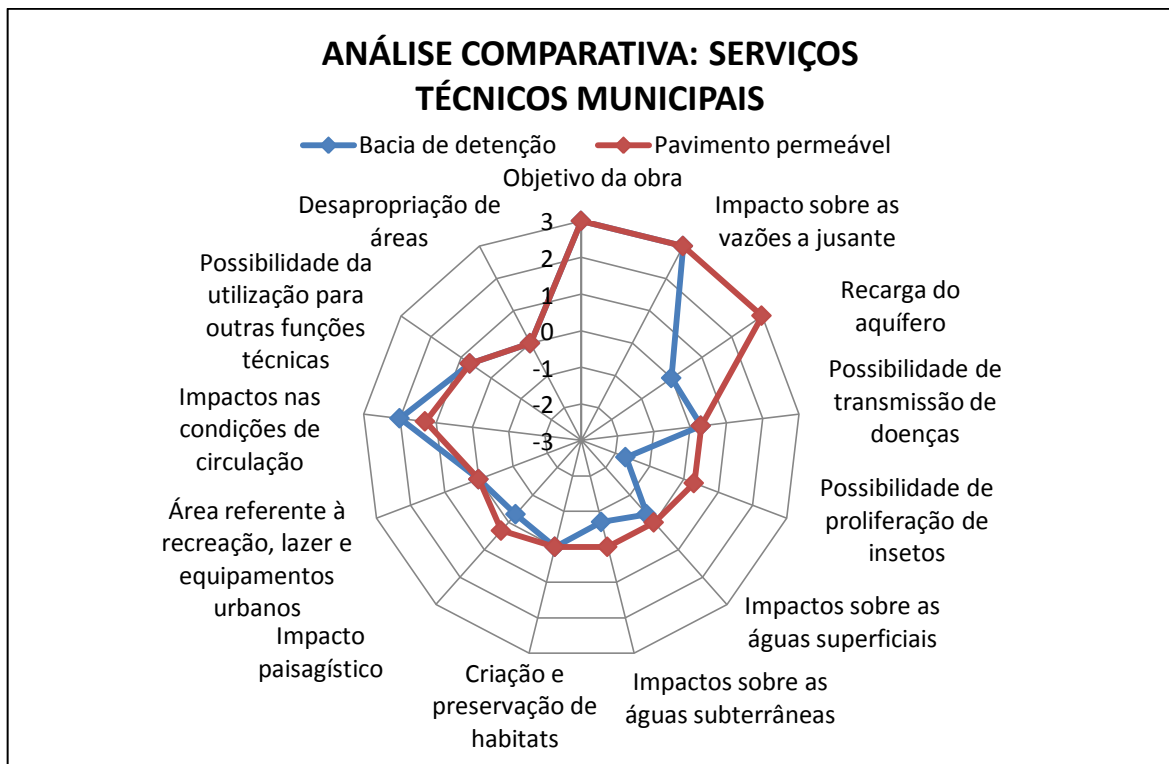


Figura 16 – Análise comparativa dos representantes de órgãos e agências ambientais



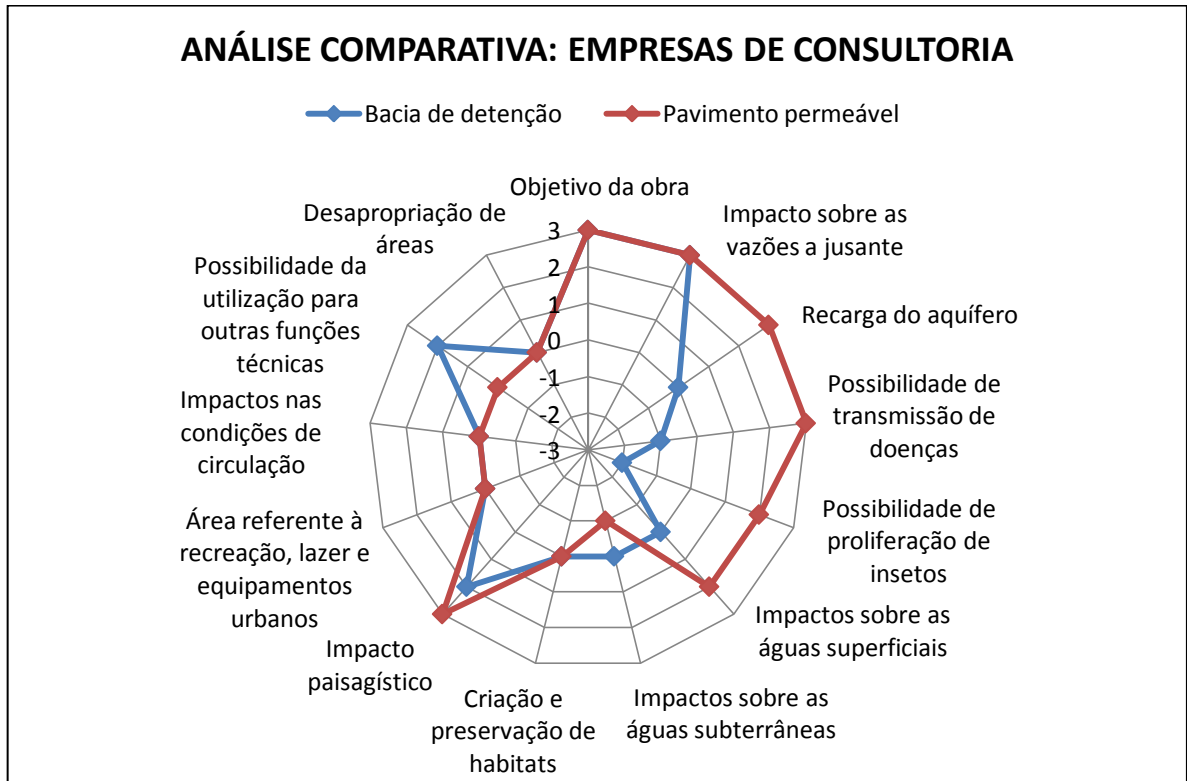
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 17 – Análise comparativa dos representantes dos serviços técnicos municipais



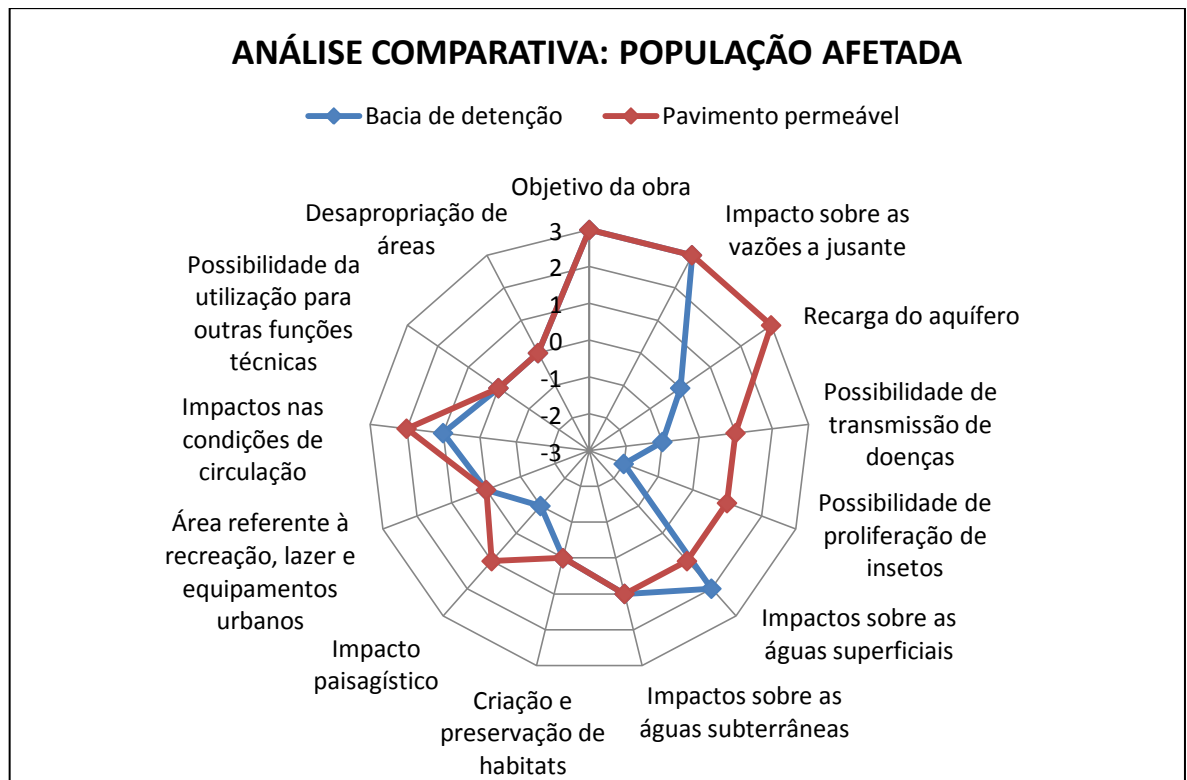
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 18 – Análise comparativa dos representantes de empresas de consultoria



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 19 – Análise comparativa da população afetada



(fonte: elaborada pelo autor)

A verificação conjunta do pavimento permeável e da bacia de detenção, representados nas figuras anteriores, permite a análise comparativa da sustentabilidade em cada grupo de decisores. Apesar das figuras apresentarem certas semelhanças no conjunto global de indicadores, levando a entender que o pavimento permeável é a estrutura mais adequada a ser implantada em relação à bacia de detenção, o peso atribuído para um determinado indicador pode ser um fator decisivo na definição da estrutura a ser implantada, sendo assim verificada a importância da sua análise. Desta forma, se a análise comparativa estiver sendo feita por representantes de empresas de consultoria, o indicador referente a possibilidade da utilização do empreendimento para outras funções técnicas, como áreas de recreação, por exemplo, torna a bacia de detenção a opção mais atrativa se comparada ao o pavimento permeável, neste caso.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A falta de um planejamento em relação à ocupação urbana fez com que as estruturas de controle fossem necessárias e indispensáveis para o controle de alagamentos recorrentes nas cidades, ao longo dos anos. O presente trabalho buscou a análise comparativa da sustentabilidade de duas dessas estruturas de controle, através do uso de indicadores, importantes instrumentos no processo de planejamento urbano.

Os resultados apresentados ao longo do trabalho, como produtos da utilização dos indicadores de sustentabilidade, apresentam uma maneira global e individual de sua aplicação. De uma maneira geral, o pavimento permeável apresenta uma solução mais sustentável de minimizar os problemas de alagamentos em relação à bacia de detenção. Entretanto, cabe ao decisor uma ponderação dos indicadores que melhor se ajustem ao problema a ser resolvido, tornando a avaliação individual e os pesos atribuídos a cada um deles mais importante que a sua visão global, em paralelo com a avaliação de condicionantes técnicas.

A dificuldade de acesso a projetos anteriores e dados referentes aos projetos já implantados e seus parâmetros quantitativos, como vazões de infiltração e vazões a jusante, por exemplo, tornou a aplicação dos indicadores mais trabalhosa. Para os parâmetros qualitativos, não foi possível um número representativo de entrevistados no trabalho, adotando-se o critério de no mínimo 1 avaliador de cada grupo de decisores. Entende-se que quanto maior o número de pessoas entrevistadas no processo, mais calibrado e realista se torna o indicador, obtendo melhores resultados de análise.

Os indicadores utilizados para a análise comparativa da sustentabilidade de medidas de controle se mostraram bastante interessantes e representativos para os envolvidos e afetados pelo empreendimento. O aspecto visual, fornecido pelas figuras analisadas no trabalho, facilita o entendimento dos resultados e a comparação entre diferentes estruturas de controle a serem implantadas. O autor ainda sugere que seja feita uma análise conjunta com indicadores de custos, para que se tenha um resultado mais completo em relação às estruturas de controle, permitindo a escolha com maior grau de sustentabilidade e economicamente mais atrativa.

## REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle de escoamento superficial na fonte**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/5843>><sup>6</sup>. Acesso em: 12 nov. 2013.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. **Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, réalisation et entretien**. Paris: Lavoisier - Tec & Doc, c1994.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- CARMONA, M. V. V. **Gestão de Drenagem Urbana em Porto Alegre - RS**. 2008. 102 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- CASTRO, L. M. A. de. **Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- \_\_\_\_\_. **Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água**. 2007. 297 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- PORTO ALEGRE. Secretaria de Planejamento Municipal. **Decreto n. 18.611**, de 9 de abril de 2014. Regulamenta o controle de drenagem urbana e revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do Decreto n. 14.786, de 30 de dezembro de 2004 – Caderno de Encargos do DEP – e o Decreto n. 15.371, de 17 de novembro de 2006. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/qthjr>>. Acesso em: 5 maio 2014.
- PORTO, R.; ZAHHEL FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH; EDUSP, 1993. p. 805-847.

<sup>6</sup> Estando no site <<http://hdl.handle.net/10183/5843>>, localize na parte final da página a indicação <visualizar/abrir>: selecione para abrir o documento.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (Coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 19-73.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH; EDUSP, 1993. p. 35-51.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: \_\_\_\_\_ (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH; EDUSP, 1993. p. 621-658.

\_\_\_\_\_. **Inundações urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH; Rhama, 2007.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. la; BARROS, M. T. de. (Org.). **Drenagem urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH; 1995. p. 277-347.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

**APÊNDICE A – Questionário aplicado**  
**(adaptado de Castro, 2002)**

## **Questionário para a utilização de indicadores na análise comparativa da sustentabilidade de medidas de controle para o gerenciamento de drenagem urbana**

O presente questionário fornecerá subsídios para o Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o objetivo de utilizar indicadores na análise comparativa da sustentabilidade de medidas de controle para o gerenciamento de drenagem urbana, na cidade de Porto Alegre. Os indicadores presentes neste questionário foram divididos em uma escala de 7 níveis, sendo eles, em ordem crescente:

- (-3) Grande Piora (GP);
- (-2) Sensível Piora (SP);
- (-1) Pequena Piora (PP);
- (0) Indiferente (I);
- (1) Pequena Melhora (PM);
- (2) Sensível Melhora (SM);
- (3) Grande Melhora (GM).

Esses índices irão comparar a situação anterior, do terreno natural, sem nenhum tipo de controle de alagamentos, e a situação com a medida de controle já implantada no local. As estruturas de controle em estudo são o pavimento poroso localizado no estacionamento de veículos leves, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, e a bacia de retenção localizada na rua Osório Tuyuti de Oliveira Freitas. Solicitamos que os participantes do processo decisório classifiquem os indicadores conforme os níveis apresentados acima, sendo descritos, a seguir, os indicadores propostos.

### 1- Critério “Impacto da Obra”

#### 1.1 – Aspectos Sanitários

Os impactos sanitários da obra de drenagem quanto à possibilidade de transmissão de doenças e de proliferação de insetos.

##### 1.1.1 – Possibilidade de transmissão de doenças

Será considerada a tendência ou a existência de epidemias de veiculação hídrica na área do empreendimento em questão, bem como a proximidade e o contato das pessoas com as águas pluviais desse sistema, o que pode contribuir para o aumento da possibilidade da transmissão de doenças. O dispositivo pode não funcionar corretamente, agravando a possibilidade de doenças no local.

##### 1.1.2 – Possibilidade de proliferação de insetos e/ou animais

Esse aspecto será avaliado através de um indicador que deve considerar, principalmente, a tendência para a ocorrência de insetos na área do empreendimento em questão, a existência de coleta de lixo e a presença de interceptores de esgotos cloacais, fatores estes relacionados ao aumento da possibilidade de proliferação de insetos. Havendo contaminação das águas pluviais, é importante observar a possibilidade do contato destas com o ambiente atmosférico, o que poderia levar ao aumento da tendência para a proliferação de insetos.

#### 1.2 – Aspectos sobre a qualidade das águas



A avaliação dos impactos da obra em relação à qualidade das águas será através de dois indicadores, sendo o primeiro referente às águas superficiais e o segundo referente às águas subterrâneas.

### 1.2.1 – Impactos nas águas superficiais

Será avaliada a poluição que a implantação do sistema de drenagem pode vir a causar nas águas pluviais. Os principais fatores de possível contaminação a ser considerados podem ser:

- A existência de empreendimentos com despejo de efluentes contaminados com potencial poluidor, que poderiam impactar negativamente na qualidade das águas do corpo receptor;
- A existência de ligações irregulares de esgotos cloacais diretamente na rede pluvial;
- A falta e/ou a irregularidade de coleta de resíduos domiciliares, o que acarretaria na contaminação cursos de água.

### 1.2.2 – Impactos nas águas subterrâneas

Avalia a contaminação das águas infiltradas no solo, afetando o lençol freático.

## 2 – Critério “Inserção da Obra”

O critério que se refere à inserção da obra, foi dividido em dois aspectos principais, a serem avaliados, sendo eles: ambiental e social.

### 2.1 – Ambiental

No que tange ao aspecto referente à inserção ambiental das diversas alternativas de projeto de sistemas de drenagem, foi proposto o indicador referente ao aspecto paisagístico produzido pelo sistema de drenagem projetado. A avaliação desse critério trata de verificar se o cenário proposto para cada alternativa de projeto está ou não de acordo com o desejo ou as características urbanas determinadas pelo plano diretor de uso e ocupação do solo.

### 2.2 – Social

Em relação ao aspecto referente à inserção social do sistema de drenagem, serão avaliados indicadores relativos a impactos nas condições de circulação de pessoas e veículos no sistema e a possibilidade do desempenho de outras funções técnicas e os efeitos da desapropriação de áreas.

#### 2.2.1 – Impactos nas condições de circulação

Os principais fatores benéficos às condições de circulação de pessoas e veículos podem ser a redução do efeito de aquaplanagem e dos níveis sonoros, devidos à implantação de estruturas como pavimentos porosos, além da criação ou expansão de vias de circulação e estacionamento.

#### 2.2.2 – Possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas

A avaliação desse indicador deverá ser de forma subjetiva, realizada pelo decisor, considerando a possibilidade de utilização das técnicas estudadas na alternativa de projeto proposta, para o desempenho de outras funções, além daquelas para as quais foram inicialmente previstas, como estacionamento para veículos leves e locais para recreação, para o pavimento permeável e a bacia de detenção, respectivamente, sem que sejam necessárias grandes modificações em sua forma de operação.

Segue, abaixo, um exemplo da planilha que pode ser respondida no documento Excel.

<b>PAVIMENTO POROSO (Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS)</b>			
<b>Planilha para a avaliação referente aos indicadores propostos</b>			
<b>Critério</b>	<b>Sub-critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Nível</b>
Impactos da Obra	Impactos Sanitários	Possibilidade de transmissão de doenças	
		Possibilidade de proliferação de insetos	
	Impactos da qualidade das águas	Impactos nas águas superficiais	
		Impactos nas águas subterrâneas	
Inserção da Obra	Inserção Ambiental	Impacto Paisagístico	
	Inserção Social	Impactos nas condições de circulação	
		Possibilidade de utilização para o desempenho de outras funções técnicas	

<b>BACIA DE DETENÇÃO (Rua Osório Tuyuti de Oliveira Freitas)</b>			
<b>Planilha para a avaliação referente aos indicadores propostos</b>			
<b>Critério</b>	<b>Sub-critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Nível</b>
Impactos da Obra	Impactos Sanitários	Possibilidade de transmissão de doenças	
		Possibilidade de proliferação de insetos	
	Impactos da qualidade das águas	Impactos nas águas superficiais	
		Impactos nas águas subterrâneas	
Inserção da Obra	Inserção Ambiental	Impacto Paisagístico	
	Inserção Social	Impactos nas condições de circulação	
		Possibilidade de utilização para o desempenho de outras funções técnicas	