

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**USO DE "ECOTÉCNICAS" NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM MEIO URBANO: UMA ABORDAGEM CRÍTICA**

EDUARDO ARAUJO SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr Ricardo Siloto da Silva

São Carlos
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**USO DE "ECOTÉCNICAS" NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM MEIO URBANO: UMA ABORDAGEM CRÍTICA**

EDUARDO ARAUJO SILVA

São Carlos
2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S586ue

Silva, Eduardo Araujo.

Uso de "ecotécnicas" no manejo de águas pluviais em meio urbano : uma abordagem crítica / Eduardo Araujo Silva. -- São Carlos : UFSCar, 2013.

149 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Engenharia urbana. 2. Drenagem urbana. 3. Ecotécnica. 4. Água - manejo. 5. Técnicas de baixo impacto. I. Título.

CDD: 711 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
C. P. 676 – 13.560-970 – São Carlos – SP
Fone/FAX: (16) 3351-8295
e-mail: ppgeu@ufscar.br
home-page: www.ufscar.br/~ppgeu



FOLHA DE APROVAÇÃO

EDUARDO ARAUJO SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 21/10/2010
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Marcelo Montañó
(SHS-EESC/USP)

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Presidente da CPG-EU

Dedico este trabalho
ao meu Pai (*in memoriam*) e
à longa vida de minha Mãe.

Trate bem a terra.
Ela não foi doada a você pelos seus pais.
Ela foi emprestada a você pelos seus filhos.

Provérbio antigo do Quênia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Roberto e Leonor, os maiores incentivadores de todos os meus passos;

Às minhas irmãs Érika e Camila, pela cumplicidade de toda uma vida;

À toda minha família, na figura de minha querida Vó Esther;

Ao meu orientador e amigo Ricardo Siloto da Silva, por ter me proporcionado este grande crescimento;

Ao meu fiel amigo Cauê, por me manter atento aos pequenos tesouros da vida;

Aos meus amigos da TEIA – casa de criação, pela caminhada e tolerância nos períodos de ausência;

À minha companheira Bianca Habib, pelas ilustrações e principalmente por todo o carinho, paciência e dedicação inestimáveis;

Aos professores do PPGEU, por compartilharem seus conhecimentos e experiências;

Aos professores Ioshiaki Shimbo e Akemi Ino pela valiosa contribuição na banca de qualificação;

Aos companheiros de pós-graduação Maurício Martucci, Leandro Letti, Alexandre Baccili, Sandra Mota, Renata Peres e Danusa Sampaio, pelo constante companheirismo;

Às colegas de secretaria do PPGEU, Sônia e Ana Paula, pelos frequentes auxílios;

À professora Rochelle Amorim Ribeiro, por me abrir as portas do estágio em sua disciplina;

Ao Eng^o Civil Paulo Silva Leme, por me apresentar o universo da contenção de solos;

Aos meus colegas de trabalho da Unicep, por compartilhar da aventura do ensinar;

Aos meus alunos de Arquitetura e Urbanismo, por compartilhar da aventura do aprender;

Às demais pessoas que contribuíram para minhas realizações;

Meus mais sinceros agradecimentos!

Resumo

A situação ambiental das cidades, principalmente as de maior porte, apresenta graves problemas decorrentes da incapacidade humana de suprir as demandas das aglomerações ao passo em que elas se instalam, gerando ambientes com baixas condições de habitabilidade. A supremacia dos interesses econômicos sobre ecossistemas naturais estabeleceu uma complexa rede de impactos nas fontes de recursos necessários para a edificação das cidades, desde a extração à emissão de seus dejetos finais. Nas últimas décadas, foram apontadas inúmeras questões a serem enfrentadas, muitas delas referentes aos sistemas urbanos, mas, apesar de todo o debate relacionado com a preservação e recuperação dos ecossistemas, ainda poucas transformações são apreciadas nas cidades. O presente trabalho procura apontar possíveis enfrentamentos desse quadro, considerando tanto as necessidades de se suprir demandas por infraestrutura urbana quanto de se preservar o meio natural, visando ampliar o debate sobre a implementação de soluções que respeitem as características e ciclos do território, bem como criar ambientes com maior qualidade para o convívio. Foi dada uma ênfase aos sistemas de manejo de águas pluviais, uma vez que suas inadequações ou insuficiências vêm causando crescentes colapsos, trazendo consequências catastróficas e severos prejuízos às populações afetadas. A partir de uma revisão bibliográfica específica ao tema, como a Engenharia Natural e a Bioengenharia de Solos, foi definido o conceito de Ecotécnica Urbana, sobre o qual elencou-se 8 variáveis para a análise da aplicação de 28 técnicas construtivas relativas a sistemas de manejo de águas pluviais, a fim de se avaliar o grau de atendimento num sentido qualitativo. Por fim, foi realizada uma discussão dos resultados a partir da interpolação das informações colhidas em uma matriz, onde as 28 técnicas foram cruzadas com as 8 variáveis, procurando-se sintetizar e melhor ilustrar o resultado do processo de pesquisa. Notou-se que, para além dos diferentes graus de atendimento e leituras geradas, a associação em cadeia de Ecotécnicas e a transformação cultural da sociedade podem ser parâmetros norteadores de novas posturas que visem à superação da atual situação. Concluiu-se então que o emprego de Ecotécnicas mostra-se como um caminho viável para se aliar a resolução de questões ambientais urbanas à promoção de uma transformação cultural que integre, de forma mais plena e natural, as pessoas ao ambiente construído.

Palavras-Chave: Drenagem urbana. Ecotécnica. Engenharia urbana. Manejo de águas pluviais. Regeneração ambiental.

Abstract

The environmental situation of the cities, especially the larger ones, presents serious problems arising from human's inability to meet the demands of the agglomerations as they are settled, generating environments with low conditions of habitability. The supremacy of economic interests on natural ecosystems has established a complex network of impacts in raising resources to build the cities, from the extraction of material to the issuance of its final waste. In the last decades, several issues have been presented, many of them referring to urban systems, however, in spite of all the discussion related to preservation and restoration of ecosystems, there are still few transformations to be seen in the cities. This work aims to identify possible confrontations for this panorama, facing both the needs to meet demands for urban infrastructure and to preserve the environment by broadening the debate about implementation of solutions that comply characteristics and cycles of the territory, as well as increasing environmental quality to conviviality. Emphasis was given to the systems of rainwater management, since its inadequacies or shortcomings have been causing crescent collapses, with catastrophic consequences and severe damage to the affected populations. From reviewing some specific literature to this theme, such as Natural Engineering and Bioengineering of Soils, the concept of Urban Ecotechnique was defined, in which 8 variables have been outlined to analyze the application of 28 building techniques related to rainwater management systems, in order to evaluate the degree of service in qualitative sense. Finally, it has been done a discussion of the results from the interpolation of the information collected in an array, where the 28 techniques were crossed with the 8 variables, in an attempt to synthesize and better illustrate the result of the research process. It was noted that, in addition to the different degrees of service and readings generated, the association in chain of Ecotechniques and the cultural transformation of society can be guiding parameters of new attitudes to overcome the current situation. It was then concluded that the employment of Ecotechniques has been shown as a viable way of allying the resolution of urban environmental issues to the promotion of a cultural transformation that integrates people to the built environment, in a complete and natural way.

Keywords: Urban drainage. Ecotechnique. Urban Engineering. Rainwater management. Environmental regeneration.

Lista de Figuras

Figura 1: Vista aérea do Arco do Triunfo, Paris. Fonte: Ruyi Book Travel.	6
Figura 2: Plano urbanístico de Saturnino de Brito para Santos, com Avenidas Parque, 1910. Fonte: Viva Santos, 2004.....	7
Figura 3: Obras da canalização do Ribeirão do Itororó, início do séc. XX. Fonte: Viva Santos, 2004. .	7
Figura 4: Rio de Janeiro - Avenida Rio Branco, por volta de 1920. Fonte: Marcelo Almirante, 2007...	7
Figura 5: Marginais do rio Tietê, na época de sua construção, junto à Ponte das Bandeiras, 1942. Fonte: Agência Estado, 2008.....	7
Figura 6: Plano Cerdá para Barcelona. Fonte: Arq. Carlos Barón, s/ data.	8
Figura 7: Plano de Camillo Sitte para Marienberg, 1903. Fonte: Der Städtebau, 1904.	9
Figura 8: Implantação de Letchworth, 1902. Fonte: University of Maryland, 2005.....	9
Figura 9: Proposta para uma Cidade Industrial de Tony Garnier, 1932. Fonte: Percorsi di Storia dell'Arqchitettura e delle Arti Decorative, 2004.....	9
Figura 10: Le Corbusier, Plan Voisin, 1925. Fonte: Urbanidades, 2008.	10
Figura 11: Le Corbusier, Plan Voisin, 1925. Fonte: Ped Shed, 2006.	10
Figura 12: Broadacre City, Frank LLoyd Wright. Fonte: forum.skyscraperpage.com, 2008.....	11
Figura 13: Favela Morumbi, São Paulo, 2008. Fonte: Paul Kedrosky, 2008.	12
Figura 14: Efeitos da urbanização sobre o comportamento hidrológico. Fonte: Netto, 2004.	28
Figura 15: Município de União da Vitória - PR, em período normal e na grande cheia de 1983.	29
Fonte: Tucci, 2004.....	29
Figura 16: Fatores agravantes das inundações. Fonte: Netto, 2004.	30
Figura 17: Processo de impacto da drenagem urbana. Fonte: Sudersha, 2002 <i>apud</i> Tucci, 2005.....	30
Figura 18: Inundação em União dos Palmares - AL, 21/06/2010. Fonte: Thiago Sampaio, Folha.com.	31
Figura 19: Regulamentação da zona inundável. Fonte: U.S. Water Resources Council, 1971 <i>apud</i> Tucci, 2005.....	36
Figura 20: Bacia de infiltração e percolação. Ilustração: Bianca Habib, 2010.	39
Figura 21: Bacia de retenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010.	40
Figura 22: Bacia de detenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010.....	41
Figura 23: Engenharia natural: técnica, materiais e aplicação. Fonte: Sutili, 2010.	43
Figura 24: O rio Vils em Amberg em 1990 e parcialmente renaturalizado. A baixada inundável é utilizada como parque municipal. Fonte: Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, 1998.....	45
Figura 25: Edifício público com telhado verde. Fonte: Portland Bureau of Enviromental Services, 2002 <i>apud</i> Souza, 2005.	56
Figura 26: Escola de Arte, Design e Comunicação da Universidade Tecnológica de Nanyang, em Cingapura. Fonte: hypescience.com.....	57
Figura 27: Biblioteca da Universidade de Delft, Holanda. Fonte: Mecanoo, 2010.	57
Figura 28: Esquemas de telhados armazenadores plano e inclinado. Fonte: Brito, 2006.	59
Figura 29: Microrreservatório EcoRain. Fonte: Alpina Termoplásticos, 2010.	60

Figura 30: Esquema de instalação de microrreservatório em residência. Fonte: Acqualimp, 2009.	61
Figura 31: Processo de construção e utilização de uma cisterna do Programa 1 Milhão de Cisternas (PIMC) – ASA Brasil. Fonte: almanaquebrasil.com.br.	62
Figura 32: Poço de Infiltração em concreto pré-moldado. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Reis, 2005.	63
Figura 33: Construção de um Poço de Infiltração de 1,0 m ³ para estudo e análise de desempenho, LSP-EEC-UFG . Fonte: Reis, 2005.	64
Figura 34: Poço de Infiltração com dreno. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Tucci, 2005.	64
Figura 35: Esquema fornecido pela Prefeitura Municipal de São Carlos para o atendimento à Lei nº 13.246 de 2003. Fonte: PMSC, 2009.	65
Figura 36: Sequência de construção de poço de infiltração. Fonte: adaptado de Champs, 2007.	65
Figura 37: Poço de Infiltração - PMBH. Fonte: adaptado de Champs, 2007.	66
Figura 38: Poço de infiltração inserido em área de lazer. Fonte: Souza, 2002.	66
Figura 39: Poço de Infiltração integrado a uma área de lazer infantil (região de Lyon, França). Fonte: Baptista et.al., 2005.	67
Figura 40: Plano de Infiltração. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Tucci, 2005.	68
Figura 41: Plano de infiltração. Fonte: Amanthea, 2008.	69
Figura 42: Plano de infiltração. Fonte: US Environment Protection Agency, 2008.	69
Figura 43: Trincheira de Infiltração. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Souza, 2002.	71
Figura 44: Etapas de construção de uma trincheira de Infiltração. Fonte: de Souza, 2002.	71
Figura 45: Sequência de construção de trincheira de infiltração sob sarjeta. Fonte: adaptado de Champs, 2007.	72
Figura 46: Trincheira de Infiltração sob sarjeta. Fonte: adaptado de Champs, 2007.	72
Figura 47: Trincheira de Infiltração sob passeio. Fonte: adaptado de Champs, 2007.	73
Figura 48: Vala de infiltração. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Teixeira, 2006.	74
Figura 49: Vala de Infiltração. Fonte: Tucci, 2004.	75
Figura 50: Vala de infiltração. Fonte: Bob Pitt's Teaching and Research Webpage, 2008.	75
Figura 51: Exemplos de pavimentos drenantes pré-moldados em concreto. Fonte: TecPavi, 2010.	76
Figura 52: Pavimento permeável. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Urbonas e Stahre, 1993 <i>apud</i> Cruz et al., 1999.	77
Figura 53: Pavimento permeável. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Urbonas e Stahre, 1993 <i>apud</i> Cruz et al., 1999.	77
Figura 54: Arranjos de pavimentos com estrutura de reservação. Fonte: Azout et. al., 1994 <i>apud</i> Brito, 2006.	79
Figura 55: Aplicação do Infiltrator em estacionamento de veículos. As águas pluviais vão para a caixa que as distribui para as câmaras de infiltração. Fonte: Tomaz, 2007.	80
Figura 56: Sarjeta (meio-fio) permeável. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Fujita, 1984 <i>apud</i> Tucci, 2005.	81
Figura 57: Valo de infiltração. Fonte: Urbonas e Stahre, 1993 <i>apud</i> Tucci, 2008.	82
Figura 58: Canaleta gramada. Fonte: Tomaz, 2007.	82
Figura 59: Canaleta gramada. Fonte: Querência Hoje (MG).	83

Figura 60: Reservatório de retenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Maidment, 1993 <i>apud</i> Tucci, 2005.....	85
Figura 61: Reservatórios de retenção. Fonte: Amanthea, 2008.....	86
Figura 62: Reservatórios de retenção. Fonte: Tucci, 2004.....	86
Figura 63: Reservatório de detenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Maidment, 1993 <i>apud</i> Tucci, 2005.....	87
Figura 64: Reservatório de detenção com uso para lazer / quadra esportiva. Fonte: Tucci, 2004.....	88
Figura 65: Reservatório de detenção com uso para lazer / playground. Fonte: Tucci, 2004.....	88
Figura 66: Bacia de detenção com uso de Parque Urbano, Département de la Seine-Saint-Denis, França. Fonte: Maytraud, 2004 <i>apud</i> PROSAB 5.....	89
Figura 67: Esquema de reservatório de detenção fechado. Fonte: Tucci, 2005.....	89
Figura 68: Bacia de detenção impactada pela poluição difusa, São Paulo. Fonte: Almeida, 2007 in Franco, 2008.....	91
Figura 69: Captação e gradeamento de resíduos sólidos e sedimentos. Fonte: Amanthea, 2008.....	92
Figura 70: Captação e gradeamento de resíduos sólidos e sedimentos. Fonte: Amanthea, 2008.....	92
Figura 71: Dispositivo de gradeamento de resíduos sólidos (poluição difusa) em rodovias da Califórnia, EUA. Fonte: Caltrans, 2009.....	93
Figura 72: Dispositivo de gradeamento de resíduos sólidos (poluição difusa) em rodovias da Califórnia, EUA. Fonte: Caltrans, 2009.....	93
Figura 73: Sistema de gradeamento de poluição difusa fluvial, São Paulo. Fonte: Tucci, 2004.....	94
Figura 74: Sistema de biorretenção. Fonte: Puget Sound Action Team, 2005.....	95
Figura 75: Detenção na fonte com filtragem. Fonte: adaptado de AmericaCast, 2005, <i>apud</i> Teixeira, 2006.....	95
Figura 76: Detenção na fonte com filtragem. Fonte: adaptado de AmericaCast, 2005, <i>apud</i> Teixeira, 2006.....	96
Figura 77: Sistema Eco-Estrutural Pneumático - Muro de contenção. Fonte: Alves, 1987 <i>apud</i> Silva, 2004.....	98
Figura 78: Proteção direta das margens com pneus usados. Fonte: Petersen, 1986 <i>apud</i> Silva, 2004.....	98
Figura 79: Esquema construtivo em solo-pneu. Fonte: Werlich et. al, UFSC, 2004.....	99
Figura 80: Contenção de encosta com pneus. Fonte: Gerscovitch, s/ data.....	99
Figura 81: Muro de arrimo de gabião caixa. Fonte: Gerscovitch, 2010.....	101
Figura 82: Muro de arrimo de gabião caixa. Fonte: Maccaferri, 2008.....	102
Figura 83: Muro de arrimo de gabião caixa. Fonte: Maccaferri, 2008.....	102
Figura 84: Remodelação da encosta erodida e instalação de biomanta erosiva, antes, durante e três meses depois da intervenção. Fonte: Deflor.....	103
Figura 85: Etapas de obra: microcoveamento, hidrossemeadura e aplicação da biomanta. Fonte: Deflor.....	104
Figura 86: Biomanta recém aplicada. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.....	104
Figura 87: Vegetação em processo de crescimento. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.....	104
Figura 88: Bobina de biomanta e esquema final de sua aplicação. Fonte: Deflor.....	105
Figura 89: Etapas da recomposição da encosta com aplicação de biomanta, biorretentores e vegetação.	

Fonte: Deflor.	106
Figura 90: Biorretentores e esquema de aplicação. Fonte: Deflor.....	107
Figura 91: Aplicação do capim Vetiver nas linhas de biorretentores para formação de bermas. Fonte: Deflor.....	107
Figura 92: Escada hidráulica de gabião-manta. Fonte: Maccaferri, 2010.....	110
Figura 93: Escada hidráulica de gabião-manta. Fonte: Maccaferri, 2010.....	110
Figura 94: Escada hidráulica de gabião manta. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.	111
Figura 95: Encontro de duas linhas de escadas hidráulicas. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.	111
Figura 96: Escada hidráulica de gabião manta recém-concluída. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.	111
Figura 97: Escada hidráulica de gabião manta com desenvolvimento de vegetação após 90 dias de sua conclusão. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.	111
Figura 98: Escada hidráulica de madeira e pedra em fase de implantação - Forno Canavese, Itália. Fonte: Vertical Green, 2010.	113
Figura 99: Escada hidráulica de madeira e pedra 60 dias após o término da obra - Forno Canavese, Itália. Fonte: Vertical Green, 2010.	113
Figura 100: Escada hidráulica de madeira e pedra em fase de implantação - Alexânia-GO. Fonte: Vertical Green, 2010.....	113
Figura 101: Escada hidráulica de madeira e pedra 7 meses após o término da obra - Alexânia-GO. Fonte: Vertical Green, 2010.	113
Figura 102: Caixa dissipadora de energia de madeira roliça, pedras e tela metálica no córrego Tijucu Preto, São Carlos-SP. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.	115
Figura 103: Dissipador de energia de madeira roliça, pedras e tela metálica em Alexânia-GO. Fonte: Vertical Green, 2009.....	115
Figura 104: Vista da margem em corte transversal. Fonte: Durlo e Sutili, 2005.	116
Figura 105: Efeito esperado após o revestimento com madeira e revegetação da margem. Fonte: Durlo e Sutili, 2005.	116
Figura 106: Margem erodida no arroio Guarda-mor (jan/2003). Fonte: Sutili, 2007.	118
Figura 107: Aspecto dois anos e meio após a construção da parede-Krainer (ago/2005). Fonte: Sutili, 2007.....	118
Figura 108: Parede Palificada. Fonte: Vertical Green, 2008.	118
Figura 109: Parede Palificada. Fonte: Vertical Green, 2008.	118
Figura 110: Corte transversal da parede vegetada simples (a) e dupla (b). Fonte: Durlo e Sutili, 2005.	120
Figura 111: Construção da parede-Krainer dupla (set/2005). Fonte: Sutili, 2007.....	120
Figura 112: Detalhe dos feixes vivos (set/2005). Fonte: Sutili, 2007.	120
Figura 113: Aspecto da intervenção após 2 meses (nov/2005). Fonte: Sutili, 2007.....	121
Figura 114: Aspecto da intervenção após 3 meses (dez/2005). Fonte: Sutili, 2007.....	121
Figura 115: Corte transversal da Crib-Wall. Fonte: Deflor, 2007.	122
Figura 116: Início da execução da Crib-Wall. Fonte: Deflor, 2007.....	122
Figura 117: Desenvolvimento da construção da Crib-Wall. Fonte: Deflor, 2007.	122

Figura 118: Crib-Wall após 3 anos de sua execução. Fonte: Deflor, 2007.....	122
Figura 119: Construção da esteira viva, corte transversal. Fonte: Durlo e Sutili, 2005.....	123
Figura 120: Efeito esperado na margem após a implantação da esteira viva. Fonte: Durlo e Sutili, 2005.....	124
Figura 121: Construção da esteira viva (set/2002). Fonte: Sutili, 2007.....	124
Figura 122: Aspecto da brotação dois meses após (nov/2002). Fonte: Sutili, 2007.....	124
Figura 123: Evolução temporal das obras implantadas em Estrela-RS. Fonte: Rede Sul de Engenharia Natural e Recuperação de Áreas Degradadas, 2011.....	125
Figura 124: Detalhe em corte do sistema de Solo Envelopado Verde. Fonte: Pereira, 2007.....	128
Figura 125: Início da construção do Solo Envelopado Verde, após a aplicação da terceira camada. Fonte: Pereira, 2007.....	129
Figura 126: Vista geral do Solo Envelopado Verde após a construção, recuperando totalmente o talude que estava instável e erodido. Fonte: Pereira, 2007.....	129
Figura 127: Processos erosivos e escorregamentos na margem fluvial, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.....	130
Figura 128: Início da obra, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.....	130
Figura 129: Aplicação de Biomanta Antierosiva, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.....	130
Figura 130: Início do desenvolvimento da vegetação, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008....	130
Figura 131: Colchão Reno. Fonte: Maccaferri, 2010.....	131
Figura 132: Gabião caixa. Fonte: Maccaferri, 2010.....	131
Figura 133: Detalhe em corte da canalização com colchão Reno e gabião caixa, Vinhedo-SP. Fonte: Maccaferri, 2007.....	132
Figura 134: Processos erosivos e escorregamentos na margem fluvial, Vinhedo-SP. Fonte: Maccaferri, 2007.....	132
Figura 135: Obra concluída, Vinhedo-SP. Fonte: Maccaferri, 2007.....	132
Figura 136: Seção típica do canal. Fonte: TEIA - casa de criação, 2004.....	134
Figura 137: Colocação das primeiras toras de Eucalipto sobre o colchão drenante. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	135
Figura 138: Compactação do solo ao longo do canal. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	135
Figura 139: Paredes, fundo e degraus de dissipação. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	135
Figura 140: Caixa de dissipação. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	135
Figura 141: Adequação à drenagem pluvial. Fonte: TEIA – casa de criação, 2006.....	135
Figura 142: Adequação a afloramento d'água. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	135
Figura 143: Instalação da biomanta. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	136
Figura 144: Detalhe da biomanta. Fonte: TEIA – casa de criação, 2006.....	136
Figura 145: Crescimento vegetal sobre biomanta. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.....	136

Lista de tabelas

Tabela 1: Fases do desenvolvimento das Águas Urbanas. Fonte: Tucci, 2008.	31
Tabela 2: Tipologia de técnicas compensatórias para o manejo de águas pluviais. Fonte: PROSAB, 2009.	39
Tabela 3: Categorias de medidas não-estruturais. Fonte: PROSAB, 2009.....	40
Tabela 4: Matriz Técnicas X Variáveis.....	160

Sumário

Introdução 1	
Capítulo 1. Evolução das cidades pós-Revolução Industrial.....	5
1.1. Crise ambiental e urbana do séc. XX.....	13
1.2. Perspectivas urbanas sustentáveis.....	15
Capítulo 2. Sistemas de infraestrutura urbana.....	20
2.1. Sistema Viário.....	21
2.2. Sistema de Abastecimento de Água Potável.....	22
2.3. Sistema de Esgotamento Sanitário.....	23
2.4. Sistema Energético	24
2.5. Sistema de Comunicações	25
2.6. Sistema de Manejo de Resíduos Sólidos	25
2.7. Sistema de Manejo de Águas Pluviais Urbanas.....	26
2.7.1. Fluxo das águas pluviais	27
2.7.2. Sistemas convencionais de drenagem urbana	29
2.7.3. Técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana	32
2.7.3.1. Medidas não-estruturais.....	35
2.7.3.2. Medidas estruturais.....	38
Capítulo 3. Ecotécnicas Urbanas.....	42
3.1. Utilização de Recursos Locais.....	46
3.2. Utilização de Recursos Renováveis.....	47
3.3. Ocorrência de Ciclos Fechados	48
3.4. Mimese de Processos Naturais	48
3.5. Utilização de Materiais Vivos.....	49
3.6. Utilização de Materiais Residuais	50
3.7. Potencial Urbanístico.....	51
3.8. Redução/Reversão de Impactos.....	51
Capítulo 4. Aplicação de Ecotécnicas em Sistemas de Manejo de Águas Pluviais Urbanas	53
4.1. Técnicas Locais de Controle na Fonte.....	53
4.1.1. Telhado Verde.....	56
4.1.2. Telhado Armazenador	58
4.1.3. Microrreservatório.....	60

4.1.4. Poço de Infiltração	62
4.1.5. Plano de Infiltração	68
4.2. Técnicas Lineares de Controle na Fonte.....	70
4.2.1. Trincheira de Infiltração.....	70
4.2.2. Vala de Infiltração	74
4.2.3. Pavimento Permeável.....	76
4.2.4. Pavimento Reservatório	78
4.2.5. Sarjeta Permeável.....	81
4.2.6. Canaleta Gramada	82
4.3. Técnicas de Controle Centralizado	84
4.3.1. Reservatório de Retenção.....	85
4.3.2. Reservatório de Detenção	87
4.4. Dispositivos de Tratamento dos Efluentes Pluviais.....	90
4.4.1. Gradeamento	91
4.4.2. Biorretenção	94
4.5. Contenção de Taludes e Encostas	97
4.5.1. Muro de Pneus.....	97
4.5.2. Muro de Gabião Caixa	100
4.5.3. Biomanta Antierosiva com Vegetação.....	103
4.5.4. Biomanta Antierosiva com Biorretentor e Capim Vetiver.....	106
4.6. Estabilização de Taludes Fluviais	108
4.6.1. Escada Hidráulica de Gabião Manta	110
4.6.2. Escada Hidráulica de Madeira e Pedras	112
4.6.3. Dissipador de Energia de Madeira e Pedras.....	114
4.6.4. Parede Vegetada de Madeira (Parede Krainer).....	116
4.6.5 Parede-Krainer Dupla Vegetada com Feixes Vivos.....	119
4.6.6 Esteira Viva	123
4.7. Canalização de Cursos d'Água	126
4.7.1. Solo Envelopado	128
4.7.2. Calha de Gabião Caixa e/ou Manta.....	131
4.7.3. Calha de Madeira e Pedras.....	133
Capítulo 5. Discussão dos Resultados.....	137
Conclusão	143

Introdução

O avanço da ocupação urbana, na maior parte das vezes, desconsidera as potencialidades e restrições do território em que se estrutura. Sob uma lógica racional, tecnicista, voltada principalmente para a obtenção do rendimento imobiliário, deixa-se de criar espaços que apresentem uma real qualidade de vivência e fruição, por não se realizar um diálogo com o ambiente natural de forma harmônica e criteriosa. A cidade e suas infraestruturas se firmam, então, a partir de uma remodelação incisiva e impactante do território, desfigurando-o e cada vez mais afastando os seus habitantes de sua condição natural.

Com frequência, a construção do espaço se desenvolve tomando raríssimos cuidados para com os recursos hídricos, apresentando casos de degradação em regiões habitadas por todas as classes sociais, a partir de processos que têm em comum o descaso e a conivência, há décadas, tanto do poder público como de distintos segmentos sociais. Processos de degradação que compactuam, dentre outras coisas, com a utilização dos fundos de vale como corredores funcionais, recebendo diversos tipos de fluxos, emissões, concentrações etc. Tais processos também podem exercer pressões e influências sobre o meio, mesmo não se encontrando em áreas de influência direta, seja através de alterações em regimes biológicos, seja devido à extração de recursos que constituem impactos em seus locais de origem. Portanto não é possível focar-se apenas no resultado acabado, mas sim considerar o maior número de fatores incluídos em toda a cadeia produtiva.

Ao se pensar – e propor – um espaço urbano ambientalmente mais equilibrado, a partir da troca e do processamento de informações provenientes de profissionais de distintas formações, pode-se alcançar respostas tão mais próximas quanto possível das reais demandas. Assim então, as soluções técnicas podem ser encaradas de forma a estabelecer uma relação de busca por novas posturas frente às atuais questões ambientais urbanas.

Este aprofundamento pode ser estendido, para além das questões técnicas envolvidas, a novos e mais abrangentes conceitos. Atualmente, a busca pela Sustentabilidade das atividades produtivas ganha muita força, impulsionada por crescentes alertas, publicações e debates lançados pela comunidade científica mundial acerca das influências das atividades humanas sobre o planeta. Estes fatos, para além de suas veracidades e precisões, vêm causando um impacto muito positivo sobre diversas formas de agrupamento e organização humanas, envolvendo governo, sociedade, indústria, ciência e outras esferas, num rico debate acerca dos

rumos tomados pela humanidade. Entretanto, o tema "Sustentabilidade" vem sendo debatido desde meados da década de 70 e ainda se encontra em definição, como atenta Acsehrad (2001, p.28):

O que prevalece, porém, são expressões interrogativas recorrentes, nas quais a sustentabilidade é vista como “um princípio em evolução”, “um conceito infinito”, “que poucos sabem o que é”, e “que requer muita pesquisa adicional”. Manifestações de um positivismo frustrado: o desenvolvimento sustentável seria um dado objetivo que, no entanto, não se conseguiu ainda apreender.

Dentre as várias matrizes que vêm sendo associadas ao conceito de sustentabilidade desde a publicação do Relatório Brundtland¹, em 1987, Acsehrad destaca as da eficiência, da escala, da equidade, da autossuficiência e da ética para defini-lo (*ibid*, p. 27). Silva e Shimbo elencam as dimensões social, econômica, ambiental, política e cultural para melhor defini-la (2001, p.74). A Agenda 21 Brasileira, num dos temas centrais, “Infra-estrutura e Integração Regional”, lista as relações entre energia, pobreza, meio ambiente, segurança e economia, dentre outros subtemas. De forma mais abrangente, Capra (2002, p.93) propõe:

Para construirmos uma sociedade sustentável para nossas crianças e futuras gerações – o grande desafio do nosso tempo – nós precisamos fundamentalmente redesenhar muitas das nossas tecnologias e instituições sociais para superar a grande lacuna entre o desenho humano e os sistemas ecologicamente sustentáveis da natureza.

Observa-se então que vem ocorrendo, em diversas regiões do mundo, uma intensa busca por melhores respostas às questões pertinentes ao tema. No âmbito da sustentabilidade urbana, diversos autores têm buscado identificar as variáveis e os critérios que podem caracterizar novas posturas aplicáveis às diferentes situações existentes, por vezes vinculando-as com conceitos da ecologia, como Newman e Jennings (2008, p.05):

Cidades podem se tornar mais sustentáveis modelando processos urbanos sob princípios ecológicos de forma e função, pelos quais os ecossistemas naturais operam. As características dos ecossistemas incluem diversidade, adaptatividade, interconectividade, resiliência, capacidade regenerativa e simbiose. Estas características podem ser incorporadas no desenvolvimento de estratégias para as fazerem mais produtivas e regenerativas, resultando em benefícios ecológicos, sociais e econômicos.

Mesmo se tratando de um conceito em formação, que talvez nunca chegue a uma definição única, oficial - justamente por tratar de diferentes realidades e suas inter-

¹ Elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, inaugurou o termo Desenvolvimento Sustentável como sendo o “que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

relações -, o que se observa em comum nos autores é a diversidade dos enfoques citados para a melhor compreensão do termo 'sustentabilidade'. No âmbito da Engenharia Urbana, os conhecimentos multidisciplinares inerentes ao projeto urbano podem caminhar em busca de viabilidades concretas para a regeneração de áreas urbanas degradadas, objetivando melhorias que compreendam tanto as necessidades de seus habitantes como as do território habitado.

Neste sentido, o elevado número de corpos hídricos urbanos impactados - ou que passaram por intervenções tecnicistas equivocadas - torna-se uma das principais questões a serem enfrentadas, colocando às cidades o desafio de se reverter as relações até hoje estabelecidas com o ambiente natural. Já não basta mais se apropriar das calhas fluviais como condutos dos efluentes urbanos, disciplinando-as com canalizações ou tamponamentos. Tornou-se necessário se trabalhar no sentido de devolver-lhes importantes características e funções naturais, como permeabilidade e biodiversidade, articulando-se técnicas e materiais para que o resultado final seja mais equilibrado, principalmente ao longo do tempo.

Sob estes preceitos, este trabalho se propõe a estudar o emprego de Ecotécnicas em meio urbano, visando configurar cenários de maior diálogo e respeito com as características e ciclos do território, bem como criar ambientes com maior qualidade para o convívio. Pretende-se alcançar uma base de dados de fácil consulta e assimilação, facilitando o encontro de informações convergentes e complementares para melhor se embasar novas intervenções em drenagem urbana, auxiliando no percurso projetual com um maior esclarecimento sobre as vantagens envolvidas na adoção de técnicas de menor impacto, mais integradas ao meio e configuradoras de um ambiente urbano mais sadio e equilibrado.

Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica para uma melhor contextualização da situação das cidades e de novas perspectivas de enfrentamento de suas questões ambientais (cap. 1). Na sequência, foi feita uma abordagem simplificada acerca dos diferentes sistemas de infraestrutura urbana, analisando-se mais profundamente o sistema de manejo de águas pluviais urbanas, por se considerar que neste elemento reside a maior urgência de enfrentamento e superação de impactos (cap. 2).

Foi então definido o conceito de Ecotécnica Urbana, procurando se apoiar em iniciativas que ao longo dos tempos puderam contribuir para a sua formação (cap. 3). A partir de uma revisão bibliográfica mais específica ao tema, como a Engenharia Natural e a Bioengenharia de Solos, foram elencados critérios para a definição de 8 variáveis que pudessem auxiliar na análise de técnicas construtivas pertinentes ao universo em questão.

A partir desta conceituação, foi feita uma análise da aplicação de Ecotécnicas em Sistemas de Manejo de Águas Pluviais Urbanas (cap. 4), confrontando-se 28 técnicas construtivas, selecionadas a partir do referencial teórico encontrado, com as variáveis desenvolvidas no capítulo 3, a fim de se avaliar o grau de atendimento num sentido mais qualitativo.

Por fim, foi realizada uma discussão dos resultados a partir do cruzamento das informações colhidas em uma matriz, onde as 28 técnicas foram cruzadas com as 8 variáveis, procurando-se sintetizar e melhor ilustrar o resultado do processo de pesquisa e, ainda que preliminarmente, gerar uma base de dados de fácil consulta e assimilação.

Capítulo 1. Evolução das cidades pós-Revolução Industrial

A experiência urbana do século XIX proporcionou uma explosão de crescimento dos assentamentos humanos, impulsionada pela Revolução Industrial inglesa em meados do século XVIII e pelos consequentes processos de industrialização por ela desencadeados, de maneira diferente em cada país ou região do planeta. Sua repercussão dificultou o desenvolvimento de ambientes adequados ao grande número de novos habitantes e, ao passo em que as proporções entre as populações rurais e urbanas se invertiam, surgiam ambientes insuficientes, insalubres.

O conflito central deste processo foi o precário diálogo estabelecido com o meio natural que, para além dos prejuízos ambientais, ocasionou o crescimento de doenças epidêmicas, dadas as condições propícias para seu alastramento. Até hoje convive-se com ecos desta realidade, principalmente nos países menos desenvolvidos ou de menor igualdade social, como ocorre no Brasil, onde aproximadamente 48% dos municípios não possui rede de coleta de esgoto domiciliar (IBGE, 2008).

No decorrer da história a consciência para com estes tipos de impactos foi sendo lapidada, na medida em que a persistência das consequências negativas – e do crescimento das cidades - impulsionou o homem a desenvolver técnicas e tecnologias que apontassem para a superação dos problemas. A busca por um ambiente urbano mais sadio ao longo do séc. XIX promoveu, principalmente em países Europeus e na América do Norte, uma intensa produção de diferentes princípios e ideais urbanos. Choay (1979, p.181) classificou as principais iniciativas ocidentais em três grandes modelos: o Progressista, o Culturalista e o Naturalista. O primeiro propunha a aplicação da racionalidade da ciência e da técnica, a simplicidade e austeridade construtiva, a separação funcional das atividades e a formação do homem universal, representado por Tony Garnier, Owen, Le Corbusier, dentre outros; o segundo acreditava no crescimento orgânico das cidades, nos valores simbólicos dos arquétipos barrocos, nos edifícios-monumentos e na multiplicidade das relações interpessoais, tendo como principais expoentes Camillo Sitte, Ebenezer Howard e Raymond Unwin; e o terceiro, basicamente uma proposta anti-industrialista, negava o protagonismo do progresso e da tecnologia, colocando a arquitetura numa posição subordinada à natureza, tendo como precursor Frank Lloyd Wright.

Um primeiro grande movimento reformatório de centros urbanos saturados,

representativo do pensamento progressista, foi o de substituição da cidade irregular, não planejada, por uma mais moderna, regular, higienizada. Como exemplo tem-se a reformulação de Paris, idealizada pelo então prefeito Barão de Haussmann na metade do séc. XIX. Grande parte de seu núcleo medieval foi demolida, construindo-se em seu lugar um ambiente urbano ordenado, composto por um traçado geométrico com eixos muito definidos, convergência para monumentos e edificações governamentais, espaços públicos abertos e gabarito constante (fig. 1). A força de suas ações resulta até hoje numa das cidades mais *glamourosas* da Europa, ainda administrada sob aquelas diretrizes, ordenadoras do espaço e de seus habitantes.



Figura 1: Vista aérea do Arco do Triunfo, Paris. Fonte: Ruyi Book Travel.

No Brasil, esta corrente higienista gerou processos similares, principalmente em grandes cidades no início do séc. XX. Intervenções como as geradas pelo Eng^o Saturnino de Brito em importantes centros como Santos (fig. 2 e 3), Recife e Natal, assim como o Plano Agache para o Rio de Janeiro na década de 20 (fig. 4) e a retificação do Rio Tietê em São Paulo na década de 40 (fig. 5), apresentam intenções semelhantes de ordenamento do espaço urbano, higienizadoras, inclusive desapropriando suas populações, que por fim se desenvolveram sob as mesmas bases precárias em outros sítios, até então desocupados.



Figura 2: Plano urbanístico de Saturnino de Brito para Santos, com Avenidas Parque, 1910. Fonte: Viva Santos, 2004.



Figura 3: Obras da canalização do Ribeirão do Itororó, início do séc. XX. Fonte: Viva Santos, 2004.



Figura 4: Rio de Janeiro - Avenida Rio Branco, por volta de 1920. Fonte: Marcelo Almirante, 2007.



Figura 5: Marginais do rio Tietê, na época de sua construção, junto à Ponte das Bandeiras, 1942. Fonte: Agência Estado, 2008.

Paralelamente, conformando o pensamento Culturalista - contrariamente às ideias de Haussmann -, atuava na Espanha o engenheiro e político Ildelfonso Cerdá, também buscando uma maior regularização do tecido urbano, mas ao mesmo tempo atento a manifestações culturais de interesse histórico e social (arte urbana). Em 1859 elabora o plano homônimo para Barcelona (fig. 6) e em 1867 publica o livro “Teoria Geral da Urbanização”, alcunhando o termo e priorizando o sistema viário como principal elemento ordenador do espaço.

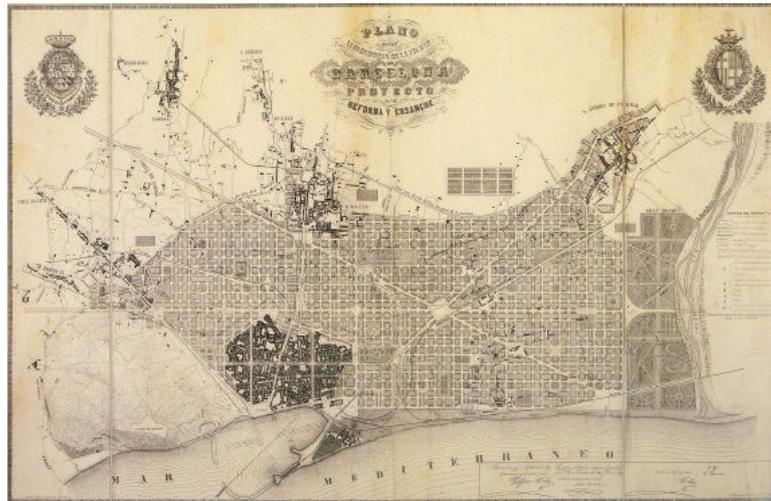


Figura 6: Plano Cerdá para Barcelona. Fonte: Arq. Carlos Barón, s/ data.

Neste mesmo sentido, em 1889 o arquiteto austríaco Camilo Sitte publica o livro “A construção das cidades segundo seus princípios artísticos”, propondo o enfrentamento da questão urbana a partir do resgate de valores tradicionais, como praças, marcos e monumentos. Manifesta-se contrário à aplicação das diretrizes de Haussmann para Viena, pois considerava a sobreposição reguladora da vertente racional um atentado à história específica de cada localidade, não acreditando na aposta civilizatória de suas intervenções, preferindo a arte à seriação.

Na Inglaterra, Ebenezer Howard publica em 1898 o livro “Amanhã, um caminho pacífico para a verdadeira reforma”, apontando um novo modelo de assentamento humano como ideal: a Cidade Jardim. Propunha a fusão entre as qualidades do campo com a praticidade da vida urbana, a partir de núcleos de tamanho definido – entre 32.000 e 50.000 habitantes -, com forma concêntrica e circundados por linha férrea. Não só a teoriza, como se empenha na construção da primeira experiência e em 1902 inaugura Letchworth, nos arredores de Londres (fig. 8).



Figura 7: Plano de Camillo Sitte para Marienberg, 1903. Fonte: Der Städtebau, 1904.

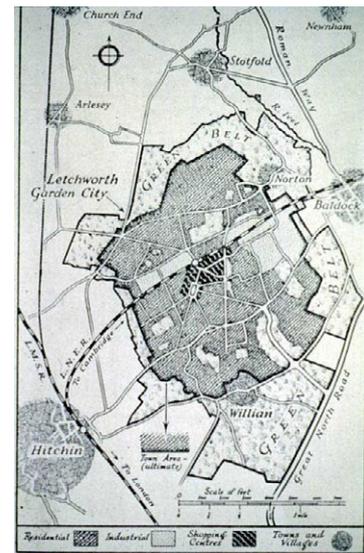


Figura 8: Implantação de Letchworth, 1902. Fonte: University of Maryland, 2005.

Nas décadas seguintes o arquiteto francês Tony Garnier, contrário às ideias de Camilo Sitte, desenvolveu uma arquitetura moderna e funcional, reafirmando a tendência Progressista, avessa à concepção orgânica do Culturalismo. Trabalhou com o conceito de planta livre, cobertura em terraço, paredes de vidro, elementos com uma racionalidade e funcionalidade incomuns ao seu tempo, aproximadamente duas décadas antes da enunciação destes princípios pelo Movimento Moderno. Tido como o precursor deste movimento, também se preocupou com a planificação de centros urbanos, desenvolvendo modelos de Cidades Industriais (fig. 9) extremamente ordenadas e setORIZADAS - embora nunca tenham sido construídas.

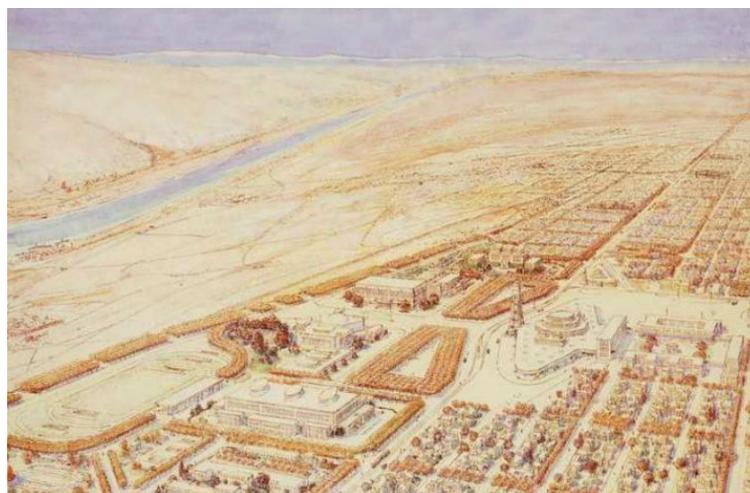
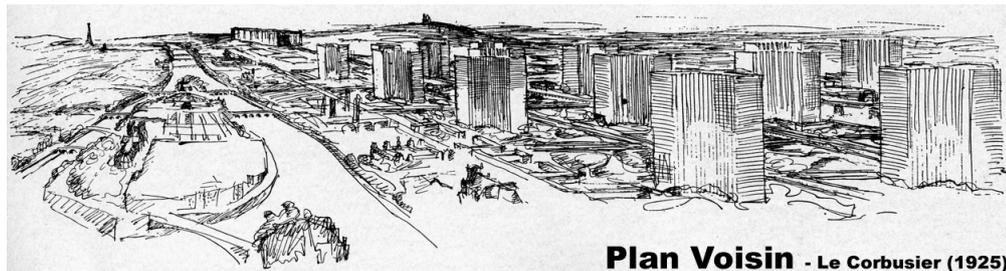


Figura 9: Proposta para uma Cidade Industrial de Tony Garnier, 1932. Fonte: Percorsi di Storia dell'Architettura e delle Arti Decorative, 2004.

Apesar da repercussão negativa que seu pensamento provocava no meio acadêmico, ganhou força em 1933, no IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM) onde os arquitetos, urbanistas e historiadores presentes idealizaram a Carta de Atenas, um manifesto sobre os preceitos da cidade funcional a serem aplicados em todo o planeta, idealizando uma construção espacial reguladora de funções e dinâmicas sociais, bem como formadora de um novo homem, uma nova civilização, consoantes com o trabalho de Garnier.

O Movimento Moderno vinha se desenvolvendo devido também à necessidade de reconstrução de cidades no período pós-guerra (1ª Guerra Mundial) e teve como maior expoente Le Corbusier, arquiteto suíço naturalizado francês. Durante o início do séc. XIX refinou seu pensamento arquitetônico e urbanístico até alcançar a síntese estética dos preceitos do modernismo, assim como desenvolvendo propostas teóricas de grande escala, como o Plan Voisin em 1925 (fig. 10 e 11).



Plan Voisin - Le Corbusier (1925)

Figura 10: Le Corbusier, Plan Voisin, 1925. Fonte: Urbanidades, 2008.

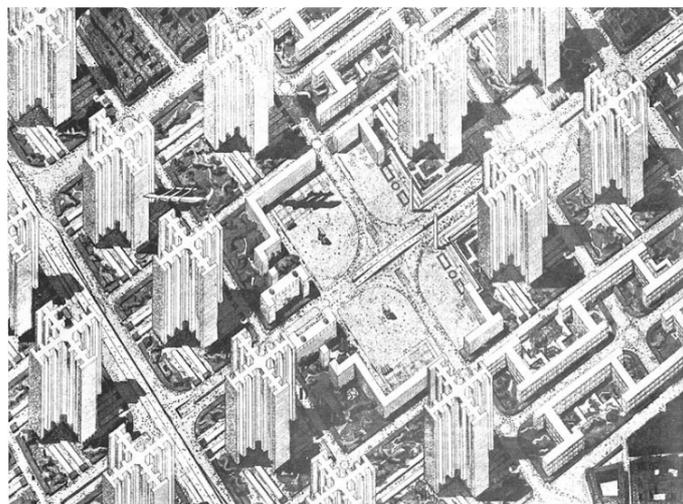


Figura 11: Le Corbusier, Plan Voisin, 1925. Fonte: Ped Shed, 2006.

Le Corbusier exerceu grande influência em diversos países do mundo,

encontrando-se com artistas, políticos e colegas de profissão para compartilhar seu pensamento. No Brasil, manteve contato estreito com o arquiteto Lúcio Costa, participando, em 1936, da fase de concepção do edifício do Ministério da Educação e Cultura² na cidade do Rio de Janeiro, considerado por muitos como marco inicial da Arquitetura Moderna do Brasil.

Ao mesmo tempo, deslocado da discussão centrada nas cidades – e problemáticas – europeias, Frank Lloyd Wright apresenta ao público uma proposta de cidade ideal chamada Broadacre City, em Nova Iorque, 1935 (fig. 12). Elaborou, junto a seus discípulos, uma grande maquete expressando sua postura mais orgânica e generosa quanto à concepção do espaço de morar, circular etc. Colocava como principal crítica aos demais modelos a alienação que as cidades industriais proporcionavam aos seus habitantes, ao se estruturarem através de densas aglomerações em torno das grandes fábricas, recaindo a um estilo de viver artificializado.

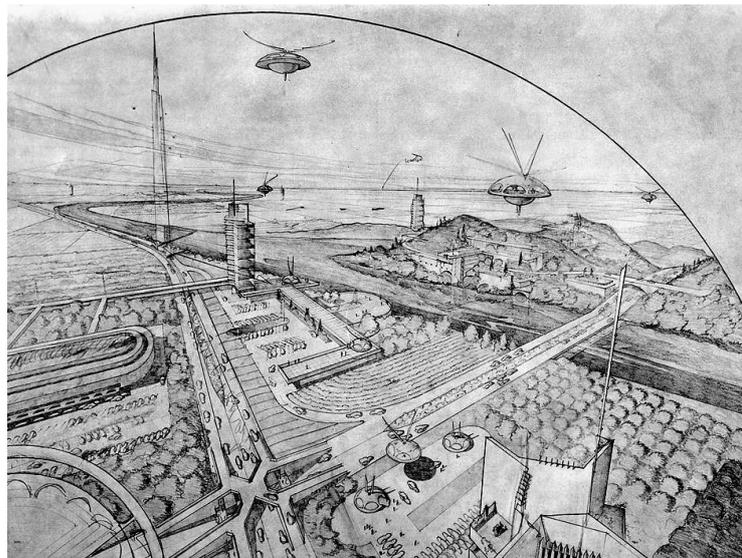


Figura 10: Broadacre City, Frank Lloyd Wright. Fonte: forum.skyscraperpage.com, 2008.

O resultado é uma cidade dispersa, estruturada por parcelas de terra onde as pessoas poderiam desenvolver todas suas necessidades vitais, inclusive plantar seus alimentos, ao mesmo tempo em que toda a tecnologia disponível estaria presente para facilitar seu cotidiano, como os diversos modos de transporte, por exemplo. Imaginava que este modelo poderia se espalhar de maneira interligada por todo o país, moldando a sociedade norte-americana sob valores mais significativos, naturais.

² A equipe de projeto ainda contava com a participação de Carlos Leão, Oscar Niemeyer e Afonso Eduardo Reidy.

Quase um século se passou e muitos dos modelos urbanísticos desenvolvidos na transição do séc. XIX para o XX, quando o urbanismo nascia como ciência, não chegaram a ser implementados. Algumas porções de cidades, principalmente nas regiões centrais de ricas metrópoles, passaram por remodelações que permitiram experimentar na prática a base teórica desenvolvida, ainda que de forma parcial, pontual. Até mesmo as cidades-jardim, que chegaram a ser edificadas na Inglaterra, não se concretizaram de forma sistêmica, como um projeto de sociedade.

Passado algum tempo, o pensamento urbano vem constatando que as cidades apresentam uma complexidade muito dinâmica: são espontâneas, imprevisíveis, e não podem ser resolvidas unicamente a partir de uma ordenação socioespacial (fig. 13). A inviabilidade da construção de espaços – e sociedades – sadios se perpetua na desconsideração de aspectos sociais e ambientais ao se planejar as intervenções.



Figura 11: Favela Morumbi, São Paulo, 2008. Fonte: Paul Kedrosky, 2008.

Embora algumas obras de cunho técnico e científico possam trazer certos benefícios, como o controle de doenças e pragas, não é mais possível se negar o fato de que a rápida expansão das cidades devastou o meio natural, acarretando nítidas alterações ambientais, como baixa umidade do ar, diversos tipos de poluição, saneamento e drenagem insuficientes, supressão de vegetação, fragmentação do território e de suas funções ecológicas, dentre outras. Tais transformações, associadas a uma postura especulatória de produção do espaço, que se apropriou dos recursos naturais sem se atentar à capacidade de suporte e recuperação do meio, já parecem apresentar duros e crescentes reflexos aos seus habitantes - e porque não, promotores.

1.1. Crise ambiental e urbana do séc. XX

A humanidade se encontra num momento crucial para uma possível reversão deste quadro de sucessivos impactos ambientais, já que possui muitas das ferramentas e conhecimentos técnicos necessários para este enfrentamento, embora de forma dispersa e desconexa. É possível se desenvolver mais habilidades para a aplicação desta bagagem, através de políticas e iniciativas que envolvam a sociedade de forma generalizada e consciente de um pacto pela melhoria de vida nos espaços construídos sob bases equivocadas, ultrapassadas.

As bases geradoras de práticas degradantes são diversas, por vezes difíceis de serem diagnosticadas com precisão. A própria forma como são comumente encaminhadas, no Brasil, as contratações públicas para projeto e execução de obras de infraestrutura urbana - através de processos licitatórios visando apenas o menor preço, pouco específicas quanto à qualidade dos serviços prestados -, já coloca obstáculos para que sejam desenvolvidas propostas mais equilibradas, com processos construtivos que apresentem maior controle de seus impactos.

Também concorre para este quadro o fato de que o mercado, num cenário de baixa capacitação e atualização profissional, motivação social, aceitação cultural e disponibilidade de recursos, não assimila com tanta rapidez as inovações científicas e tecnológicas produzidas em diferentes centros de pesquisa, movendo-se com a inércia necessária para a manutenção das cadeias produtivas instaladas, em pleno funcionamento. Por outro lado, também não se encontra com facilidade informações sobre técnicas e produtos inovadores em condições de serem aplicados em diferentes escalas, bem como diretrizes e ações que informem a sociedade das vantagens envolvidas, trazendo ao debate e à consciência pública novos parâmetros de decisão.

Considerando-se que a busca por novas possibilidades de intervenção e transformação espacial possam trazer mais qualidade ao ambiente urbano, coletivo, é alarmante a falta de empenho generalizado para esta mudança de direção, tanto pelo poder público como pela esfera privada brasileira. Parecem não ter alcançado ainda uma maior consciência de seus potenciais transformadores, como observa Acselrad (2001, p.30):

Se o Estado e o empresariado – forças hegemônicas no projeto desenvolvimentista – incorporam a crítica à insustentabilidade do modelo de desenvolvimento, passam a ocupar também posição privilegiada para dar conteúdo à própria noção de sustentabilidade.

Esta mudança de orientação se encontra mais avançada em países desenvolvidos, que perceberam há mais tempo os frutos do desenvolvimento "a qualquer custo", e ponderam sobre possíveis alternativas, realizando experiências construtivas portadoras de novos conceitos. Países como Alemanha, Inglaterra e Canadá têm realizado intervenções que buscam aliar à edificação do ambiente urbano novas possibilidades de fruição do território e de suas dinâmicas. Neste sentido, profundas transformações podem ser alcançadas.

Visando a um cenário de maior sustentabilidade, modelos de desenvolvimento que trazem consigo uma reflexão mais aprofundada sobre as variáveis determinantes da qualidade técnica, ambiental e social do espaço construído, mostram-se como possíveis caminhos para um ambiente urbano mais justo e equilibrado, como observa Higuera (2006, p.133):

O objetivo básico continua sendo o desenvolvimento econômico, mas se passou de uma visão exclusivamente centrada na industrialização do território para outra muito mais ampla, onde as novas atividades apareceram diversificadas em formas de serviços, turismo, lazer, agroindústria, etc, dentre os quais a linha ambiental tem um protagonismo singular nas últimas décadas, sobretudo ante as graves consequências globais que se detectam no planeta.

Por outro lado, à maioria dos países em estágios anteriores de desenvolvimento ainda cabe uma difícil escolha. Podem optar por um caminho mais fácil, continuando a crescer sob as mesmas bases desenvolvimentistas, muitas vezes adquirindo tecnologias e equipamentos obsoletos de outros países, ou buscar a superação das experiências insustentáveis, desenvolvendo novos modelos de crescimento mais apropriados para o séc. XXI, conscientes das dificuldades pertinentes às mudanças de matrizes energéticas e tecnológicas.

Dentro deste cenário, o Brasil ocupa um lugar muito especial, pois apresenta características próprias tanto de países desenvolvidos – arcabouço legal, base tecnológica, capacitação profissional – como de países em desenvolvimento – desigualdade social, baixa instrumentalização, concentração de riquezas -, além de uma quantidade considerável de elementos naturais a serem criteriosamente explorados. A partir de experiências locais, impulsionadas por graduais transformações e otimização de seus recursos, pode-se alcançar respostas significativas às diversas demandas dos habitantes de seu vasto território.

Mais do que nunca é preciso se encontrar vias para se repensar as posturas construtivas em escala global, respeitando as realidades locais. Da soma de experiências e realizações que se pretendam mais justas e equilibradas poderá nascer um novo pacto social em

prol desta superação. Portanto, torna-se necessário o estudo e o emprego crescente de intervenções urbanas que busquem trazer de volta ao território algumas das suas características naturais perdidas ao longo dos últimos séculos, mesmo considerando-se que, na maior parte das vezes, podem ser irreversíveis.

1.2. Perspectivas urbanas sustentáveis

Atualmente, não se observa a existência de grandes movimentos que proponham novos modelos urbanos em escala global, que se pretendam dissemináveis em diferentes porções do planeta, como acreditava o Movimento Moderno. O que se percebe é o surgimento de propostas mais espalhadas pelo mundo e aplicáveis a determinadas realidades, mais específicas e localizadas, reafirmando a natureza diversa dos assentamentos humanos.

Um dos principais objetivos atuais é se pensar em novas estratégias que permitam aos modelos urbanos territoriais serem mais compatíveis com o meio ambiente, gerando documentos de planejamento territorial, ambiental e urbano articulados, ordenando-se rede viária, equipamentos públicos, redes de zonas verdes e espaços livres, de "respiro".

Assim ocorre com a proposta da espanhola Higuera para o conceito de “Cidade Bioclimática” que, segundo a autora (2006, p.15), não se resume à soma de edifícios que incorporam técnicas de acondicionamento passivo, mas sim a abordagem sistêmica, que visa fechar os ciclos ecológicos de matéria e energia, reduzir as pegadas dos assentamentos, utilizando os recursos disponíveis de maneira eficiente e minimizando os impactos negativos sobre o ar, água e solo. Ainda acrescenta que se deve adequar os traçados urbanos às condições singulares do clima e do território, entendendo que cada situação geográfica deve gerar um urbanismo característico e diferenciado com respeito a outros lugares.

O entendimento das cidades funcionando como ecossistemas, formando conjuntos cuja complexidade é superior à mera soma de suas partes, as levam a ser descritas pelos fluxos dos intercâmbios de matéria, energia e informação que as percorrem (*ibid*, p.59) Porém, seus metabolismos são lineares, ou seja, produzem um transporte de materiais horizontal, disperso, diferente dos ecossistemas naturais, como as árvores. A principal particularidade das cidades no mundo desenvolvido reside nos grandes percursos horizontais

dos recursos de água, alimentos, eletricidade e combustíveis, capazes de impactar outros ecossistemas, até mesmo em escala planetária. Os centros urbanos não possuem um metabolismo de ciclo fechado (circular), e também não dispõem de uma fonte de energia inesgotável (como o Sol) que garanta indefinidamente seu funcionamento – como ocorre nos ecossistemas naturais.

Higueras propõe que se estabeleça uma síntese das condicionantes do meio (diagnóstico), as condições do microclima local, sobretudo vento e sol, para então se traçar estratégias e alcançar os objetivos. Alguns parâmetros para o Urbanismo Bioclimático são:

- ruas adaptadas à topografia e traçado viário estruturante que responda a critérios de insolação e vento local;
- zonas verdes adequadas às necessidades de umidade e evaporação ambiental (em superfície, conexão e espécies vegetais apropriadas);
- morfologia urbana e tipologia 'edificatória' diversas, que gerem fachadas bem orientadas e uma adequada proporção de pátios (de quadra) segundo o clima;
- parcelamento que gere edifícios com fachadas e pátios bem orientados;
- limitação do tráfego e estacionamento de veículos;
- localização das atividades produtivas;
- potencialização de serviços coletivos;
- redução dos custos de manutenção.

Residentes na Austrália, Newman e Jennings (2008, p.03), também reforçam a ideia de se utilizar princípios de organização da natureza no planejamento urbano, a fim de reintegrar as cidades e seus habitantes ao ambiente biorregional, resgatando a definição para “biorregião” de Thayer:

Uma biorregião é literalmente e etimologicamente um “lugar-vivo” - uma única região definida por limites naturais (em preferência a políticos) com características geográficas, climáticas, hidrológicas e ecológicas, capaz de suportar comunidades humanas e não humanas vivas. Biorregiões podem ser variadamente definidas pela geografia ou divisores de água, ecossistemas de plantas e animais similares, e relacionadas a formações identificáveis (ex: cordilheiras de montanhas particulares, campinas, zonas costeiras) e pelas culturas humanas singulares que crescem dos limites naturais e potenciais da região.

De forma didática, os autores utilizam os “Dez Princípios de Melbourne para Cidades Sustentáveis” (2002), procurando estabelecer uma metodologia de planejamento para municípios que pretendam uma maior reflexão e engajamento em suas gestões:

- 1. Visão: desenvolver visões a longo prazo baseadas na sustentabilidade; igualdade intergeracional, social, econômica e política; e suas individualidades;
- 2. Economia e Sociedade: conseguir segurança econômica e social a longo prazo;
- 3. Biodiversidade: reconhecer o valor intrínseco da biodiversidade e dos ecossistemas, protegê-los e recuperá-los;
- 4. Pegadas Ecológicas: permitir às comunidades a redução de suas pegadas ecológicas;
- 5. Modelar Cidades em Ecossistemas: as cidades podem se tornar mais sustentáveis modelando processos urbanos sob princípios ecológicos de forma e função, pelos quais os ecossistemas naturais operam;
- 6. Sentido de Lugar: reconhecer e construir as distintas características das cidades, incluindo os seus valores humanos e culturais, história e sistemas naturais;
- 7. Empoderamento: empoderar pessoas e promover a participação;
- 8. Parcerias: expandir e permitir redes cooperativas a trabalharem para um futuro comum, sustentável;
- 9. Produção e Consumo Sustentáveis: promover produção e consumo sustentáveis através da utilização de tecnologias ambientalmente saudáveis e gestão de demanda eficaz;
- 10. Governança e Esperança: permitir a melhoria contínua baseada na responsabilidade, transparência e boa administração.

Portanto, de maneira geral, procuram potencializar os recursos locais, principalmente humanos, para o estabelecimento de um pacto comum em busca de maior respeito e qualidade ambiental.

Da mesma forma que na experiência de Melbourne, Prince George's County, um condado do estado norte americano de Maryland, também desenvolveu uma proposta de planejamento com base metodológica que orienta qualquer comunidade interessada em alcançar posturas mais sustentáveis a como se reestruturar. Embora seja bastante focado no sistema de manejo de águas pluviais, alcança maior abrangência ao passo em que a transformação ambiental urbana se efetive em diversos âmbitos, envolvendo diversos atores e setores sociais.

O Departamento de Recursos Ambientais, através de sua Divisão de Planos e Programas, desenvolveu um método de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID), resultando em um manual que sistematiza a forma de se planejar e operar sistemas de manejo de águas pluviais mais sustentáveis. Seus objetivos e princípios

são (Prince George's County, 1999, p.13):

- Proporcionar uma melhor tecnologia de proteção ambiental das águas receptoras;
- Oferecer incentivos econômicos para encorajar práticas de desenvolvimento ambientalmente sensíveis;
- Desenvolver todo o potencial do planejamento local e *design* ecologicamente sensíveis;
- Incentivar a educação e participação pública para a proteção ambiental;
- Ajudar a construir comunidades baseadas em gestão ambiental;
- Reduzir os custos de construção e manutenção das infraestruturas de drenagem pluvial;
- Introduzir novos conceitos, tecnologias e objetivos para gestão de águas pluviais, como micro gestão e paisagens multifuncionais características da paisagem (áreas de biorretenção, valas e áreas de conservação); imitar ou reproduzir as funções hidrológicas; e manter a integridade ecológica/biológica dos fluxos receptores;
- Incentivar a flexibilidade das regulamentações que permitam uma engenharia e planejamento local inovadores para promover princípios de “crescimento inteligente”;
- Incentivar o debate sobre a viabilidade econômica, ambiental e técnica e a aplicabilidade das práticas correntes e abordagens alternativas sobre águas pluviais.

Baseado nos princípios de LID, Tavanti (2009, p.48) coloca que o controle de quantidade e qualidade, por intermédio de práticas integradas e estratégias de projeto, que incluem: recarga subterrânea, retenção ou detenção para armazenamento permanente; controle e captura de poluentes, valorização estética da propriedade; e uso múltiplo das áreas, pode ser alcançada por intermédio de:

- Minimização de impactos por águas pluviais, incluindo diminuição de áreas impermeáveis, conservação de recursos e ecossistemas naturais, manutenção de cursos de drenagem, redução de tubulações e minimização de movimentação de terra ainda no planejamento;
- Dispor de medidas de armazenamento dispersas, pelo uso de práticas que retenham o escoamento, para amenizar ou restaurar distúrbios inevitáveis ao regime hidrológico;
- Manutenção do tempo de concentração de pré-desenvolvimento por estrategicamente propagar fluxos e manter o tempo de deslocamento e o controle de descarga; e
- Implementação de programas de educação pública efetiva para encorajar proprietários a usar medidas de prevenção à poluição e a manter práticas de gestão da paisagem hidrologicamente funcional no lote.

O referido manual, chamado “Estratégias de *Design* para Desenvolvimento de Baixo Impacto - uma abordagem de *design* integrado” (*Low-Impact Development Design Strategies - An Integrated Design Approach*) estrutura então procedimentos de análise, planejamento e implementação destes princípios, baseado na experiência do condado através de seu processo de transformação espacial.

Sob a perspectiva de se buscar novas posturas de ocupação e gestão do território, é crescente o número de iniciativas e experiências surgindo em diferentes lugares, contendo semelhanças mas, principalmente, trabalhando suas especificidades e diferenças. Da mesma forma que as condições naturais (clima, relevo, hidrologia etc) se alteram nas diferentes regiões do planeta, também se alteram as potencialidades e restrições que podem guiar novas intervenções, mais certeiras e apropriadas.

Capítulo 2. Sistemas de infraestrutura urbana

São diversos os elementos que constroem e qualificam as cidades, viabilizando a ocupação humana ao proporcionar boas condições de habitabilidade, convívio, circulação e demais funções urbanas. Basicamente divisíveis entre insumos de 'entrada' (água potável, energia elétrica, águas pluviais, gás etc) e 'saída' (esgotos, águas pluviais, resíduos sólidos, gasosos etc), esses sistemas dependem de operações e gerenciamentos que muitas vezes envolvem diferentes esferas e saberes, a fim de se garantir um ambiente urbano minimamente saudável.

Para Mascaró (2005, p.13) além de uma mera relação entre áreas edificadas e livres, o espaço urbano é constituído por redes de infraestrutura que, dependendo de suas concepções, podem atuar como elementos de associação entre forma, função e estrutura, ou mesmo como fragmentos desarticulados entre si. Dentre possíveis classificações dos sistemas – e subsistemas –, sugere que sejam implementadas segundo as funções que desempenham, como: sistema viário (circulação e drenagem pluvial); sistema sanitário (abastecimento de água potável e esgotamento sanitário); sistema energético (energia elétrica e gás); e sistema de comunicações (telefonia, internet, televisão).

Apesar desta interessante simplificação, os sistemas de infraestrutura urbana podem ser elencados de uma maneira mais detalhada, separando-se o sistema viário do sistema de manejo de águas pluviais, a fim de se verificar suas novas potencialidades de funcionamento. Também pode ser incluído nesta classificação o Manejo de Resíduos Sólidos e de Limpeza Urbana, como sugere a Lei 11.445/2007 (que estabelece diretrizes nacionais para o Saneamento Básico³), procurando salientar a importância que estes serviços representam, como também os dispositivos e equipamentos necessários para seus bons desempenhos.

Espacialmente, os sistemas de infraestrutura podem fazer parte da ambiência urbana ou não. Dependendo de suas características físicas ou de funcionamento, por vezes são instalados de forma a não possibilitar o contato direto com pessoas e animais, por oferecer incomodidades ou até mesmo riscos. É o caso do Sistema de Esgotamento Sanitário, fundamental à salubridade urbana mas frequentemente apartado de seu convívio,

³ O Livro II da Lei Nacional de Saneamento Básico trata dos conceitos, características e interfaces dos Serviços Públicos de Saneamento Básico como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana; e manejo das águas pluviais urbanas.

principalmente as redes coletoras. Entretanto, é possível encontrar-se experiências onde o tratamento biotecnológico possibilita a conformação de espaços de convívio, como em lagoas de tratamento e outros dispositivos de menor escala, criados para permitir usos múltiplos em vazios urbanos.

Desta forma, por representarem papéis de extrema relevância para as dinâmicas da cidade, é de grande importância que se desenvolvam meios para que a implementação, gestão e manutenção da infraestrutura urbana ocorra com o menor índice de impactos possível, bem como de geração de resíduos e degradação. A seguir, lista-se algumas características dos Sistemas de Infraestrutura Urbana considerados essenciais à produção do espaço urbano:

2.1. Sistema Viário

É constituído pelas vias e dispositivos que, junto às outras áreas públicas resultantes dos parcelamentos de solo (verdes e institucionais) conformam a esfera do convívio, circulação e desempenho das funções coletivas urbanas. Além de configurarem predominantemente a ambiência das cidades, recebem e comportam os demais sistemas de infraestrutura (aéreos, superficiais e subterrâneos), tornando extremamente importante seu planejamento e desenho. Devem estabelecer um bom diálogo com o território onde se instalam – topografia, tipo de solo, declividade etc – para proporcionarem um bom desempenho à maioria das funções e atividades urbanas.

A hierarquia e a estrutura das vias também devem ser bem planejadas, de modo a se permitir uma eficaz circulação dos diferentes modos de transporte coletivos e individuais, sem gerar conflitos entre os mesmos. Neste sentido, há que se considerar dispositivos de orientação, controle e acessibilidade como itens fundamentais à circulação urbana, para garantir conforto e segurança aos diferentes veículos e usuários do sistema.

Tecnicamente, existem diversas maneiras de se implementar uma via urbana, desde a escolha da tipologia, estrutura e hierarquia, da segregação ou compartilhamento de tráfego, até a seleção dos materiais construtivos, dispositivos e articulações entre os elementos. Para além da circulação, as vias exercem (ou podem exercer) importantes funções com relação à drenagem urbana, funcionando como calhas condutoras das águas pluviais. Portanto, será

dada especial atenção ao fluxo das águas no meio urbano mais adiante.

2.2. Sistema de Abastecimento de Água Potável

É formado pelas instalações necessárias para o suprimento das demandas humanas por água potável nas cidades, tanto em quantidade como em qualidade. Baseia-se num ciclo de extração, uso e devolução deste recurso natural ao meio, que pode tanto comprometer como mitigar a influência dos diversos tipos de uso urbanos, principalmente nos corpos d'água mais próximos das cidades. Funciona com pressão e vazão decrescente ao passo em que avança, seguindo o seguinte percurso: captação, adução, recalque, tratamento, reservação, distribuição e consumo. Assim que consumida, passa a compor o Sistema de Esgotamento Sanitário.

Por se tratar de um recurso de extrema importância à saúde humana, é um sistema idealmente implementado pelo poder público, que o opera e monitora diariamente, financiando-o através da cobrança de tarifas. Em algumas localidades, onde há indisponibilidade de captação em larga escala, esta se faz através de poços artesianos, preferencialmente profundos, dado o risco de contaminação dos lençóis por outras atividades e descartes humanos.

Também ocorre, em certas localidades habitadas, a quase ou total escassez de água, seja em quantidade como em qualidade, obrigando as populações ali fixadas a captar e aproveitar, de maneira bastante rudimentar, as águas das chuvas. É o caso do território semiárido brasileiro, onde é desenvolvido o “Programa 1 milhão de Cisternas (P1MC)” pela Articulação no Semiárido Brasileiro - ASA⁴, que atua junto à população desprovida de fontes permanentes e saudáveis de água na construção de cisternas com aproximadamente 16 mil litros, suficientes para as famílias atravessarem até 8 meses de estiagem com um consumo mínimo garantido. A água é reservada e utilizada para o preparo de alimentos, higiene, limpeza, dessedentarização de humanos e animais, tornando necessária a manutenção das boas condições de limpeza de todo o sistema, evitando-se assim o contato com matéria orgânica, fezes de animais e outras formas de contaminação da água a ser consumida.

⁴ Fórum que reúne centenas de entidades sem fins lucrativos atuantes no semiárido brasileiro.

Devido à distribuição bastante desigual de água pelo planeta, sua falta representa para algumas localidades a maior ameaça à permanência de populações inteiras, já apontando para os próximos anos a ocorrência de vetores migratórios, em condições muito precárias. Por outro lado, como ocorre em boa parte do Brasil, sua má utilização e desperdício vem se mostrando como um dado cultural difícil de ser superado apenas através de campanhas de conscientização, o que já aponta para um maior controle fiscalizatório e financeiro sobre o seu uso (industrial, agropecuário, turístico etc).

2.3. Sistema de Esgotamento Sanitário

Constitui-se de instalações prediais, redes de coleta, transporte e tratamento dos resíduos, abrangendo uma série de dispositivos e acessórios para seu funcionamento e manutenção. Atua complementarmente ao sistema de abastecimento de água, embora por gravidade e com vazão crescente ao passo em que se aproxima de seu destino final: o lançamento dos dejetos nos cursos d'água ou, preferencialmente, nos coletores-tronco que os conduzirão às Estações de Tratamento de Esgoto - ETE.

Apesar de ser majoritariamente constituído por tubos e manilhas, o atendimento eficaz às diferentes situações urbanas necessita desde simples conexões a dispendiosas Estações Elevatórias, a fim de se garantir a estanqueidade e condução dos dejetos, evitando-se a contaminação dos solos por onde percorrem. Tem início na esfera privada, com instalações prediais de diferentes tipos (residencial, comercial, industrial, hospitalar etc), o que coloca uma grande responsabilidade a toda a sociedade quanto à gestão dos dejetos produzidos e lançados, não permitindo vazamentos e conseqüentes contaminações de solos e águas subterrâneas.

No fim da linha é possível se tratar os dejetos em diferentes tipos de Estações, como Lagoas de Estabilização, Lodo Ativado, Filtros Biológicos Aeróbios, Sistemas Anaeróbios, de Deposição no Solo etc. Apesar de se mostrarem necessários e vantajosos, todos os sistemas terminam por também produzir resíduos, como o lodo, o que aponta para a continuidade do enfrentamento dos esgotos até o fechamento total de sua cadeia. Atualmente este lodo pode ser utilizado para aterro e compactação de Aterros Sanitários, adubação controlada de áreas agrícolas, fabricação de tijolos, dentre outros.

2.4. Sistema Energético

É composto por redes ou dispositivos de fornecimento de diferentes fontes de energia, basicamente elétrica e gás combustível, as mais utilizadas ao redor do planeta por serem de fácil manuseio, seguras e relativamente limpas. A energia elétrica pode ter várias fontes de origem primária, ou seja, outros tipos de energia convertidas em eletricidade, como energia solar, hidráulica, térmica, geotérmica, nuclear, eólica etc, de acordo com as ofertas e possibilidades em cada localidade.

O sistema de energia elétrica, independente de quantas formas de produção presente, pode operar de forma a interconectar as diferentes unidades produtoras através das linhas de transmissão, uma vez que todas geram eletricidade e dispõem de meios para normatizar o seu fornecimento. Isto apresenta muitas vantagens, dentre elas a maior garantia de continuidade do fornecimento em casos de falta de recursos, avarias, panes etc. Complementarmente aos sistemas de geração, tem-se o sistema de distribuição, composto pelas estações transformadoras, linhas de transmissão e subtransmissão (postamentos aéreos, redes subterrâneas) e por fim as instalações prediais de diferentes portes (residenciais, comerciais, industriais etc).

O sistema de gás combustível canalizado, originariamente utilizado para a iluminação pública, foi se expandindo ao passo em que novas e grandes jazidas foram sendo descobertas – bem como a tecnologia necessária para sua segura distribuição. Atualmente é também utilizado para o aquecimento e cocção domiciliares, diversos usos comerciais e industriais e, ainda, para propulsão de veículos - no Brasil, sua crescente utilização se deve à construção do gasoduto Brasil-Bolívia, que totaliza mais de 3.000 km de rede canalizada responsável pela sua distribuição pelos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O sistema de distribuição de gás é constituído pela usina de produção/extração de gás natural, armazenamento (compressoras, misturadoras, filtradoras etc), rede(s)-suporte (alta pressão), estações reguladoras de pressão e rede de distribuição (baixa pressão). O gás natural (metano) tem ganho mais espaço no mercado por ser mais leve que o ar e propagar-se rapidamente em caso de vazamentos; já o Gás Liquefeito de Petróleo (propano e butano), por ser mais pesado, se acumula nas partes mais baixas gerando maior perigo de acidentes, tornando-o menos seguro e atrativo.

2.5. Sistema de Comunicações

São as redes transmissoras de informação, cada vez mais necessárias para a vida urbana em seus diferentes níveis, desde o individual, empresarial até a administração pública. É basicamente constituído pelas redes de telefonia, televisão a cabo e internet. Entretanto, ultimamente passa por uma grande transformação onde a rede física vem sendo substituída pela rede sem fio (*wireless*), como é o caso da internet e da telefonia móvel.

Este fenômeno vem gerando altos investimentos tecnológicos, incluindo-se novos cabos, fibras óticas, antenas, satélites, *modems*, *routers*, telefones celulares e tantos outros equipamentos que têm proporcionado uma significativa modificação nos hábitos e possibilidades dos seus usuários. Como elemento central desse desenvolvimento está o computador, que deixou de ser um equipamento extremamente técnico e inacessível nas décadas de 70 e 80, para se tornar um dos itens de consumo mais (potencialmente) disseminados nos centros urbanos atualmente.

Além da telefonia, televisão a cabo e internet, também vêm sendo desenvolvidos sistemas de comunicação urbana muito interessantes, como os Sistemas de Tráfego Inteligente – STI. Mais difundido em países europeus e norte-americanos, os *Intelligent Traffic Systems - ITS* proporcionam ao ambiente urbano uma maior possibilidade de gerenciamento do tráfego de automóveis, transporte de massa (ônibus, trens, metrô etc) e veículos oficiais, otimizando o fluxo nas já saturadas vias urbanas, principalmente em horários de pico ou em ocorrências de acidentes ou outros imprevistos. Funcionam através de constante monitoramento por câmeras, agentes de tráfego e disseminação de informações em tempo real por via de letreiros luminosos, canais de rádio, sinalizações flexíveis e instantâneas, dentre outros dispositivos.

2.6. Sistema de Manejo de Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são definidos pela NBR 10.004 como aqueles propriamente sólidos e os líquidos que não podem ser dispensados na rede coletora de esgotos (tintas, solventes etc). Portanto, consiste numa grande sorte de resíduos produzidos pela humanidade, em ambientes domésticos, comerciais, industriais, como também na construção civil, nos

serviços de saúde, podas e capinas, limpeza pública etc, demandando para seu encaminhamento diversos tipos de infraestrutura, logística e gerenciamento. Também podem ser classificados quanto às suas propriedades pós-geração, como reutilizáveis, recicláveis, orgânicos, contaminados, inertes etc, a fim de melhor se encaminhar ao devido tratamento segundo cada tipo.

No Brasil já estão consolidadas regulamentações apropriadas⁵ às embalagens agrotóxicas, pneus usados, pilhas e baterias, mas ainda restam muitos deles por definir. A tendência mundial é que seja alcançada a “logística reversa”, ou mesmo “responsabilidade compartilhada” entre produtores, consumidores, poder público e cooperativas de reciclagem, de modo a otimizar ao máximo possível as cadeias produtivas, passando pelo consumo até o descarte final.

2.7. Sistema de Manejo de Águas Pluviais Urbanas

Consiste na infraestrutura necessária para o bom diálogo entre o ambiente urbano e o ciclo das chuvas, procurando garantir a circulação e proteger edificações e habitantes durante as precipitações, de modo a evitar seus impactos negativos, bastante conhecidos por inúmeras cidades ao redor do planeta. Comumente associado ao sistema viário, foi tradicionalmente pensado para escoar as águas pluviais do meio urbano da maneira mais rápida possível, através da construção de calhas, condutos e galerias impermeáveis, retilíneas, com baixa rugosidade, transferindo para jusante grandes volumes de água em pouco tempo.

Muitas vezes estas estruturas são subterrâneas, principalmente as redes e galerias, o que reduz a percepção dos habitantes sobre o funcionamento e os volumes envolvidos, tornando-se evidentes em momentos de saturação e sobrecarga, ou seja, inundações de distintos portes.

Dentre os diferentes sistemas de infraestrutura urbana existentes, todos merecem estudos técnicos mais aprofundados, que os tornem cada vez menos impactantes, visando à redução de danos ambientais, consumo de energia, desperdício material e, principalmente, ao

⁵ Foi aprovada em 07/07/2010 pelo Senado a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que representa um grande avanço para esta problemática, dependendo apenas do sancionamento do presidente da república.

aproveitamento de subprodutos gerados por seus processos. Entretanto, optou-se por aprofundar a análise do Sistema de Manejo de Águas Pluviais Urbanas, destacando-se novas possibilidades frente à constatação da obsolescência da postura convencional na drenagem urbana, melhor abordada a seguir.

2.7.1. Fluxo das águas pluviais

Observando-se as possíveis interferências negativas que os processos de urbanização podem causar ao território onde se instalam, é na relação com os corpos hídricos onde se encontram os maiores impactos e consequências sofridas, dadas as proporções de seus transtornos. Tucci (2008, p. 101) organiza as distintas fases pelas quais o tratamento das águas urbanas passou, ilustradas na tabela 1:

Tabela 1: Fases do desenvolvimento das Águas Urbanas. Fonte: Tucci, 2008.

Fase	Características	Conseqüências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

É notável que a consciência sobre a importância da boa convivência com os corpos hídricos vem evoluindo com o passar das décadas; entretanto, as cidades não puderam ser reformadas ao mesmo passo desta evolução, principalmente nas áreas mais adensadas, consolidadas. Dentre tantos fatores críticos, Netto (2004) elenca a ocorrência de alagamentos em bacias de pequeno porte, o aumento do pico da chuva e antecipação de sua ocorrência, o

aumento do volume do escoamento superficial, a diminuição da evaporação e da recarga subterrânea e o aumento da poluição de origem pluvial e da produção de sedimentos como os mais recorrentes, muito conhecidos em boa parte dos municípios brasileiros devido à falta de planejamento e instrumentos de controle do uso e ocupação do solo urbano. A figura 14 ilustra alguns dos efeitos que a urbanização promove ao território:

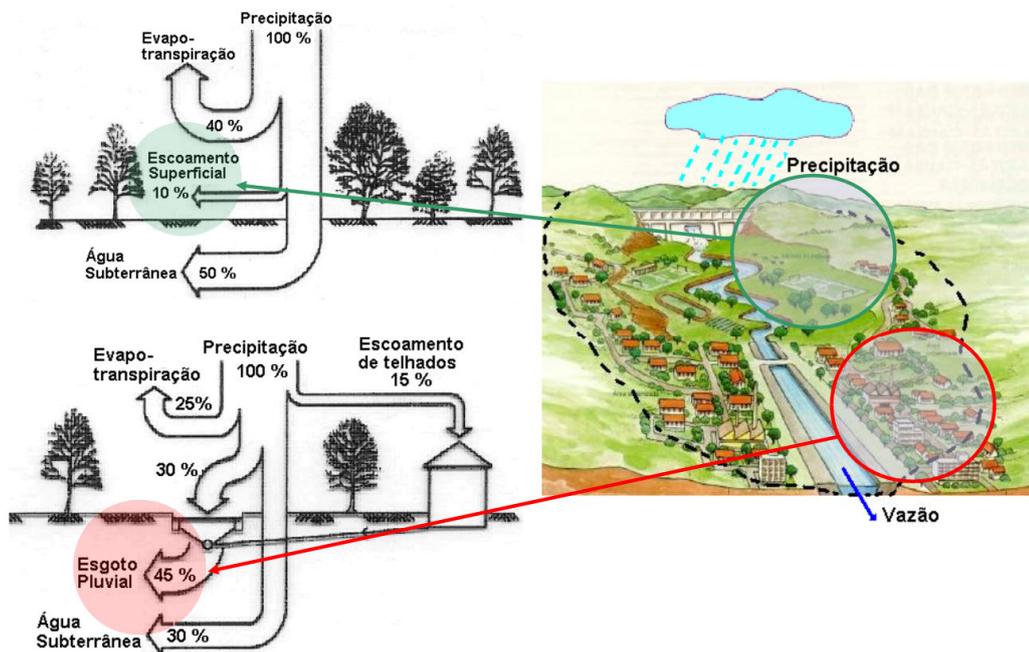


Figura 12: Efeitos da urbanização sobre o comportamento hidrológico. Fonte: Netto, 2004.

Tais efeitos podem ser sentidos de diferentes formas, dependendo de onde e como ocorre o processo urbanizador. Quando ocorre a jusante de áreas consolidadas, pode sofrer com a contribuição pluvial já existente (somada à sua própria); quando se encontra à montante, pode agravar as ocupações a jusante com a sua contribuição; e, quando se encontram pequenas bacias dentro de seus próprios limites, podem causar problemas de inundação a si mesmas.

Embora no Brasil não exista uma boa tradição de planejamento da drenagem pluvial, pode-se encontrar atualmente uma certa evolução na postura de ocupação de certas localidades, na maioria das vezes situações urbanas com maior visibilidade, interesse ou nível social (condomínios residenciais, hotéis, empreendimentos industriais etc). Mas, de maneira geral, ainda predominam situações precárias, principalmente oriundas de ocupações em áreas

de risco, irregulares, insalubres etc. É alta a ocorrência de aglomerações humanas em Áreas de Preservação Permanente - APPs, onde a omissão ou incapacidade de se desenvolver campanhas, programas de prevenção e procedimentos para situações de emergência têm tornado este cenário ainda mais complicado, por aumentar as chances de ocorrerem vítimas fatais, surpreendidas por cheias repentinas, surtos de doenças etc. Em situações como a ocorrida no município de União da Vitória – PR em 1983 (fig. 15), os transtornos podem perdurar por muito tempo, dada a dificuldade de se reverter o alto grau de impacto.



Figura 15: Município de União da Vitória - PR, em período normal e na grande cheia de 1983.

Fonte: Tucci, 2004.

Frente a este quadro, encontra-se predominantemente o desenvolvimento de obras de infraestrutura convencionais, com caráter tecnicista, meramente saneador, que não chegam a estabelecer diálogo algum com as condições naturais do território, afastando as possibilidades de se criar, ao mesmo tempo, boas condições de drenagem e espaços mais interessantes ao convívio humano. A continuidade desta postura tem apresentado custos cada vez mais elevados, quando não recorrentes, exigindo altos recursos para se restabelecer porções urbanas que provavelmente enfrentarão situações semelhantes em eventos futuros.

2.7.2. Sistemas convencionais de drenagem urbana

O pensamento tradicional de se remover as águas de chuva o mais rápido possível dos locais ocupados, através de dispositivos de concentração e escoamento superficial (calhas, valetas, sarjetas, pavimentos etc) e/ou subterrâneo (redes, galerias, tamponamentos de cursos d'água etc), alterando-se consideravelmente o caminho das águas e destinando quase

todo o volume das bacias para seus fundos de vale, concorre decisivamente para este complexo quadro apresentado. Portanto, a maneira como as cidades vêm se desenvolvendo subverte o princípio natural de amortecimento e infiltração de forma distribuída pelo território, prévio à sua ocupação, causando cada vez mais impactos a jusante, como ilustra a figura 16:

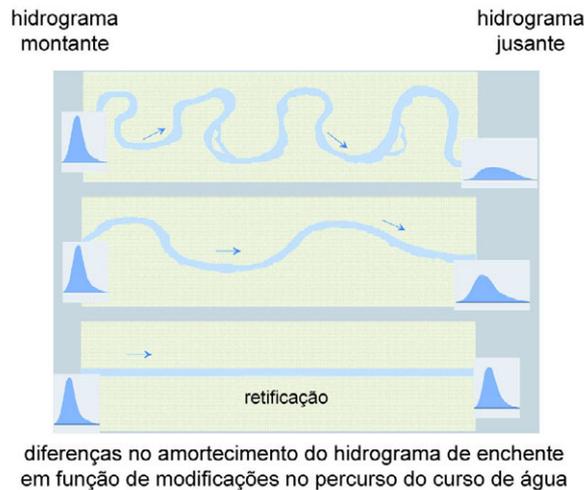


Figura 16: Fatores agravantes das inundações. Fonte: Netto, 2004.

Os sistemas clássicos de drenagem sofrem permanentemente com o desenvolvimento das áreas onde são instalados, pois a progressiva ocupação – e impermeabilização - dos seus vazios geram sobrecargas e saturações não previstas ou até mesmo desconsideradas em fase de projeto. Desta forma, surge a constante necessidade de redimensionamento e de elevados investimentos, como demonstra a figura 17:

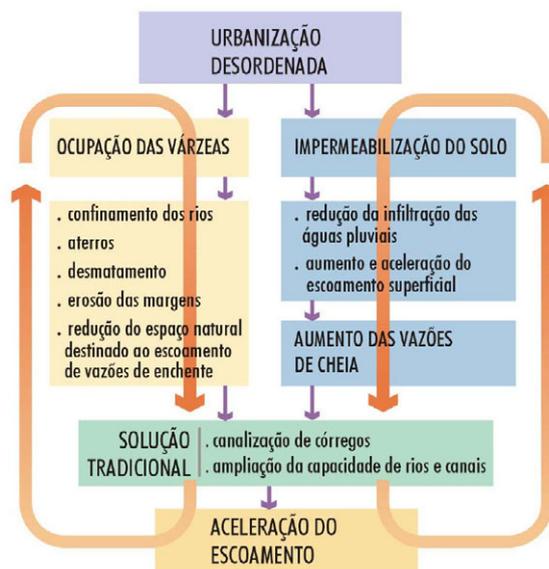


Figura 17: Processo de impacto da drenagem urbana. Fonte: Sudersha, 2002 apud Tucci, 2005.

Esta lógica reafirma o caráter insustentável destes sistemas, dados os altos custos envolvidos nas sucessivas etapas das intervenções – ou apenas remediações – sem se alcançar a superação dos problemas. Agrava este cenário o fato de que as áreas alagáveis, devido a esta natureza, costumam ser desvalorizadas e habitadas por população de mais baixa renda (fig. 18), trazendo maiores perdas e prejuízos justamente a uma camada social que apresenta maiores dificuldades para se restabelecer de graves ocorrências - além de se tornarem áreas degradadas e pouco atrativas para investimentos públicos e, principalmente, privados.



Figura 18: Inundação em União dos Palmares - AL, 21/06/2010.

Fonte: Thiago Sampaio, Folha.com.

Vale ressaltar que a concentração de águas nas cotas mais baixas promove também a concentração de toda a carga de poluição difusa da bacia, como matéria orgânica, metais pesados, óleos, graxas, embalagens etc, tornando as águas das primeiras chuvas extremamente poluídas e contaminadas.

A partir destas constatações, vem ganhando força a ideia de se evitar a transferência de grandes volumes para jusante, utilizando-se, para isto, a infiltração e/ou atraso de seu escoamento ao longo de todo o caminho percorrido, desde os lotes particulares até os grandes espaços públicos vazios. Para tanto, vêm sendo empregados conceitos como absorção, retenção, detenção, reservação e até mesmo tratamento, antes de se despejar o excedente nos corpos d'água das cotas mais baixas.

2.7.3. Técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana

Conforme a constatação das graves consequências que os sistemas convencionais causam às cidades à medida em que são ampliados, posturas mais integradas e harmonizadas com os ciclos hidrológicos e outras características do território foram sendo desenvolvidas em contraposição. As novas práticas sustentáveis de drenagem, diferentemente daquelas de orientação higienista, visam reter o escoamento através de infiltração ou armazenamento em cada porção do território ocupado, com o intuito de se evitar a transferência dos impactos para áreas a jusante. Nascimento e Baptista (2009, p.151) assim relatam esta mudança de postura, definindo-a como técnicas alternativas ou compensatórias:

A partir dos anos de 1970, uma abordagem alternativa para tratar tais questões vem sendo desenvolvida, notando-se um maior acúmulo de experiências em alguns países da Europa, na América do Norte, na Austrália e no Japão. Trata-se do conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem pluvial. O termo compensatório faz referência ao propósito central de tais técnicas de procurar compensar ou minorar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico.

Souza & Goldenfum (1999, p.2) também propõem que, para se evitar o redimensionamento dos sistemas de drenagem já instalados, se busque reconstituir a vazão pré-ocupação, fazendo com que a água das chuvas volte a ser interceptada antes de atingir a rede de drenagem, a partir de estruturas alternativas ou compensatórias (trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, reservatórios de detenção etc) associadas às já existentes.

Carvalho e Braga (2003, p.10) ampliam esta lógica apontando inclusive para as propriedades particulares, através da adoção de várias medidas integradas nas bacias e microbacias hidrográficas, tais como taxas de ocupação menores nos lotes urbanos individuais, calçadas permeáveis, pavimentação com maior rugosidade, dentre outras. Ainda neste sentido, Nascimento e Baptista (2009, p.153) propõem até mesmo, quando possível, optar-se pela desconexão de áreas impermeáveis do sistema de drenagem, dirigindo as águas de escoamento superficial para áreas verdes com suficiente capacidade de infiltração.

Ao se direcionar as águas pluviais – ou parte delas – para dispositivos que permitam sua infiltração no solo ou mesmo o retardamento da vazão de pico, está sendo evitado o acúmulo de água nas áreas a jusante. Assim, o Sistema de Manejo das Águas Pluviais Urbanas pode se basear em medidas de controle capazes de minimizar as perdas e manter uma convivência mais harmônica com as chuvas em seus momentos de pico.

O princípio de se pensar a drenagem urbana sob a escala da bacia hidrográfica

em questão, e não sob a lógica do parcelamento, setorização, sistema viário etc, diminui consideravelmente o risco de transferência de impactos de uma área para outra. Carvalho e Braga (2003, p.11) defendem que o tratamento dos cursos d'água deva ser o mais natural possível, de montante para jusante, para progressivamente incorporar o mínimo de artificialização possível, promovendo a produção do espaço com a dimensão merecida e não meramente como uma ação setorial de engenharia. Neste sentido, Netto (2004, p.27) propõe algumas regras básicas para novas urbanizações:

- Escolha de um sítio pouco suscetível a impactos de eventuais urbanizações a montante;
- Proteção das áreas de cabeceiras;
- Desenvolvimento de projeto integrado – com objetivo de não alterar a drenagem natural nos trechos a jusante da rede de drenagem;
- Integração de soluções de esgotamento sanitário, de coleta e disposição de resíduos sólidos e de drenagem urbana;
- Promoção da gestão da drenagem urbana sempre sob a perspectiva da bacia hidrográfica;
- Promoção de ações de educação e informação do usuário para a gestão integrada em saneamento ambiental.

Atuais posturas, como as apresentadas, podem inclusive propiciar à população um maior contato e responsabilização perante a presença da água de chuva, até mesmo tornando-a parte operante de pequenos dispositivos que componham uma totalidade menos sobrecarregada da drenagem urbana, de forma a ressaltar o caráter descentralizado das medidas implementáveis. Tucci (2008, p.19), objetivando uma maior qualidade na drenagem pluvial urbana a partir do controle do aumento da vazão máxima e da melhoria das condições ambientais, classifica tais medidas - segundo a maneira que influenciam na geração de escoamentos pluviais - em estruturais e não-estruturais:

As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. É ingenuidade do homem pensar que poderá controlar totalmente as inundações; as medidas sempre visam minimizar as suas consequências.

O autor salienta que, na maior parte das vezes, as medidas estruturais implicam custos inexequíveis para os municípios, principalmente no que se refere às regiões com ocupação consolidada. Portanto, torna-se fundamental o planejamento que integre as medidas

estruturais às não estruturais, permitindo que qualquer iniciativa se comporte complementarmente tanto às anteriores como às futuras, sempre compatibilizadas com o desenvolvimento urbano.

Procurando detalhar um pouco mais esta classificação, Nascimento e Baptista (PROSAB, 2009, p.155) apresentam uma listagem para as medidas compensatórias em drenagem urbana, sistematizada na tabela 2:

Tabela 2: Tipologia de técnicas compensatórias para o manejo de águas pluviais.

Fonte: PROSAB, 2009.

Técnicas compensatórias não estruturais	<ul style="list-style-type: none"> Regulação do uso do solo Criação de áreas verdes Recuperação de matas ciliares – parques lineares Não conexão ou desconexão de áreas impermeáveis Uso de revestimentos de elevada rugosidade em vias e em canais Manejo de fertilizantes, pesticidas e detergentes 	
Técnicas compensatórias Estruturais	Controle na fonte	<ul style="list-style-type: none"> Localizado <ul style="list-style-type: none"> Telhado verde Microrreservatório Poço de infiltração Plano de infiltração
		<ul style="list-style-type: none"> Linear <ul style="list-style-type: none"> Trincheira de infiltração Vala de detenção Pavimento reservatório Pavimento permeável Áreas úmidas lineares
	Controle centralizado	<ul style="list-style-type: none"> Bacias de detenção ou retenção Bacias de infiltração Bacias de detenção e infiltração Áreas úmidas artificiais

Segundo os autores, dois modos de classificação apresentam caráter explicativo e tipológico mais relevante: o que se refere ao modo de influenciar a geração dos escoamentos pluviais e o que enfatiza a localização na bacia. Esta sistematização elenca diferentes possibilidades de abordagem para o manejo das águas pluviais, procurando orientar a tomada de postura em diferentes escalas. A seguir, um maior detalhamento da diferenciação entre medidas não-estruturais e estruturais.

2.7.3.1. Medidas não-estruturais

De maneira geral, considera-se não-estruturais quaisquer medidas que contribuam para a mitigação dos efeitos da insuficiência de drenagem e que não se apresentem como intervenções físicas. Segundo Righetto et al. (PROSAB, 2009, p.30), não contemplam obras civis, mas envolvem ações de cunho social para modificar padrões de comportamento da população, tais como meios legais, sanções econômicas e programas educacionais. Os autores apresentam uma sistematização de possíveis medidas (tabela 3):

Tabela 3: Categorias de medidas não-estruturais. Fonte: PROSAB 2009.

Categorias de medidas não estruturais.	
PRINCIPAIS CATEGORIAS	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS
Educação pública	Educação pública e disseminação do conhecimento
Planejamento e manejo da água	Equipe técnica capacitada
	Superfícies com vegetação
	Áreas impermeáveis desconectadas
	Telhados verdes
Uso de materiais e produtos químicos	Urbanização de pequeno impacto
	Uso de produtos alternativos não poluentes
	Práticas de manuseio e de armazenamento adequadas
Manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias	Varrição das ruas
	Coleta de resíduos sólidos
	Limpeza dos sistemas de filtração
	Manutenção das vias e dos dispositivos
	Manutenção dos canais e cursos d'água
Controle de conexão ilegal de esgoto	Medidas de prevenção contra a conexão ilegal
	Fiscalização: detecção, retirada e multa
	Controle do sistema de coleta de esgoto e de tanques sépticos
Reúso da água pluvial	Jardinagem e lavagem de veículos
	Sistema predial
	Fontes e lagos

No mesmo sentido, Tucci (2005, p.48) as define como aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes, utilizando-se medidas preventivas, como o alerta de inundação, o zoneamento das áreas de risco, o seguro contra inundações e medidas de proteção individual.

O sistema de previsão e alerta de inundação envolve um trabalho constante, com três fases distintas: prevenção, alerta e mitigação. Trata-se basicamente de treinamento e distribuição de informações entre órgãos de monitoramento do clima, Defesa Civil e população, a fim de se estabelecer os procedimentos necessários em caso de inundação, nos momentos que a antecedem, durante e após sua ocorrência (envolvendo também as medidas de prevenção individual).

A fim de melhor se planejar a implantação do controle de enchentes, Tucci

(2005, p.83) aponta como principais meios o Plano Diretor Municipal, a Legislação Municipal/Estadual e o Manual de Drenagem (o primeiro estabelece as linhas principais, a legislação regula e o manual orienta as ações). Propõe então que o poder público formule, de forma participativa, o instrumento do Zoneamento das Áreas de Risco de Inundação, considerando-se os diferentes graus envolvidos a partir das cotas de nível, como mostra a figura 19 e a sistematização a seguir:

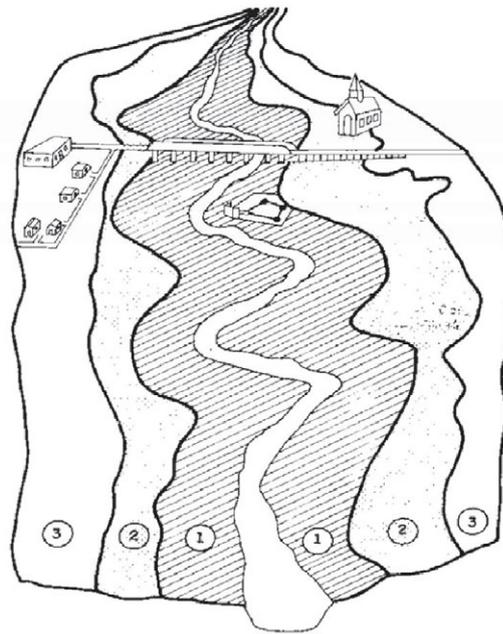


Figura 19: Regulamentação da zona inundável.
Fonte: U.S. Water Resources Council, 1971 *apud*
Tucci, 2005.

- Zona de passagem da enchente (faixa 1) – Esta parte da seção funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Qualquer construção nessa área reduzirá a área de escoamento, elevando os níveis a montante dessa seção. Portanto, em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter essa zona desobstruída.
- Zona com restrições (faixa 2) – Esta é a área restante da superfície inundável que deve ser regulamentada. Essa zona fica inundada, mas, em virtude das pequenas profundidades e das baixas velocidades, não contribuem muito para a drenagem da enchente. Essa zona, que pode ser subdividida em subáreas, tem essencialmente os seguintes usos: (a) parques e atividades recreativas ou esportivas cuja manutenção, após cada cheia, seja simples e de baixo custo. (b) uso agrícola; (c) habitação com mais de

um piso, onde o piso superior ficará situado, no mínimo, no nível do limite da enchente e estruturalmente protegida; (d) industrial, comercial, como áreas de carregamento, estacionamento, áreas de armazenamento de equipamentos ou maquinaria facilmente removível ou que não estejam sujeitos a danos de cheia. (e) serviços básicos: linhas de transmissão, estradas e pontes, desde que corretamente projetados.

- Zona de baixo risco (faixa 3) – Esta zona possui pequena probabilidade de ocorrência de inundações, sendo atingida em anos excepcionais por pequenas lâminas de água e baixas velocidades. A definição dessa área é útil para informar a população sobre a grandeza do risco a que está sujeita. Essa área não necessita regulamentação, quanto a cheias. Nessa área, delimitada por cheia de baixa frequência, pode-se dispensar medidas individuais de proteção para as habitações, mas deve-se orientar a população sobre uma eventual possibilidade de enchente e instruí-la sobre os meios de proteger-se das perdas decorrentes, recomendando o uso de obras com, pelo menos, dois pisos, onde o segundo pode ser usado nos períodos críticos.

Apesar de soar um tanto arriscado se pensar o espaço urbano sob estas perspectivas inundáveis, é um fato que muitas cidades se desenvolveram nestas faixas e pagam recorrentemente altos preços por não haverem respeitado suas dinâmicas. Ainda que novas ocupações tenham condições de serem desenvolvidas de maneira não inundáveis, este zoneamento proposto pode trazer um caráter bastante sério e realista às áreas já consolidadas, gerando um debate muito rico junto a seus habitantes na busca por melhores enfrentamentos com relação às cheias e, por consequência, menores prejuízos materiais e humanos.

O alcance de objetivos transformadores, tem na educação dos diferentes atores envolvidos nos processos urbanos um papel fundamental: técnicos, população, administradores públicos (dentre outros) são partes integrantes que, uma vez alinhadas num mesmo propósito, podem assegurar um maior respeito às dinâmicas pluviais por espaços de tempo mais duradouros, minimizando perdas ao passo em que se estabeleça um maior diálogo com as características do território. O controle das enchentes deve ser um processo permanente, que envolva a população desde o planejamento até sua fiscalização, a fim de se evitar a ocupação nas áreas de risco. Muitas vezes, sem a força de Leis e normativas, como também de espaços de participação promovidos pelo poder público (conselhos, associações etc) que assegurem uma gestão transparente e pactuada, torna-se muito difícil garantir tal respeito.

2.7.3.2. Medidas estruturais

Ainda que a administração pública e os demais setores envolvidos alcancem um bom sistema de medidas não-estruturais, muito provavelmente existirá ainda a demanda por intervenções físicas que mitiguem ou previnam as ocupações urbanas de cheias e outros problemas decorrentes de sistemas de drenagem (progressivamente) insuficientes. Pois é muito provável que ocorram chuvas com maior intensidade que as previstas, bem como impermeabilização da bacia superior à planejada, dentre outros fatores.

Righetto *et al.* (PROSAB, 2009, p.31) colocam que os sistemas estruturais englobam obras de engenharia destinadas à retenção temporária do escoamento, podendo-se promover o tratamento da água. Esses sistemas permitem o controle quali-quantitativo da vazão gerada na bacia, seja pelo armazenamento temporário do volume escoado, seja pela redução da carga poluidora, o que demanda maiores estudos sobre quais as tecnologias mais indicadas para cada situação.

Segundo Nascimento e Baptista (*ibid*, p.158), a escolha dos tipos de técnicas a serem adotadas depende de diferentes fatores, idealmente considerados quando os estudos conduzindo à escolha das técnicas mais convenientes são feitos ao mesmo tempo em que se desenvolve o projeto de urbanização de uma nova área, permitindo uma maior flexibilidade para as escolhas e a adaptação ao projeto em andamento. Em casos já consolidados, a probabilidade de se encontrar limitações são altas, uma vez que maiores adequações podem ser necessárias. Os autores propõem, para a análise da viabilidade do emprego das variadas técnicas, os seguintes critérios como mais relevantes:

- Critérios físicos: características topográficas locais, o nível d'água do lençol subterrâneo, a capacidade de infiltração e de suporte do solo, etc;
- Critérios urbanísticos e de infraestrutura: disponibilidade de espaço, uso e ocupação do solo, presença de outros sistemas de infraestrutura etc;
- Critérios sanitários e ambientais: qualidade das águas de escoamento a serem evacuadas, vulnerabilidade do meio receptor (corpos d'água superficiais, lençol freático e solo etc);
- Critérios socioeconômicos: aceitação popular das técnicas empregadas, conhecimento sobre seu funcionamento e operação, etc.

Salientam também a importância de, num primeiro momento, não se dar ênfase

à discussão de custos dos diferentes sistemas, uma vez que podem vir a comprometer as escolhas. Idealmente, deve-se discutir sobre suas possibilidades técnicas e tipológicas antes de se avaliar custos, inclusive de manutenção. Citam Baptista *et al* (2005), lembrando que o processo de escolha e de concepção de sistemas pluviais com técnicas compensatórias se faz em duas etapas principais: a de eliminação - análise criteriosa das características físicas e de suas implicações para a área de implantação, excluindo-se as inadequadas - e a de decisão ou escolha, propriamente dita.

São basicamente três os conceitos de manejo associados às medidas estruturais: infiltração (percolação), retenção e detenção – podendo ainda ser explorada a reservação e o uso das águas pluviais. A finalidade destes dispositivos, definidos por Tucci (2004, p.36) como os que utilizam o espaço disponível para transferir a água de espaços impermeáveis para permeáveis – e destes ao subsolo, em nível freático ou mesmo de aquífero -, é a de impedir ou retardar que as águas se concentrem a jusante, procurando resgatar o comportamento hídrico anterior à urbanização da bacia. A seguir, ilustra-se tais conceitos:

Infiltração

Tucci (2005, p.84) define os dispositivos de infiltração e percolação como aqueles que encaminham o escoamento para o subsolo (fig. 20), utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial, buscando assim recuperar as funções hidrológicas naturais da área. Sua eficácia depende das características do solo e do estado de umidade de sua camada superior (zona não-saturada). A velocidade do escoamento desta camada até o lençol freático (zona saturada) é denominada de percolação - que também depende do estado de umidade da camada superior e do tipo de solo.

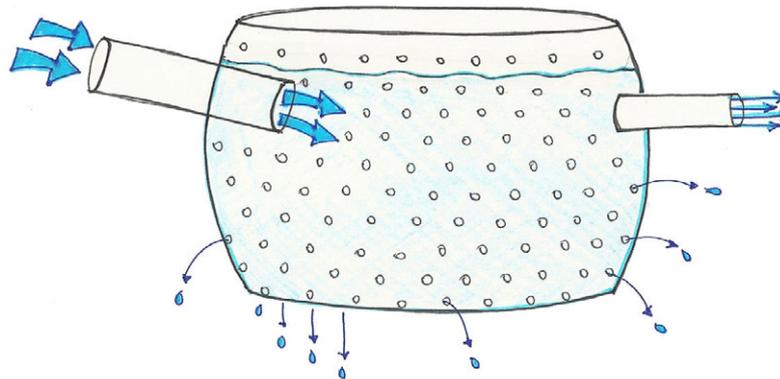


Figura 20: Bacia de infiltração e percolação. Ilustração: Bianca Habib, 2010.

Determinados tipos de solo apresentam maiores dificuldades de percolação e pequeno volume de armazenamento, o que inviabiliza seu uso, já que poderão manter o nível de água alto por muito tempo na superfície ou ter pouco efeito na redução do volume final do hidrograma. Dispositivos de infiltração não devem ser utilizados em áreas onde a contaminação da água pluvial é alta ou o lençol freático é muito alto, funcionando como um vetor de poluição para as águas subterrâneas.

Os dispositivos de infiltração, dependendo de sua capacidade de armazenamento, podem possuir um extravasor que encaminhe o volume excedente para redes de drenagem ou mesmo para outros dispositivos de controle, como planos de infiltração, pavimentos drenantes etc.

Retenção

Os dispositivos de retenção são dimensionados para se manter uma lâmina permanente de água, evitando o crescimento de vegetação no fundo e atuando pela melhoria da qualidade da água (fig. 21). Nos eventos de pico de chuva recebem um aporte de volume e, gradualmente, liberam-no até retornarem ao volume inicial, através de uma saída com vazão inferior à da entrada.

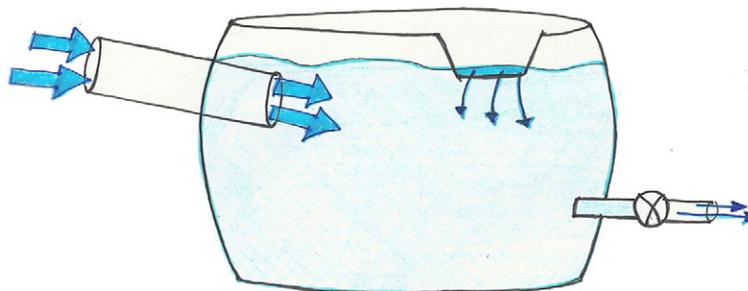


Figura 21: Bacia de retenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010.

Geralmente são projetados para criar efeito paisagístico, podendo oferecer possibilidades de lazer e recreação, o que será melhor explorado adiante.

Detenção

Os dispositivos de detenção são dimensionados para secar após receber o escoamento de picos de vazão (controle quantitativo) durante chuvas intensas (fig. 22). Podem

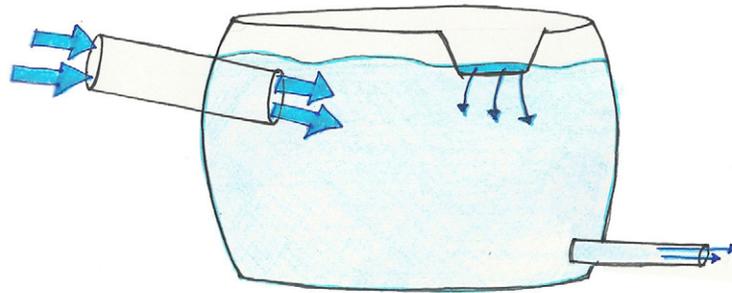


Figura 22: Bacia de detenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010.

ser utilizados para outras finalidades depois de esvaziados, o que também será melhor explorado mais adiante.

A partir destes três conceitos - infiltração, retenção e detenção -, é possível se desenvolver dispositivos de drenagem mais sustentáveis, chegando-se a uma grande sorte de soluções apropriadas à atenuação dos efeitos das águas pluviais no meio urbano. A seguir, o capítulo 3 tratará de elencar variáveis pertinentes à definição de Ecotécnicas a fim de melhor embasar as posturas e escolhas projetuais.

Capítulo 3. Ecotécnicas Urbanas

Dentre experiências que buscam uma nova urbanidade, considerando os impactos ambientais ao mesmo tempo em que proporcionam eficácia, conforto e fruição aos seus habitantes, observa-se uma grande variedade de concepções, principalmente no que se refere ao emprego de materiais, tecnologias e porte das intervenções. Constatado o impacto das atuais cadeias produtivas, as pesquisas sobre soluções técnicas limpas e eficientes do ponto de vista ambiental podem desempenhar um papel fundamental na redução dos impactos gerados em novas ocupações. Podem também transformar a malha urbana consolidada através da aplicação de algumas técnicas que se utilizam de materiais e procedimentos mais condizentes ao cenário apontado, aqui denominadas de Ecotécnicas Urbanas.

A palavra Ecotécnica é formada pelas raízes “eco” (do grego oîkos), que significa casa, domicílio, habitat, meio ambiente; e “técnica” - jeito ou habilidade especial de se executar ou fazer algo. A partir destas definições, e retratando-se ao significado do termo eco em sua trajetória e conotação contemporâneas, pode-se entender uma Ecotécnica como uma maneira de se intervir no espaço de modo a lhe garantir características próximas às naturais, como definem Silva e Teixeira (1999):

As ecotécnicas ou técnicas de reduzido impacto ambiental ocorrem na medida em que a dinâmica desta ação antrópica se aproxima da dinâmica existente no ambiente natural. Neste último, três aspectos podem ser destacados: o seu caráter disperso, a predominância de ocorrência de ciclos fechados e as limitações da renovação de seus recursos.

Nesse sentido, o termo encontra correspondência conceitual em outras áreas pertinentes, como requalificação, recuperação, regeneração, restauro, renaturalização etc - frequentemente utilizados para classificar formas de intervenção que buscam a recomposição ou manutenção de características naturais ao território em questão.

Carvalho e Braga (2003, p.10) propõem que a renaturalização do ambiente urbano pode ser entendida como qualquer medida de reversão dos impactos da urbanização tradicional, como, por exemplo, aumentar a rugosidade e a permeabilidade das áreas urbanas anteriormente impermeabilizadas. Sugerem ainda que os cursos d'água no meio urbano, principalmente os que sofrem com enchentes, podem ser o ponto de partida para uma nova urbanização - mais sustentável - que aborde a cidade como uma natureza própria.

Complementarmente, Binder (1998, p.36) esclarece que a renaturalização de

rios não significa a volta a uma paisagem original, anterior à influência do homem, mas corresponde ao desenvolvimento sustentável dos rios e da paisagem em conformidade com as necessidades e conhecimentos contemporâneos. Acrescenta ainda que as práticas intervencionistas tradicionais devem ser abandonadas e dar lugar a uma nova postura (p.27):

A renaturalização de águas correntes pelo processo do “desenvolvimento próprio” (“deixar” em vez de “fazer”) exige a compreensão da dinâmica ambiental da bacia e pessoal técnico experiente, que saiba observar, com paciência, o desenvolvimento do rio e tenha a capacidade de interferir quando necessário (“com mais engenhosidade e menos concreto”).

Outras disciplinas caminham nesse mesmo sentido, buscando desenvolver técnicas que permitam uma maior aproximação das condições prévias à ocupação do território. Na Bioengenharia de Solos, além de materiais inertes, como pedras, metais e concreto, utiliza-se materiais vivos como fibras vegetais, sementes e fertilizantes. Schiechl & Stern (1992, *apud* Durlo e Sutili, 2005, p.113), a definem como a Engenharia que utiliza técnicas em que plantas, ou partes destas, são usadas como material vivo de construção, sozinhas ou combinadas com materiais inertes, proporcionando estabilidade às áreas em tratamento.

Semelhantemente, a Associação Portuguesa de Engenharia Natural (APENA, 2007) define a Engenharia Natural como o conjunto de técnicas e práticas que, no domínio da restauração ambiental, utilizam plantas vivas, preferencialmente autóctones, como elemento do processo construtivo, isoladas ou juntamente com outros materiais (pedra, madeira, metal etc). Procurando ilustrar este conceito, Sutili (2010) propõe o seguinte esquema (fig. 23):

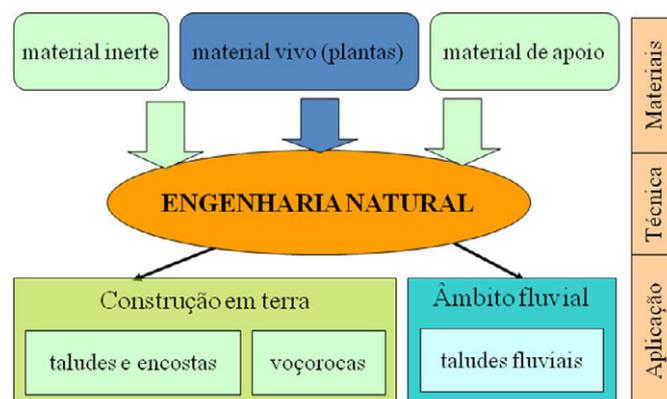


Figura 23: Engenharia natural: técnica, materiais e aplicação. Fonte: Sutili, 2010.

Trata-se de uma ciência que desenvolve aquilo que antigos povos já praticavam

empiricamente, a partir da observação da natureza e de suas capacidades e possibilidades construtivas. Silva e Magalhães (1993, p.37) salientam que muitas delas são conhecidas há milênios e outras ainda há por conhecer e aperfeiçoar, apontando para uma crescente investigação sobre o tema.

O emprego de vegetação nas intervenções em encostas, margens, erosões, voçorocas etc, possibilita de certa forma a imitação do processo natural de estruturação dos solos através das raízes e cobertura da superfície, aumentando a absorção das águas e impedindo o carreamento de sedimentos. Sob esta ótica, também podem ser consideradas Ecotécnicas aquelas que, mesmo não se utilizando de materiais vivos, apresentam capacidade de mimese dos processos naturais, como nos casos de pavimentação permeável, dissipação de energia hidráulica de origem pluvial e/ou fluvial, dispositivos de infiltração etc. Ou ainda as que se utilizam de materiais residuais das atividades humanas, evitando a extração, o processamento e a produção de novos insumos, como ocorre nas contenções de encostas com pneus usados, uso gabiões e estruturas drenantes com resíduos da construção civil etc.

O aprofundamento de pesquisas nesta área pode devolver ao ambiente urbano qualidades intrínsecas do meio natural, associando o emprego de materiais renováveis e/ou reaproveitáveis a técnicas construtivas menos impactantes. Acselrad (2001, p.39) corrobora esta afirmação ao propor que, “para se reduzir o impacto entrópico das atividades urbanas, caberia a adoção de tecnologias poupadoras de espaço, matéria e energia e voltadas para a reciclagem de materiais”.

Pode-se constatar que a abrangência dos estudos de Ecotécnicas é ampla, diversificada e multidisciplinar. Através da observação das dinâmicas naturais e consequente aplicação aos processos construtivos, se poderia alcançar uma relação mais harmoniosa entre o homem e o meio em que vive. Em ecossistemas naturais, ocorre uma interdependência entre os seres vivos (componentes bióticos) e o meio físico (abiótico), onde a troca e transferência de energia se dão de modo cíclico, com perdas reduzidas. Da forma como a vida nas cidades está estruturada atualmente, baseada em importações e exportações de produtos e fluxos de pessoas, tanto em escala interurbana como internacional, alcançaram-se níveis elevados de desperdícios e de produção de resíduos, que podem colapsar se não forem tomadas medidas tanto preventivas como compensatórias.

Partindo deste contexto, tem sido recorrente a proposição de formas de ocupação onde o aproveitamento de suas características, recursos e potencialidades são os princípios norteadores das intervenções, capazes de promover uma maior aproximação e

identificação de seus habitantes. Essas propostas visam à otimização de uso dos escassos espaços livres urbanos e podem aliar a demanda por infraestrutura à valorização simbólica dos fluxos naturais, resultando em lugares mais apropriados para seus habitantes (fig. 24).



Figura 24: O rio Vils em Amberg em 1990 e parcialmente renaturalizado. A baixada inundável é utilizada como parque municipal. Fonte: Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, 1998.

Face ao exposto, contemplando-se as múltiplas abordagens sobre o termo e seus conceitos, considera-se Ecotécnica aquela que apresenta uma ou mais das seguintes características, ainda que em diferentes níveis de desenvolvimento:

- Utilização de recursos locais;
- Utilização de recursos renováveis;
- Ocorrência de ciclos fechados;
- Mimese de processos naturais;
- Utilização de materiais vivos;
- Utilização de materiais residuais;
- Potencial urbanístico;
- Redução /reversão de impactos.

As definições a seguir esclarecem algumas características dessas Ecotécnicas, destacando as potencialidades de sua aplicação, bem como os problemas provenientes da não utilização.

3.1. Utilização de Recursos Locais

Dentre as possíveis variáveis a serem consideradas na busca por intervenções urbanas com menor grau de impactos, a origem dos recursos empregados se mostra como uma das mais importantes e significativas. O principal fator é a geração de impactos ambientais relacionados à extração, produção e processamento de recursos em locais ou regiões distantes do local onde serão empregados, exportando prejuízos que influenciarão negativamente na vida de populações ou ecossistemas próximos à origem, que pouco ou nada se relacionam com os possíveis benefícios gerados por sua aplicação final.

Quando se utilizam recursos provenientes de outros lugares, emprega-se muita energia com o volume de transporte envolvido na distribuição dos mesmos (geralmente proveniente da exploração petrolífera, que é um recurso esgotável) e, por consequência, gera grande quantidade de resíduos e poluentes. Quanto maior a distância percorrida, maior o impacto provocado. Aqui ainda cabe destacar a contribuição destes transportes para o colapso no tráfego por onde transita, além da iminente possibilidade de acidentes, provocando problemas sobre o meio e seus habitantes.

Contudo, a utilização de recursos locais, além de reduzir o impacto nas diferentes fontes – extração do produto propriamente dito e dos recursos necessários ao transporte – pode incrementar a sustentabilidade das atividades produtivas, tanto pela comercialização dos produtos de maior abundância, como empregando mão de obra das populações mais diretamente relacionada às intervenções em questão.

Por fim, pode-se acrescentar uma observação, de que a utilização dos recursos locais contribui para a manutenção das diferentes culturas e suas formas vernaculares de utilização dos materiais disponíveis, além de promover a diversidade de soluções, evitando a padronização global que sobrecarrega poucos pontos concentrados de extração e de fornecimento tanto de recursos como de energia - e também de conhecimento.

3.2. Utilização de Recursos Renováveis

Além da proveniência dos recursos necessários para se viabilizar a construção do espaço, outro fator de suma importância diz respeito à sua disponibilidade ao longo do tempo, como também da dependência de seu manejo produtivo e cíclico pelo homem. Segundo Lima e Silva (1999)⁶, um recurso renovável consiste em qualquer bem que, teoricamente, não possa ser totalmente consumido em função de sua capacidade de se reproduzir ou se regenerar, podendo ser de fontes inesgotáveis (energia solar), provenientes de ciclos físicos (ciclo hidrológico) ou de sistemas biológicos (plantas e animais que se replicam).

Contrariamente, se define como não-renovável qualquer recurso natural finito que, em escala de tempo humana, uma vez consumido não possa ser renovado, como aqueles provenientes da decomposição da matéria orgânica acumulada há milhões de anos, como o petróleo, o carvão fóssil, o silício e outros minerais. Somam-se aqui aqueles de regeneração lenta, como os recursos hídricos e as florestas nativas, que segundo a velocidade de consumo podem também estar comprometidos e perder a capacidade de regeneração. Esses recursos têm sido largamente empregados em função do modo de vida contemporâneo e as atuais noções errôneas de desenvolvimento urbano, assim como o escasamento em diferentes níveis, têm acarretado problemas que extrapolam o âmbito da utilização, como guerras, secas, desflorestamentos, assoreamentos, inclusive extinção de espécies.

Práticas urbanas com o devido manejo das fontes esgotáveis associado à utilização de recursos renováveis podem apontar para um caminho sustentável, ou, no mínimo, de menor impacto para o meio, a fim de se estender ao longo do tempo a disponibilidade dos mesmos. Minimizar a velocidade do consumo de algumas fontes também pode ser uma alternativa para não se esgotar os recursos para as futuras gerações, deixando que o meio ambiente tenha tempo de regenerar-se naturalmente. As fontes inesgotáveis, como o sol, os ventos e as marés, representam um papel fundamental nesta mudança de paradigma, porém o estudo do impacto das cadeias produtivas necessárias para estas apropriações deveria ser criterioso, a fim de não sobrecarregar o meio - extração de metais e minérios, impactos sobre animais etc.

6

Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais.

3.3. Ocorrência de Ciclos Fechados

Diferentemente do que ocorre nos ciclos naturais, onde a geração de resíduos ou de desperdícios tende a zero, a dinâmica das cidades se constitui a partir de grandes percursos energéticos que ocasionam perdas em diferentes momentos. Conforme Higuera (2006, p.60), a principal particularidade da cidade no mundo desenvolvido reside nos grandes percursos horizontais dos recursos, capazes de impactar outros ecossistemas por não possuir um metabolismo de ciclo fechado (circular), bem como por não dispor de uma fonte de energia inesgotável que garanta indefinidamente seu funcionamento.

Associado a esta natureza, chama a atenção o fato de que algumas cidades atuam como polos atrativos de pessoas em escala global, por apresentarem grandes fluxos financeiros e oportunidades de trabalho. Entretanto, a insuficiência de planejamento e gestão públicas, ao não acompanhar o crescimento, concorre para o desenvolvimento de situações urbanas desequilibradas e impactantes em diversos sentidos, como transporte, habitação, serviços públicos, infraestrutura etc.

Apesar da dificuldade de se reverter este quadro nos grandes centros urbanos, é possível se caminhar para a reversão dos impactos a partir de novas posturas e, principalmente em novas ocupações, implementar processos construtivos que apresentem cadeias produtivas mais fechadas, ou seja, geradoras de reduzidos impactos, resíduos e desperdícios, assim como reverter alguns dos processo já instalados por meio de medidas compensatórias.

3.4. Mimese de Processos Naturais

O termo mimese refere-se a uma figura de linguagem que significa “imitação do gesto”. Entende-se por Mimese de Processos Naturais, a capacidade de se reproduzir as formas de funcionamento da natureza e suas características intrínsecas nas atuações promovidas pelo homem.

Ao longo da história, o desenho urbano e as obras de infraestrutura fizeram exatamente o contrário, retificando e canalizando cursos de rios, impermeabilizando grandes superfícies, desmatando áreas de matas ciliares ou inclusive adotando sistemas lineares de

malha urbana em quadrícula que apresentam pouca relação com a topografia. Esses processos geram um maior gasto de energia, ou o emprego acumulado da mesma, podendo acarretar desde uma relação conflituosa com o meio urbanizado, como é o caso das declividades acentuadas e a conseqüente falta de acessibilidade, até colapsos de proporções catastróficas nos casos de inundações à jusante, decorrentes da impermeabilização e aumento da velocidade das águas em cursos canalizados e retificados.

À medida que a edificação do espaço estabeleça um diálogo com o meio onde se instala, as chances de ocorrência de situações adversas à permanência são menores, podendo chegar a restringir-se a desastres naturais, porém não advindos da má ocupação territorial. Como pode ser observado na natureza, os ciclos e os cursos de água, assim como o desenvolvimento vegetal e o trajeto dos animais tendem a percorrer os caminhos cujo emprego de energia é menor e mais constante ao longo do tempo. Além disso, há uma tendência das populações de se distribuírem em função dos recursos disponíveis, prevalecendo as características de dispersão sobre as de concentração, assim como autorregulação dos diferentes subsistemas.

Dentre os exemplos aplicáveis ao conceito de Mimese dos Processos Naturais, pode-se citar a estruturação rasa e profunda do solo através de raízes, infiltração de águas pluviais, retardamento dos fluxos superficiais, regulação térmica através de cobertura vegetal, entre outros. Essas soluções apresentam eficácia comprovada também na reversão de processos já instalados, como a renaturalização de leitos de rios, contenção vegetal de encostas e outras medidas que devolvem ao ambiente características similares aos ciclos prévios à ocupação.

3.5. Utilização de Materiais Vivos

O emprego de Materiais Vivos pode ser considerado como uma variável isolada, mas que também está diretamente relacionada com os Recursos Renováveis e a Mimese dos Processos Naturais, podendo ainda estar relacionada com o Uso de Recursos Locais, no caso das plantas autóctones. Trata-se da utilização de fibras vegetais, sementes, plantas ou raízes como material que desempenham uma função específica nos processos construtivos, principalmente como coberturas e contenções de encostas e margens de rios.

Apesar do uso mais difundido relacionar-se com a estruturação dos solos através das raízes, essa técnica também permite maior absorção de águas, o que aumenta a permeabilidade da superfície no caso do uso como forração, além de incrementar o desempenho térmico quando utilizada em forma de teto verde. Também vale ressaltar que promove uma maior integração e simbiose com a fauna local, podendo ser pensada como um fator de incremento à vida animal e suas possíveis contribuições ao desempenho natural das intervenções.

O emprego de vegetação adjacente aos processos construtivos já era utilizado de forma empírica desde tempos remotos, porém ainda é possível descobrir novas formas de aplicação através de pesquisas e experimentações continuadas.

3.6. Utilização de Materiais Residuais

O uso de materiais residuais complementa o fechamento de determinados ciclos, assim como diminui a extração de recursos não renováveis, além de apresentar reduzido impacto decorrente do transporte ao ser utilizado próximo ao seu lugar de descarte. Existem diferentes fontes e formas de emprego destes materiais para utilização em construção civil. Podem haver resíduos provenientes de distintas etapas das cadeias produtivas, desde a extração de matéria prima, em diferentes momentos do processamento ou até mesmo das fases de acabamento.

No Brasil, alguns processos industriais já reciclam materiais residuais de outras atividades produtivas, como ocorre na utilização das aparas de lâminas (compostas de plástico e alumínio) durante a fabricação de tubos de pasta de dentes para confecção de painéis ou telhas, ou a transformação de lascas de madeira na fabricação de placas aglomeradas e compensadas.

Cabe ainda destacar que além dos resíduos da produção, pode-se utilizar material de dejetos, como a aplicação de pneus na constituição de taludes, como agregado em pavimentos asfálticos, dentre outros usos. Também é bastante difundido o uso de entulho e restos de materiais de construção para aterros e regularizações, porém esta utilização deve ser controlada para evitar a ocorrência de recalques ou outros problemas estruturais.

O emprego de resíduos também tem se apresentado como alternativa para a geração de trabalho e renda nas cooperativas de reciclagem e reutilização, além de fomentar transformações culturais acerca do real potencial que cada insumo produzido pode apresentar à humanidade para a construção do seu espaço. Neste sentido, muitos países têm investido em pesquisas e aplicações de diferentes técnicas relacionadas à reciclagem de materiais.

3.7. Potencial Urbanístico

Além das questões relacionadas ao desempenho técnico das práticas aqui citadas, cabe ressaltar que o conceito de sustentabilidade também diz respeito às questões sociais tangentes e à qualidade de vida dos habitantes. Por isso esta variável pretende conformar um indicador da potencialidade urbanística inerente a cada uma das Ecotécnicas analisadas, considerando as possíveis interações dos usuários com o espaço físico. Podem ser consideradas as funções secundárias dos espaços, como por exemplo o uso de reservatórios de detenção como praças e quadras esportivas. Também pode-se destacar o potencial paisagístico de algumas aplicações como as bacias de retenção, as valas de infiltração, os pavimentos permeáveis etc.

O Potencial Urbanístico depende muito mais do cuidado, intenção e desenho na elaboração e execução de projetos urbanísticos, tendo em conta a capacidade de uso e fruição do espaço pelos usuários, do que propriamente de um coeficiente aplicável a cada uma das técnicas. Algumas experiências já têm colocado a possibilidade de aproveitamento múltiplo dos espaços, inclusive existem peças desenhadas especialmente para que as intervenções apresentem eficiência técnica ao mesmo tempo que proporcionam uma maior qualidade espacial.

3.8. Redução/Reversão de Impactos

Esta variável, mais do que tratar de uma alternativa propriamente dita, refere-se ao emprego de todas as outras, de maneira isolada ou associadas entre si, visando à mitigação

dos seus impactos através da utilização de técnicas e materiais que estabeleçam uma relação equilibrada com as situações onde se inserem. Entretanto, este item contempla também as medidas que revertam e requalifiquem espaços já consolidados com intervenções altamente impactantes e que, por diversos motivos, não atendem a condições satisfatórias de funcionamento.

Os impactos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente são decorrentes de posturas ultrapassadas, como os ciclos abertos, a utilização de recursos não renováveis e/ou de procedência longínqua, bastante praticadas. Esses impactos encadeiam uma série de consequências, algumas diretas - como a escassez de recursos -, outras indiretas, ao longo dos ciclos de utilização e descarte - acúmulo de lixo em aterros, rios e mares, contaminações, colapsos, inundações, entre muitos outros.

As soluções de redução e reversão de impactos colocadas em prática consideram o ambiente como um todo, entendendo que os recursos têm fontes e destinação final diferentes, permitindo que sejam retirados, utilizados e descartados de maneira cíclica, ou no mínimo menos impactantes, adotando-se medidas desde a extração até o processamento final dos dejetos.

A compreensão e aplicação deste conceito básico, que agrega os demais princípios aqui atribuídos às Ecotécnicas, pode apontar para transformações culturais significativas quanto à forma de se habitar as cidades, assim como a forma de relacionar-se com o território como um todo.

Capítulo 4. Aplicação de Ecotécnicas em Sistemas de Manejo de Águas Pluviais Urbanas

Uma vez definidas as variáveis que serão utilizadas para a análise de técnicas construtivas de drenagem urbana, faz-se necessária a classificação das mesmas em relação à função e lugar que ocupam na bacia hidrográfica. Conforme Nascimento e Baptista (PROSAB, 2009, p.155), as técnicas estruturais podem ser classificadas em:

- Técnicas locais de controle na fonte;
- Técnicas lineares de controle na fonte;
- Técnicas de controle centralizado.

Partindo-se desta classificação e, a partir da observação das demandas apresentadas por diferentes situações urbanas impactadas, ainda buscando possibilidades de emprego de medidas estruturais que as atendam de forma a contemplar o conceito aqui atribuído às Ecotécnicas, foram acrescentadas ainda as seguintes classes de intervenção:

- Dispositivos de tratamento dos efluentes pluviais;
- Contenção de taludes e encostas;
- Estabilização de taludes fluviais; e
- Canalização de cursos d'água.

4.1. Técnicas Locais de Controle na Fonte

A lógica natural do percurso realizado pela água precipitada, de montante para jusante, aponta para qual postura deve ser tomada na concepção dos Sistemas de Manejo de Águas Pluviais Urbanas: procurar a melhor alternativa para a seu amortecimento desde as cotas mais altas até as mais baixas, evitando a sua concentração nos fundos de vale. Neste sentido, Teixeira (2005, p.108) define o Planejamento Hidrologicamente Sustentável como aquele que trata as várias intervenções no território de forma integrada, levando em consideração que contribuem para o sistema como um todo.

Segundo Tucci (2005, p.84), as principais medidas de controle localizadas nos lotes, estacionamento etc são denominadas, normalmente, de controle na fonte (*source control*). Suas principais características são o aumento de áreas de infiltração e percolação e o armazenamento temporário em reservatórios de diferentes conformações, geralmente em pequena escala. Urbonas e Stahre (1993, *apud* Tucci, 2005, p.84) apontam as principais características deste tipo de controle do escoamento:

- aumento da eficiência do sistema de drenagem a jusante dos locais controlados;
- aumento da capacidade de controle de enchentes dos sistemas;
- dificuldade de controlar, projetar e fazer manutenção de um grande número de sistemas;
- riscos de elevados custos de operação e manutenção.

Pode-se observar que proporcionam tanto benefícios como fatores complicadores para sua disseminação, requerendo estudos prévios que levem em consideração o caráter disperso desde a implementação aos regimes de manutenção.

Reis (2008, p.105) atenta para o fato de que não existe um único sistema de drenagem na fonte que se enquadre como uma solução adequada para todos os casos, demandando o levantamento e análise das características locais e, entre as inúmeras soluções, escolher a alternativa que melhor se enquadre e possibilite maior desempenho quanto ao amortecimento do pico de vazão de escoamento superficial. Portanto, torna-se possível o desenvolvimento de soluções pormenorizadas que, somadas, representem ganhos significativos ao sistema global, reduzindo consideravelmente as concentrações a jusante.

Souza (2002, p.15) propõe que o emprego de tecnologias alternativas deve ser feito de maneira distribuída, com o uso de diferentes soluções e participação de distintos profissionais, já que novas abordagens envolvem questões mais amplas, relativas ao urbanismo, qualidade da água, convivência com o usuário, dentre outras. Ainda apresenta, citando Urbonas e Stahre, 1993; Azzout *et al*, 1994; Bettess, 1996; Nascimento *et al.*, 1997, as seguintes vantagens (ou potenciais, dependendo do contexto em que são inseridas):

- diminuição do risco de inundação e contribuição para a melhoria da qualidade da água em meio urbano;
- redução ou mesmo eliminação da rede de microdrenagem local;
- minimização das intervenções a jusante de novas áreas loteadas quando a rede de drenagem preexistente encontra-se saturada, permitindo a modulação do sistema de

- drenagem em função do crescimento urbano;
- boa integração com o espaço urbano e possibilidade de valorização da água no meio urbano, através de áreas verdes, áreas de lazer, etc;
 - melhoria da recarga de água subterrânea, normalmente reduzida em razão da impermeabilização de superfícies, com consequente manutenção de vazão de base dos pequenos rios urbanos;
 - taxas mais elevadas de enchimento médio dos coletores de águas pluviais e melhores condições de transporte de matéria sólida;
 - controle da poluição das águas pluviais, contribuindo para a recuperação e preservação do meio ambiente (incluindo-se transporte de lixo e consequente entupimento de bueiros e galerias etc);
 - baixos custos de implantação.

Como contraponto, o autor também apresenta as seguintes desvantagens:

- preocupação com manutenção frequente, a fim de se evitar a perda de desempenho e aumentar a vida útil;
- utilização das tecnologias condicionada a características do solo (tipo, uso e ocupação, topografia), lençol subterrâneo etc;
- uso recente, resultando na falta de padrões de projeto e na escassez de informações a respeito do seu funcionamento a longo prazo;
- risco de contaminação do aquífero;
- risco de afetar fundações de obras vizinhas.

A partir deste conjunto de informações e buscando-se observar as possibilidades de se trazer ao ambiente urbano uma maior qualidade espacial (para além do desempenho hidráulico e da contribuição à mitigação dos impactos causados pela água de chuva), serão analisadas as técnicas locais de controle na fonte listadas na tabela 2 (p. 34) , a saber:

- Telhado Verde;
- Telhado Armazenador;
- Microrreservatório;
- Poço de Infiltração;
- Plano de Infiltração.

4.1.1. Telhado Verde

As edificações podem contribuir para a mitigação dos impactos da urbanização através da aplicação de alguns dispositivos de controle compatíveis com a sua escala, nos limites de seus lotes. Ainda que uma iniciativa isolada possa parecer pouco significativa para a escala urbana, vem se tornando cada vez mais importante a somatória de pequenas medidas de controle na fonte. E, considerando-se a possibilidade de se alcançar (ou quase) uma destinação 'zero' das águas pluviais particulares para o sistema de drenagem urbana, sua ordem de importância aumenta consideravelmente.

O telhado verde consiste na aplicação de vegetação, principalmente de pequeno porte, sobre a cobertura de edificações (fig. 25). Necessita de impermeabilização e drenagem adequadas, pois seu substrato (terra) permanecerá úmido a maior parte do tempo, proporcionando, além de benefícios estéticos e ecológicos, melhorias nas condições de conforto termoacústico, redução da reflexão solar, redução de poeira e partículas em suspensão, filtragem das águas de primeira chuva etc, contribuindo significativamente para o microclima urbano.

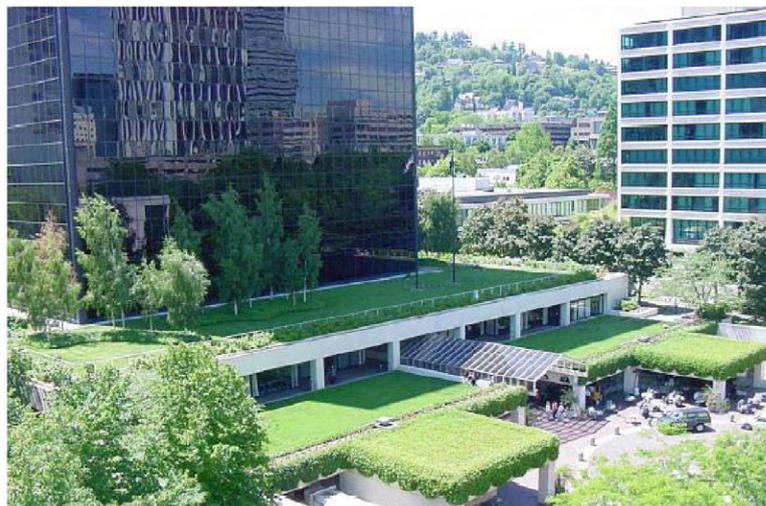


Figura 25: Edifício público com telhado verde. Fonte: Portland Bureau of Environmental Services, 2002 *apud* Souza, 2005.

Segundo Righetto et. al. (PROSAB, 2009, .32) o telhado verde é muito eficiente na redução do escoamento em chuvas intensas e de curta duração, podendo reter até 70% da chuva durante a estação seca, pelo aumento de área verde e pela evapotranspiração. Além disso, aporta valor comercial ao empreendimento e cria condições de vida natural, sendo

considerado uma opção economicamente excelente quando comparado aos sistemas estruturais de grande porte.

Também apresentam alto grau de variabilidade nas possibilidades de sua utilização, já que a cobertura vegetal aceita ser aplicada em altas declividades e em superfícies irregulares. Portanto, vêm sendo utilizados em projetos que buscam exprimir, através de formas orgânicas, uma postura mais atual e integrada com o meio (fig. 26 e 27).



Figura 26: Escola de Arte, Design e Comunicação da Universidade Tecnológica de Nanyang, em Cingapura. Fonte: hypescience.com.



Figura 27: Biblioteca da Universidade de Delft, Holanda. Fonte: Mecanoo, 2010.

No entanto, envolve algumas condicionantes que ainda não estão totalmente incorporadas no Brasil, como o uso de coberturas planas em edificações com reforço estrutural, a manta impermeabilizante recobrendo a laje, a camada de solo com rede de contenção e sistema de drenagem etc. Também requerem manutenção e podas constantes, o que não demanda mão de obra especializada, mas deve ser considerada nos custos finais de sua instalação.

Devido à constante presença de água, necessitam de uma perfeita impermeabilização de sua estrutura de apoio (comumente laje), uma vez que, em caso de falha e infiltração de água, o serviço de reparo será um tanto quanto dificultado pela necessidade de desmonte da camada viva. Por outro lado, caso bem executada, permanecerá protegida da ação agressiva dos raios solares, a principal causa de deterioração de impermeabilizações de grande superfícies, principalmente aquelas executadas a partir de subprodutos do petróleo (sensíveis aos raios UV).

Dentre as variáveis adotadas, os Telhados Verdes podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** através da escolha de espécies vegetais, substratos, materiais

de construção e mão de obra;

- **Utilização de Recursos Renováveis:** através da utilização de materiais de construção renováveis, como madeira, bambu, impermeabilizantes naturais (à base de mamona p.e.) etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mímese de Processos Naturais:** através dos efeitos positivos da presença de vegetação, principalmente de espécies nativas, como elevação do albedo, controle da temperatura, diminuição da poeira em suspensão, aumento da umidade, presença de fauna, bem como possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da absorção e detenção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** devido à possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** o sistema de drenagem pode ser preenchido com agregados graúdos, oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil, além da adubação a partir de insumos orgânicos;
- **Potencial Urbanístico:** maior presença de vegetação na paisagem urbana e possibilidade de criação de espaços públicos quando o acesso às coberturas é previsto;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, reduzindo-se o efeito de ilhas de calor, como também diminuição significativa da demanda por materiais de construção industrializados.

4.1.2. Telhado Armazenador

Os telhados armazenadores possuem basicamente a mesma tipologia de concepção dos telhados verdes, apenas sendo mais explorada a reservação de água em seu volume. Devido à ausência de cobertura vegetal, há uma maior necessidade de manutenção da impermeabilização devido à ação do sol. Segundo Brito (2006, p.19), os telhados armazenadores se encarregam do armazenamento provisório das vazões escoadas e são desenvolvidos com dispositivos de regulação de vazão associados a uma determinada vazão máxima. Podem ser planos ou dotados de ligeira declividade com a implantação de compartimentos (fig. 28).

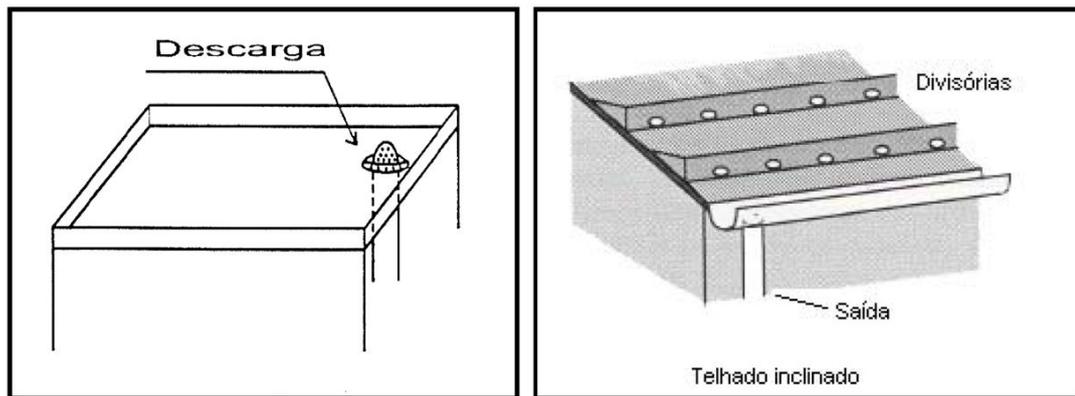


Figura 28: Esquemas de telhados armazenadores plano e inclinado. Fonte: Brito, 2006.

Os telhados armazenadores vêm sendo bastante utilizados nos Estados Unidos e na França, mas isto não ocorre no Brasil. Segundo Tucci (2005, p.90), o armazenamento em telhados apresenta algumas dificuldades, que são a manutenção e o reforço das estruturas. Em razão das características de clima brasileiro e do tipo de material geralmente utilizado nas coberturas, esse tipo de controle dificilmente seria aplicável à nossa realidade. Isto porque a evapotranspiração através da ação do sol e dos ventos é muito alta, principalmente em regiões mais quentes, o que acarretaria no seu constante secamento – e deterioração da impermeabilização.

De qualquer forma, apresentam um alto potencial de contribuição à drenagem urbana se pensados em conjuntos de edificações, sendo perfeitamente possível adaptar algumas soluções técnicas ao clima brasileiro, como o sombreamento de sua superfície, ou a constante reposição da água evaporada a partir da instalação de uma torneira-bóia ligada à rede pública de abastecimento de água potável, por exemplo.

Existe ainda a tipologia de telhado armazenador com uma lâmina d'água suficiente para a criação de peixes (carpas, p.e.), que controlam a proliferação de insetos e resultam em um pequeno ecossistema equilibrado, com possibilidade de inserção de espécies vegetais hidrófilas, apresentando ainda um elevado potencial paisagístico.

Dentre as variáveis adotadas, os Telhados Armazenadores podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** através da escolha de espécies vegetais e de peixes;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** através da utilização de impermeabilizantes naturais (à base de mamona p.e.);

- **Mímese de Processos Naturais:** através da possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da detenção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais e animais;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de se associar os benefícios dos espelhos d'água à ambiência urbana quando a visibilidade das coberturas é prevista;
- **Redução / Reversão de Impactos:** a partir da diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva, como também da redução do efeito de ilhas de calor.

4.1.3. Microrreservatório

Os microrreservatórios são soluções implementadas para se alcançar o aproveitamento da água de chuva dentro dos domínios de uma edificação, evitando desperdícios de água potável servida em usos onde não se faz necessária. Por outro lado, são dispositivos que também atenuam o volume de escoamento para a drenagem urbana, o que contribui significativamente ao passo em que o volume armazenado aumenta.

Segundo Righetto (PROSAB, 2009, p.36), nos últimos anos tem havido um maior avanço na tecnologia de uso da água pluvial em residências (fig. 29). A água da chuva é transferida por um sistema de calhas e tubulações até o reservatório, passando por um dispositivo separador que evita a contaminação oriunda de materiais sólidos no volume reservado.



Figura 29: Microrreservatório EcoRain. Fonte: Alpina Termoplásticos, 2010.

Neste nível de proteção básica, a água pode ser usada para diversos fins que não a coloquem em contato direto com o organismo humano, como regas de jardins, lavagem de pisos e veículos etc. Caso haja a intenção ou necessidade de um contato mais direto, faz-se necessário o seu tratamento, que pode aumentar em nível de complexidade dependendo dos fatores envolvidos (qualidade da água, tipo de uso, custos etc).

Tipologicamente, os microrreservatórios podem ser feitos de diversos materiais, pré-fabricados ou moldados *in- loco*. Também podem ser instalados sobre a superfície do solo ou enterrados, demandando então o bombeamento da água para utilização (fig. 30). A sobrecarga que recebem pode ser destinada para o sistema de drenagem urbana ou então estar associada a outro(s) dispositivo(s) de infiltração no solo, tornando o sistema mais eficiente no sentido da atenuação da vazão em picos de chuva.

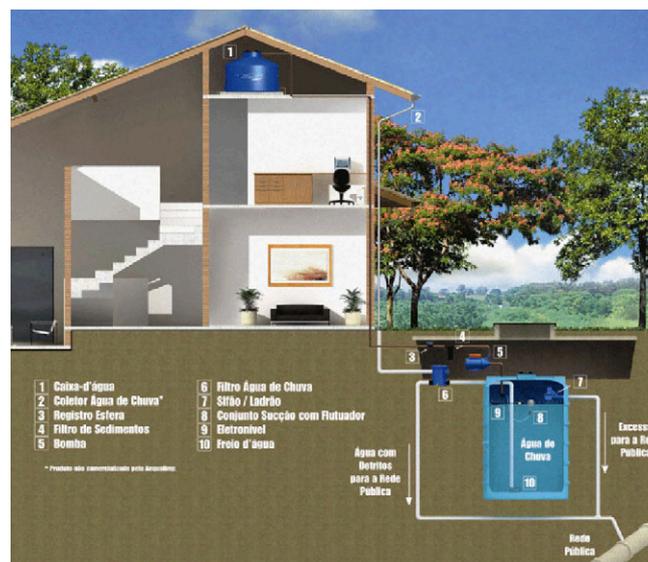


Figura 30: Esquema de instalação de microrreservatório em residência. Fonte: Acqualimp, 2009.

Apesar de estarem sendo bastante difundidos em residências servidas de rede de água potável, os microrreservatórios vêm cumprindo uma função vital em regiões com escassez de água, por vezes de qualquer procedência. Na região semiárida do Brasil, a água armazenada em cisternas (fig. 31) é submetida a um tratamento primário e usada nas diversas necessidades diárias, principalmente na dessedentarização de pessoas e animais. Nessas instalações, as primeiras chuvas, contaminadas com poeira, folhas ou resíduos de pássaros, devem ser descartadas. Uma tela instalada na entrada do reservatório permite separar a matéria sólida presente na água.



Figura 31: Processo de construção e utilização de uma cisterna do Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC) – ASA Brasil. Fonte: almanaquebrasil.com.br.

Embora contribuam para a atenuação da vazão de pico, Tucci (2005, p.91) alerta para o fato de que, à medida que o reservatório é mantido com água, reduz-se sua capacidade de amortecimento. Portanto, em regiões com período longo com estiagem, o reservatório deveria aumentar de volume para se tornar viável.

Dentre as variáveis adotadas, os Microrreservatórios podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Renováveis:** através da utilização de impermeabilizantes naturais (à base de mamona p.e.);
- **Mímese de Processos Naturais:** possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da detenção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Residuais:** os diferentes tipos de reservatórios podem ser produzidos a partir de materiais reciclados, como tambores plásticos, alvenaria de blocos feitos a partir de resíduos sólidos da construção civil etc;
- **Potencial Urbanístico:** sua inserção arquitetônica pode ser pensada de forma a valorizar sua presença (e dinâmica) no ambiente urbano;
- **Redução / Reversão de Impactos:** a partir da diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva é possível se reduzir as inundações nas cotas mais baixas das áreas urbanizadas, bem como gerar redução do consumo de água potável servida.

4.1.4. Poço de Infiltração

Os poços de infiltração se apresentam como um dos dispositivos mais simples a serem implementados na busca por uma maior sustentabilidade da drenagem urbana, pois ocupam pouco espaço, são fáceis de serem construídos e requerem pouca manutenção. Reis

(2008, p.116) coloca que entre os sistemas de drenagem sustentáveis e de controle na fonte, destacam-se pelo seu potencial em contribuir para o restabelecimento do equilíbrio hídrico da microbacia de uma área edificada.

Consistem basicamente em buracos de formas variadas e volume reduzido que recebem contribuições específicas de superfícies impermeáveis, como pisos e telhados, e as direcionam à camadas mais rasas do subsolo. A fim de se garantir sua durabilidade, a forma escavada pode ser estabilizada através da construção de paredes de alvenaria ou anéis de concreto perfurado (fig. 32 e 33), ou mesmo preenchendo seu volume com pedras ou resíduos sólidos da construção civil. Seu interior pode ser revestido com manta geotêxtil, para permitir a infiltração de águas sem o carreamento de partículas e sedimentos, contribuindo para uma maior qualidade das águas com relação à poluição difusa lançada no poço – e por consequência no subsolo. Também se faz interessante a instalação de uma tampa com boa estanqueidade, evitando a entrada de águas sujas e de poluição difusa provenientes da superfície do solo.

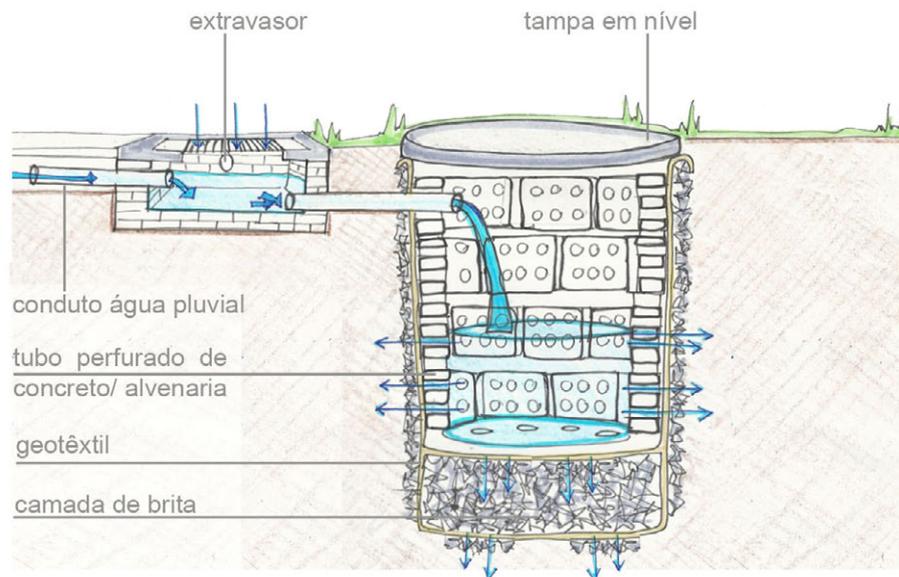


Figura 32: Poço de Infiltração em concreto pré-moldado. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Reis, 2005.



Figura 33: Construção de um Poço de Infiltração de 1,0 m³ para estudo e análise de desempenho, LSP-EEC-UFG . Fonte: Reis, 2005.

Caso o solo não apresente boa capacidade de absorção, é possível se instalar uma estrutura de apoio para evitar que transborde com facilidade. A figura 34 ilustra o princípio de um poço, também equipado com uma caixa de passagem e tubo extravasador que, no caso de diminuição da capacidade de absorção do solo e total enchimento do poço, passa a lançar o volume excedente no sistema público de coleta de água pluvial.

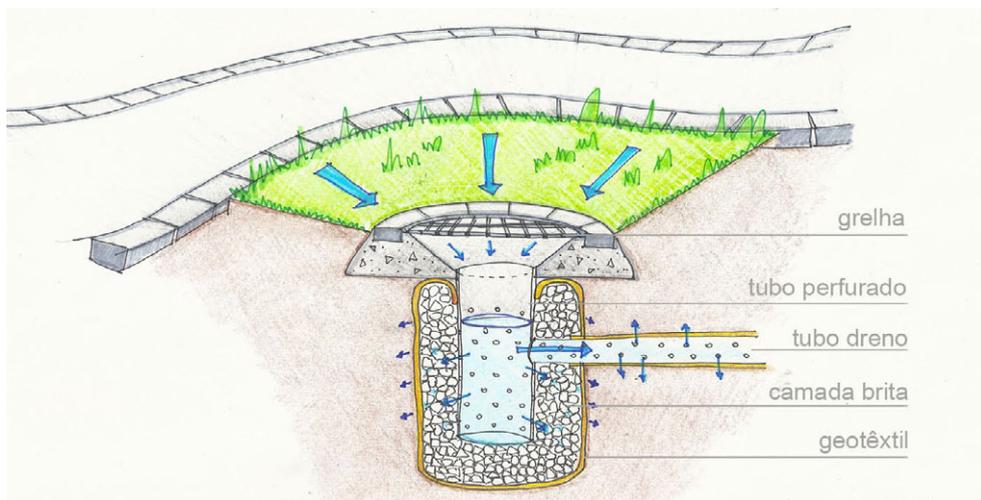


Figura 34: Poço de Infiltração com dreno. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Tucci, 2005.

Devido a estas características, é uma solução muito apropriada para lotes individuais, sendo que em algumas cidades (São Paulo, Curitiba, Campinas) já se encontram leis e incentivos que regulamentam e/ou promovem seu uso. O município de São Carlos - SP prevê, a partir da Lei nº 13.246 de 2003, que os lotes acima de 250,00 m² devem apresentar o

projeto de poços de infiltração (fig. 35) já no momento do pedido de aprovação das edificações, sendo o volume variável de acordo com o tamanho da área de cobertura. Vale ressaltar que em alguns bairros novos da cidade, principalmente condomínios residenciais, a implementação destes poços já se tornou prática comum e bem aceita entre os moradores.



Figura 35: Esquema fornecido pela Prefeitura Municipal de São Carlos para o atendimento à Lei nº 13.246 de 2003. Fonte: PMSC, 2009.

Pensando neste tipo de controle na escala urbana, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, junto à Universidade Federal de Minas Gerais, realizou o Projeto Piloto de Desenvolvimento de Tecnologias em Drenagem para uma Gestão Integrada dos Serviços Hídricos Municipais, no ano de 2007. O projeto foi baseado em pesquisa de inovações tecnológicas para manejo e gestão de águas urbanas, a partir do emprego de soluções não convencionais. Foram implantados 43 experimentos nas modalidades de trincheiras, valas e poços de infiltração (fig. 36), colhendo-se resultados satisfatórios de funcionamento.



Figura 36: Sequência de construção de poço de infiltração. Fonte: adaptado de Champs, 2007.

A construção dos poços se deu de maneira muito simples, tendo um resultado final semelhante a uma boca-de-lobo convencional (fig. 37). Uma importante diferença foi a implantação de manta geotêxtil em suas paredes, evitando o carreamento e concentração de cargas poluentes, principalmente nas primeiras chuvas.

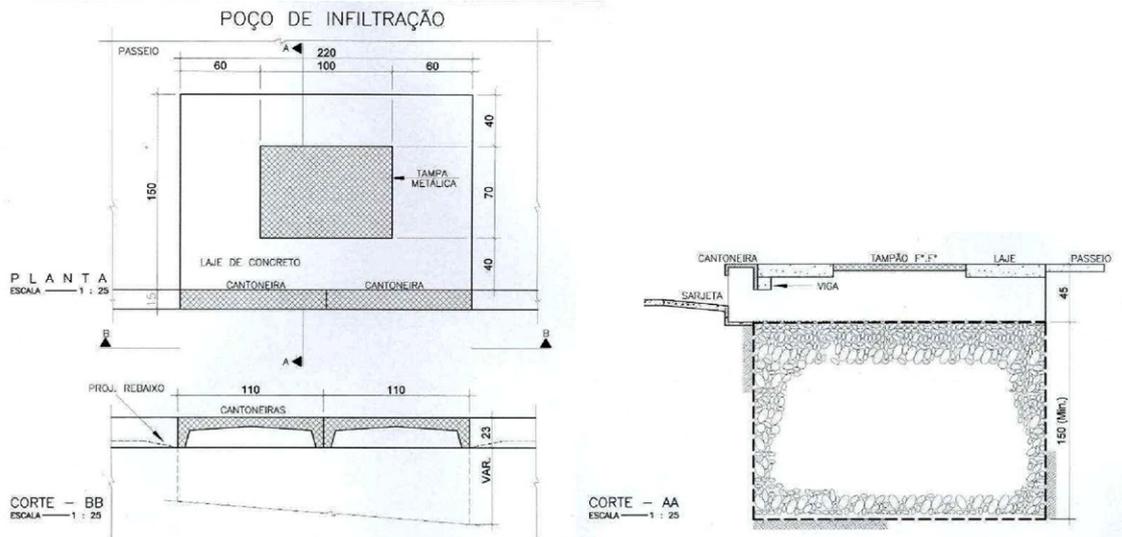


Figura 37: Poço de Infiltração - PMBH. Fonte: adaptado de Champs, 2007.

Dentre as possibilidades de aproveitamento de sua inserção no meio urbano, é possível implantar um Poço de Infiltração de maneira quase imperceptível, aproveitando-se de seu efeito paisagístico de leve impacto, conforme ilustrado na figura 38:

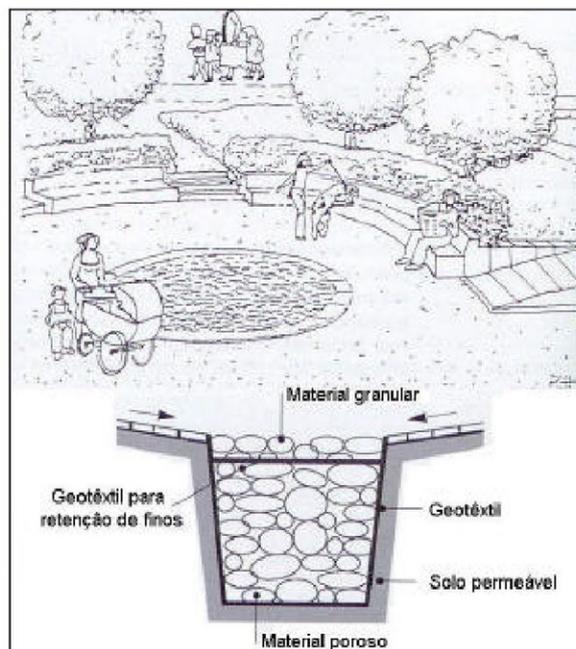


Figura 38: Poço de infiltração inserido em área de lazer. Fonte: Souza, 2002.

Neste caso, ao invés de se tampar o poço, seu volume é preenchido por pedras até a superfície do solo. Isto diminui consideravelmente o seu volume de armazenamento, mas por outro lado o torna bastante compatível com projetos paisagísticos e de drenagem onde a infraestrutura é empregada como um dos elementos conformadores do espaço (fig. 39).



Figura 39: Poço de Infiltração integrado a uma área de lazer infantil (região de Lyon, França). Fonte: Baptista et.al., 2005.

Apesar das vantagens encontradas neste tipo de dispositivo, vale observar que, dependendo do tipo de solo, podem apresentar baixa capacidade de infiltração das águas pluviais. Não são indicados para solos colapsíveis, solos com baixa capacidade de infiltração ou lençol freático elevado.

Assim como outras técnicas de infiltração, requerem maior atenção com relação aos usos e atividades em suas proximidades, a fim de se evitar ao máximo a contaminação do subsolo. E, dependendo dos tipos de sedimentos carregados pelas águas de chuva, também é provável que ocorra o processo de colmatção da manta geotêxtil, reduzindo assim a sua eficácia.

Dentre as variáveis adotadas, os Poços de Infiltração podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de itens fabricados ou pré-moldados localmente, mão-de-obra etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à infiltração de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mímese de Processos Naturais:** possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a

partir da retenção e infiltração de parte do volume precipitado;

- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser preenchidos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação, estacionamentos etc, sem interferir nas condições de uso dos locais;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, promovendo a recarga de lençóis freáticos ou aquíferos, bem como a diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva.

4.1.5. Plano de Infiltração

Conforme Tucci (2004, p.48), os planos de infiltração são faixas de terreno com grama ou cascalho, com ou sem outras estruturas de drenagem, destinadas à infiltração e armazenamento temporário de água (fig. 40). Apresentam o benefício do amortecimento das vazões nos picos de chuva e também da melhoria da qualidade da água, além do alto efeito paisagístico em potencial.

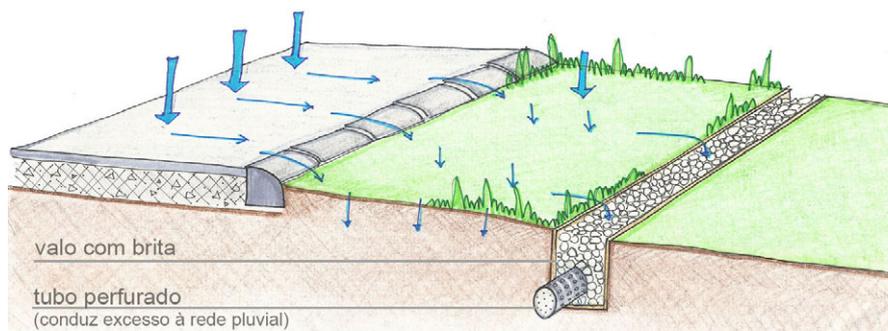


Figura 40: Plano de Infiltração. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Tucci, 2005.

Existem vários tipos de planos de infiltração, de acordo com a sua disposição no local. Em geral, a área de infiltração é um gramado lateral que recebe a precipitação de uma área impermeável, como em vias ou edifícios (fig. 41 e 42). Sua eficácia depende da capacidade de infiltração do solo, portanto, durante precipitações intensas, essas áreas podem ficar submersas se a sua capacidade for muito inferior à intensidade da precipitação.



Figura 41: Plano de infiltração. Fonte: Amanthea, 2008.



Figura 42: Plano de infiltração. Fonte: US Environment Protection Agency, 2008.

Como ocorre em outras estruturas que fazem uso do espaço disponível para transferir água de áreas impermeáveis para permeáveis, a sua superfície pode ser usada para detenção, quando a capacidade de infiltração do solo for pequena. Também é possível se associar o uso de filtros de pedras e seixos para reduzir velocidade, caso necessário.

Se a drenagem local transportar muito material fino, a capacidade de infiltração pode ser reduzida, necessitando limpeza do plano para manter seu funcionamento. Por outro lado, esta propriedade o leva a ser utilizado como uma estrutura de pré-tratamento de outras estruturas mais elaboradas, principalmente as de infiltração.

Dentre as variáveis adotadas, os Planos de Infiltração podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** utilização de materiais de construção renováveis, como madeira, bambu, plantas etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;
- **Mímese de Processos Naturais:** através dos efeitos positivos da presença de vegetação, principalmente de espécies nativas, como elevação do albedo, controle da temperatura, diminuição da poeira em suspensão, aumento da umidade, presença de fauna, bem como possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da retenção e infiltração de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** emprego de espécies vegetais de diferentes portes;

- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser preenchidos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação, estacionamentos, criando paisagens com possibilidade de fruição e uso;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, promovendo a recarga de lençóis freáticos ou aquíferos, bem como a diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva.

4.2. Técnicas Lineares de Controle na Fonte

Segundo Baptista et. al. (2005, p. 173), as técnicas compensatórias lineares são aquelas que apresentam uma dimensão longitudinal significativa em comparação com sua largura e profundidade. Exatamente em função dessa característica, são bastante utilizadas em associação com o sistema viário. Conforme apresentado na tabela 2 (p. 34) Incluem-se neste grupo as seguintes técnicas:

- Trincheira de Infiltração;
- Vala de Infiltração;
- Pavimento Permeável;
- Pavimento Reservatório;
- Sarjeta Permeável;
- Canaleta Gramada.

4.2.1. Trincheira de Infiltração

As trincheiras de infiltração são estruturas lineares com função de abater descargas de pico do escoamento superficial e promover a infiltração no subsolo. Segundo Souza (2002, p. 21) são constituídas por valetas preenchidas por material granular (seixos rolados, brita etc) e um filtro geotêxtil envolvendo todo o material face à terra, impedindo a entrada de material fino na estrutura, além de servir como anticontaminante (fig. 43 e 44).

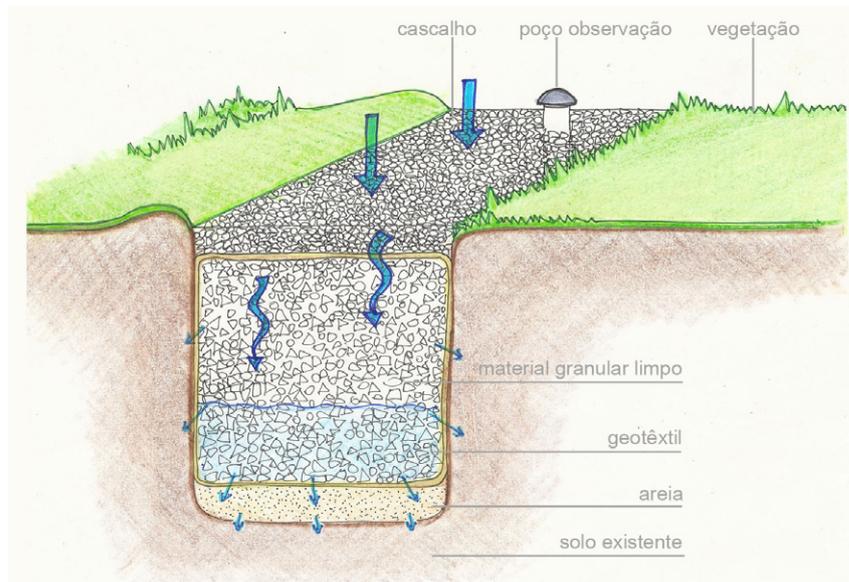


Figura 43: Trincheira de Infiltração. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Souza, 2002.

As trincheiras podem ser cobertas ou descobertas, dependendo do lugar onde são implantadas. Geralmente são recobertas por pedras, mas em áreas gramadas podem receber a cobertura vegetal, sem prejuízo do seu funcionamento. Também promovem o tratamento das águas superficiais para infiltração no solo, através do efeito de filtragem exercido pela manta geotêxtil.

É necessário se observar alguns cuidados relativos à sua implantação, como a profundidade do lençol freático, a declividade, o tipo e os usos do solo etc (*ibid.*, p.23). Não devem ser utilizadas em áreas com risco de deslizamento, áreas degradadas com alta declividade, terrenos alagadiços e sujeitos a efeitos de maré.



Figura 44: Etapas de construção de uma trincheira de Infiltração. Fonte: de Souza, 2002.

Como já descrito com relação aos poços de infiltração, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, junto à Universidade Federal de Minas Gerais, realizou o Projeto Piloto de Desenvolvimento de Tecnologias em Drenagem para uma Gestão Integrada dos Serviços Hídricos Municipais, no ano de 2007. O projeto foi baseado em pesquisa de inovações tecnológicas para manejo e gestão de águas urbanas, a partir do emprego de soluções não-convencionais. Foram implantados 43 experimentos nas modalidades de trincheiras, valas e poços de infiltração, colhendo resultados satisfatórios de funcionamento, visando o controle do escoamento na escala urbana.

Os projetos desenvolvidos para as trincheiras, sob as sarjetas e sob os passeios, assemelham-se a uma boca-de-lobo convencional, com a diferença de não estarem conectadas a nenhuma rede de drenagem (fig. 45 a 47). Dessa forma, em caso de saturação do solo e interrupção da infiltração, as águas continuam a escoar pela rua.



Figura 45: Sequência de construção de trincheira de infiltração sob sarjeta. Fonte: adaptado de Champs, 2007.

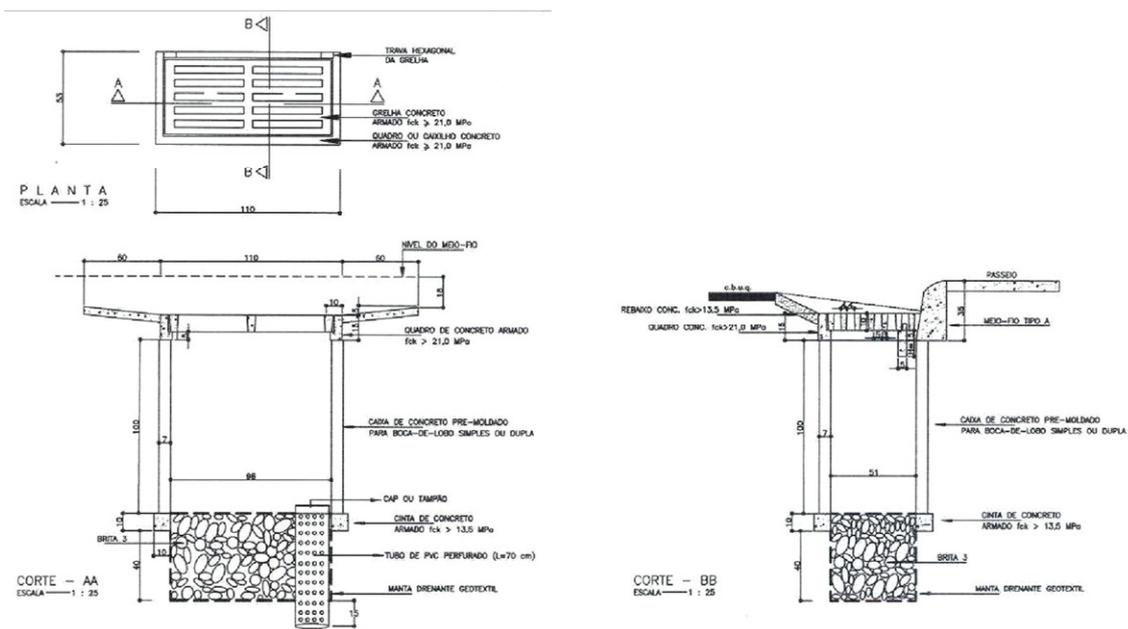


Figura 46: Trincheira de Infiltração sob sarjeta. Fonte: adaptado de Champs, 2007.

Os diferentes tipos de estrutura receberam a aplicação de manta geotêxtil visando evitar a contaminação do subsolo, já que nas ruas se encontra perigosos componentes oriundos da circulação de veículos, como metais pesados, óleos, graxas etc, além de sedimentos e poluição difusa.

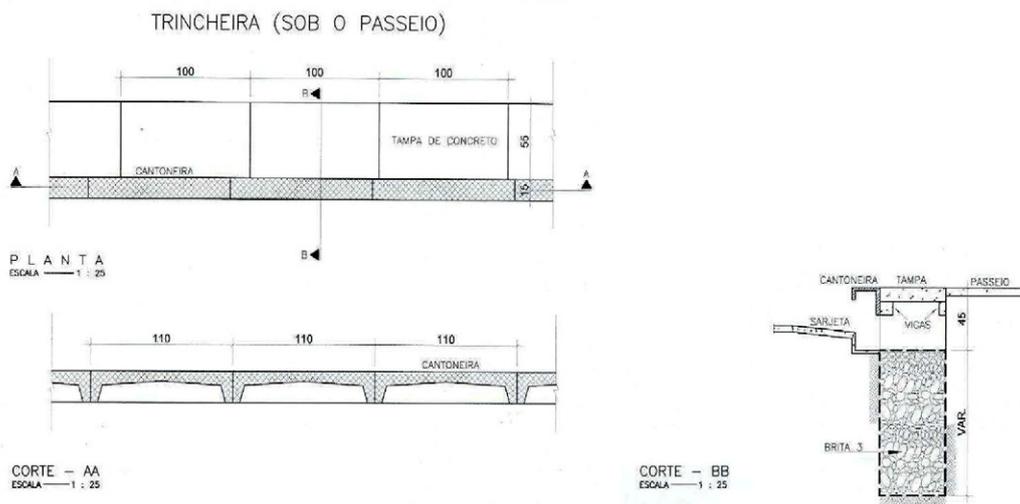


Figura 47: Trincheira de Infiltração sob passeio. Fonte: adaptado de Champs, 2007.

Dentre as variáveis adotadas, as Trincheiras de Infiltração podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** utilização de materiais de construção renováveis, como madeira, bambu, plantas etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;
- **Mímese de Processos Naturais:** através da possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da retenção e infiltração de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** emprego de espécies vegetais de diferentes portes, principalmente gramíneas, na superfície onde são implantadas;
- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser preenchidos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação, estacionamentos etc, sem interferir nas condições de uso dos locais;

- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, promovendo a recarga de lençóis freáticos ou aquíferos, bem como a diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva.

4.2.2. Vala de Infiltração

As valas de infiltração têm as mesmas características básicas das canaletas gramadas ou dos planos de infiltração, com a diferença de que são dotadas de dispositivos que promovem o aumento da infiltração. São vegetadas, abertas e funcionam como pequenos canais; que desaceleram o escoamento, aumentam o tempo de retenção e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração (fig. 48).

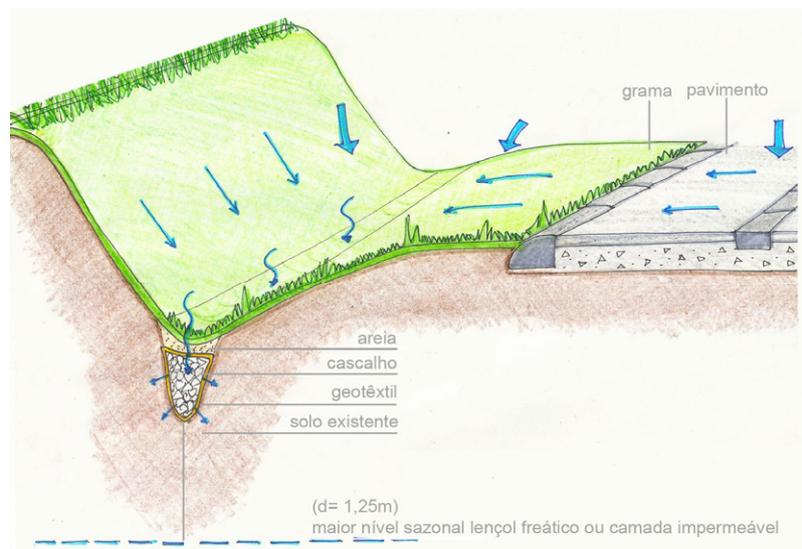


Figura 48: Vala de infiltração. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Teixeira, 2006.

Os efeitos esperados só são significativos para baixas declividades, e sua eficiência pode ser limitada em função da velocidade de saturação do solo. Já em regiões onde há chuvas muito frequentes, deve-se atentar para os riscos de proliferação de insetos.

Segundo Tucci (2005, p.86) são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos a ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, concentrando o fluxo das áreas adjacentes e criando condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento (fig. 49 e 50). Após uma precipitação intensa o nível sobe e, como a infiltração é lenta, mantém-se com água durante algum tempo, como um reservatório de detenção - já que a

drenagem que escoar para a vala é superior à capacidade de infiltração. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, é mantida seca. Esse dispositivo permite, também, a redução da quantidade de poluição transportada a jusante.



Figura 49: Vala de Infiltração. Fonte: Tucci, 2004



Figura 50: Vala de infiltração. Fonte: Bob Pitt's Teaching and Research Webpage, 2008.

Devido à sua conformação extremamente plana, Righetto (PROSAB, 2009, p.42) recomenda a instalação de dispositivo de filtragem (caixa de areia) a montante da estrutura destinada a reter sedimentos e resíduos presentes no deflúvio, pois a entrada de sólidos finos na estrutura compromete o seu funcionamento. Nesse sentido, o dispositivo de filtragem na entrada é necessário para melhorar o desempenho e aumentar a vida útil da vala de infiltração.

Dentre as variáveis adotadas, as Valas de Infiltração podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;
- **Mímese de Processos Naturais:** através da possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da retenção e infiltração de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** emprego de espécies vegetais de diferentes portes, principalmente gramíneas, na superfície onde são implantadas;
- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser preenchidos com agregados graúdos oriundos

da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;

- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação, estacionamentos etc, sem interferir nas condições de uso dos locais;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, promovendo a recarga de lençóis freáticos ou aquíferos, bem como a diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva.

4.2.3. Pavimento Permeável

A impermeabilização de grandes áreas de solo constitui um dos maiores impactos negativos provenientes da urbanização pois, além dos problemas de drenagem pluvial aqui discutidos, levam à alteração do microclima urbano. Teixeira (2005, p.32) esclarece que, associados a este processo, ainda podem acarretar efeitos negativos, como o surgimento de ilhas de calor urbanas, o aumento da amplitude térmica, o aumento do desconforto térmico para o ser humano e consequente aumento do consumo energético em arrefecimento, dentre outros.

O termo "ilha de calor" caracteriza-se pelo comportamento térmico local onde se verifica que os valores das temperaturas do ar urbano e da superfície são muito mais elevados do que nas áreas rurais envolventes. Portanto, é interessante implementar tipos de pavimentos que contribuam para uma reversão deste quadro, associados a outras medidas como arborização urbana, redução de emissão de gases etc. Neste sentido, os pavimentos permeáveis contribuem para a redução do volume e da velocidade do escoamento superficial.

Para Righetto *et. al.* (PROSAB, 2009, p.44), a superfície de um pavimento permeável facilita a infiltração do deflúvio na camada inferior do pavimento, que funciona como uma espécie de reservatório. Podem ser usados blocos de concreto pré-moldados, com desenhos especiais de diferentes formatos, assentados numa camada de areia com os espaços vazios preenchidos com material granular ou grama (fig. 51 e 52).



Figura 51: Exemplos de pavimentos drenantes pré-moldados em concreto. Fonte: TecPavi, 2010.

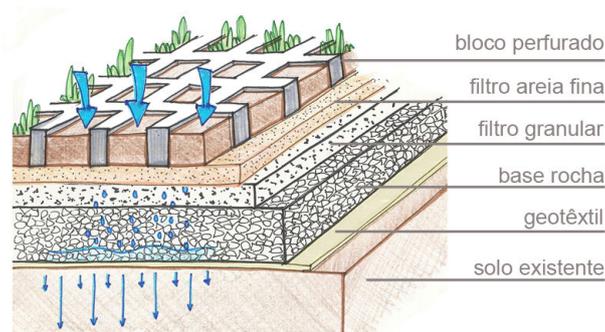


Figura 52: Pavimento permeável. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Urbonas e Stahre, 1993 *apud* Cruz et al., 1999.

Entre as vantagens desse tipo de pavimento, encontram-se a redução do volume de escoamento superficial e dos condutos de drenagem pluvial, a filtragem e retenção dos sólidos em suspensão, além de se evitar a formação de lâminas de água em estacionamentos e passeios. Outra característica importante é o grande potencial paisagístico e a boa comunicação tátil e visual.

Apesar de apresentar poucas desvantagens, podem apresentar um maior custo direto de construção, alguma possibilidade de contaminação dos aquíferos e, dependendo dos componentes na chuva, sofrer colmatação devido ao acúmulo de sedimentos, o que exige manutenção e limpeza constantes. Em geral, são projetados para suportar cargas dinâmicas de veículos leves em áreas de estacionamentos, porém em ruas de grande tráfego, esse pavimento pode ser deformado e entupido, tornando-se impermeável. Alternativamente aos pavimentos pré-moldados de concreto existem novos materiais porosos, como asfaltos, resinas e concretos especiais, dentre outros (fig. 53).

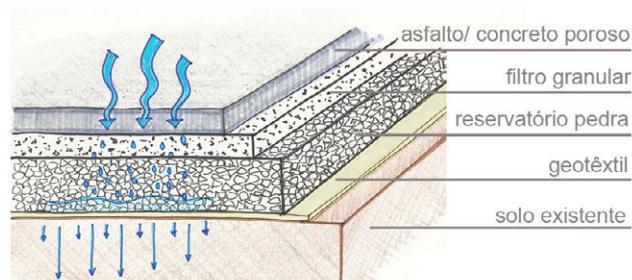


Figura 53: Pavimento permeável. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Urbonas e Stahre, 1993 *apud* Cruz et al., 1999.

Dentre as variáveis adotadas, os Pavimentos Permeáveis podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de itens fabricados ou pré-moldados localmente e de espécies vegetais, substratos, mão de obra etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;
- **Mimese de Processos Naturais:** efeitos positivos da permanência de grandes áreas permeáveis, possibilidade de uso de vegetação, bem como possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da absorção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais, principalmente gramíneas, quando utilizados os blocos pré-moldados em concreto;
- **Utilização de Materiais Residuais:** as bases e sub-bases podem ser feitas com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação e em grandes áreas pavimentadas, como estacionamentos e vias, com baixa interferência nas condições de uso dos locais;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, bem como a diminuição do volume e da velocidade de escoamento nos picos de chuva.

4.2.4. Pavimento Reservatório

O pavimento reservatório constitui uma boa alternativa não convencional para a redução do efeito da impermeabilização sobre a drenagem, atuando como um reservatório difuso ao longo da área pavimentada. Brito (2006, p.15) o define como aquele dotado de material permeável e com introdução das águas pluviais efetuada diretamente na superfície, por onde a água infiltra naturalmente através de seus poros para um reservatório subterrâneo. No entanto, o pavimento permeável exige manutenção periódica para a retirada do sedimento fino retido na superfície (espaços entre os blocos), que dificulta ou prejudica a infiltração.

Quando implementados com pavimentos impermeáveis, a água é levada através de drenos ou bocas de lobo para um reservatório subterrâneo, sendo então lentamente evacuada por infiltração ou por um exutório, dependendo de sua conformação, como ilustra a figura 54:

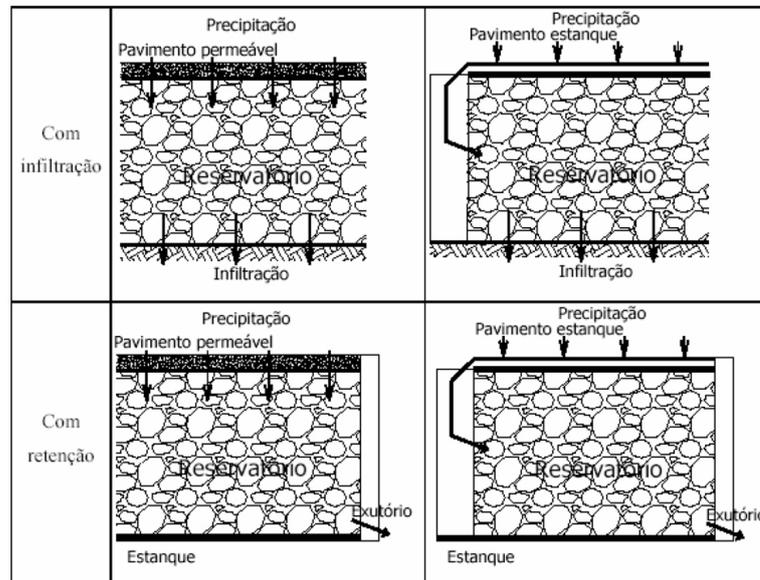


Figura 54: Arranjos de pavimentos com estrutura de reservação.

Fonte: Azout et. al., 1994 apud Brito, 2006.

Novos tipos de pavimento reservatório têm surgido no mercado, pois os grandes estacionamentos representam, por um lado, um significativo impacto pela alta concentração de águas mas, por outro lado, um grande potencial de captação para reservação, detenção etc. Tomaz (2007, p.99) cita as câmaras de infiltração fabricadas pela empresa Infiltrator Systems Inc, feitas de um tipo de plástico chamado *poly-tuff*, usadas para permitir a infiltração em estacionamentos de automóveis. O sistema, que funciona como um reservatório de detenção seco, possui altura útil de aproximadamente 0,60 m e comprimento variado. A cobertura mínima é de 0,46 m e resiste a carga de até 16 toneladas. A largura é de 0,90 m e o comprimento da peça é de 1,90 m cada, sendo possível armazenar 0,46 m³ em cada peça (fig. 55).

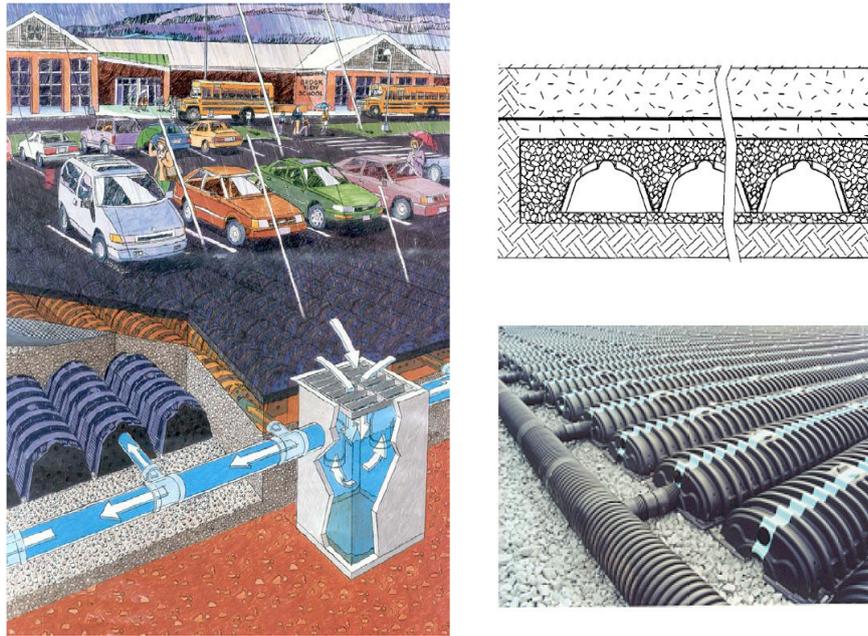


Figura 55: Aplicação do Infiltrador em estacionamento de veículos. As águas pluviais vão para a caixa que as distribui para as câmaras de infiltração.

Fonte: Tomaz, 2007.

Dentre as variáveis adotadas, os Pavimentos Reservatórios podem atender às seguintes:

- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à detenção e possível utilização de águas pluviais;
- **Mímese de Processos Naturais:** devido à possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da detenção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Residuais:** as bases e sub-bases podem ser feitas com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação e em grandes áreas pavimentadas, como estacionamentos e vias, com baixa interferência nas condições de uso dos locais;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície captadora e da reservação de águas pluviais, permitindo a percolação para o subsolo em áreas urbanizadas, ou ainda o aproveitamento do volume captado para fins menos nobres, como a lavagem de pisos.

4.2.5. Sarjeta Permeável

A sarjeta permeável é uma técnica de controle linear que pode ser aplicada junto a pavimentos permeáveis ou não, permitindo a redução da velocidade superficial e a constante infiltração das enxurradas ao passo em que escoam superficialmente o excedente. Pode dispor de galeria de infiltração, aumentando sua eficácia na redução do volume de pico a jusante. Entretanto, o simples assentamento das sarjetas sobre material granulado já traz ao dispositivo a vantagem da infiltração de parte do volume escoado (fig. 56).

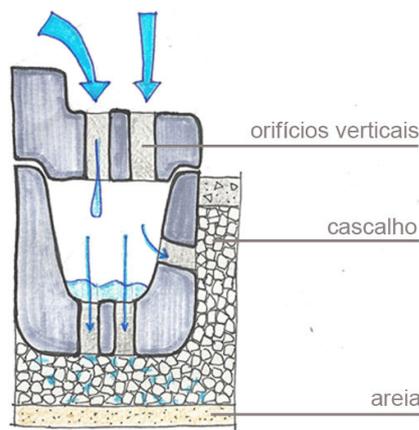


Figura 56: Sarjeta (meio-fio) permeável.
Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado
de Fujita, 1984 *apud* Tucci, 2005.

A sarjeta permeável é um dispositivo de controle linear pouco utilizado; foi encontrada apenas uma referência em literatura, um desenho de Fujita (1984) citado por Tucci (2005, p. 82). A maior barreira para sua utilização é a grande possibilidade de entupimento por sedimentos e poluição difusa, uma vez que recebe as águas das vias e pavimentos através de pequenas frestas ou orifícios.

Dentre as variáveis adotadas, as Sarjetas Permeáveis podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de itens fabricados ou pré-moldados localmente, mão-de-obra etc;
- **Mímese de Processos Naturais:** devido à possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da detenção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Residuais:** as peças de concreto podem ser feitas com a utilização de

agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;

- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação e em grandes áreas pavimentadas, como estacionamentos e vias, com baixa interferência nas condições de uso dos locais;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície permeável e da percolação de águas pluviais para o subsolo em áreas urbanizadas.

4.2.6. Canaleta Gramada

As canaletas gramadas são valas vegetadas abertas no terreno, funcionando como pequenos canais onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado durante o percurso (fig. 57 e 58). Substituem canaletas de concreto e galerias de águas pluviais em parques e loteamentos com a vantagem de reduzir os picos das vazões lançadas no sistema de drenagem, além de produzir um efeito paisagístico mais interessante (Glossário de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades).

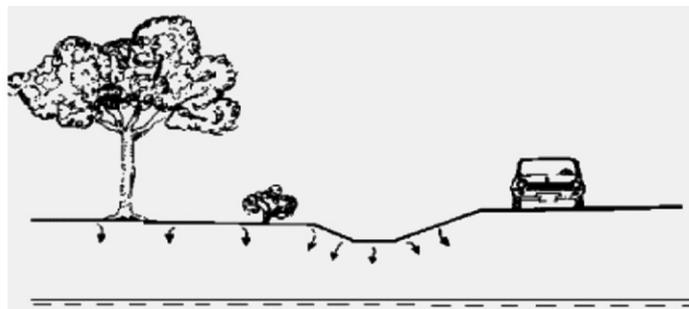


Figura 57: Valo de infiltração. Fonte: Urbonas e Stahre, 1993 *apud* Tucci, 2008.

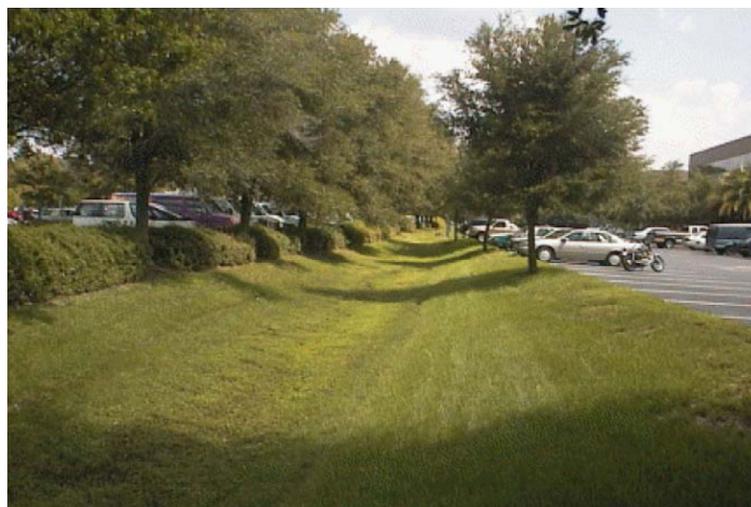


Figura 58: Canaleta gramada. Fonte: Tomaz, 2007.

Superfícies vegetadas são indicadas para fundos de lotes em áreas residenciais ou no acostamento de vias, em substituição às soluções convencionais de drenagem, já que permitem fácil manutenção e limpeza (fig. 59). Segundo Righetto (PROSAB, 2009, p.40), o escoamento na forma de lâmina sobre as superfícies vegetadas possibilita a remoção de alguns tipos de poluentes. Nesse caso, a vegetação atua como uma espécie de filtro biológico.



Figura 59: Canaleta gramada. Fonte: Querência Hoje (MG).

Nos casos em que o nível freático chega próximo da superfície, o canal com vegetação pode funcionar com lâmina d'água na maior parte do ano. No entanto, esses sistemas normalmente exigem solos bem drenados e disponibilidade de área para implantação, podendo apresentar processos erosivos nos casos de tormentas de alta magnitude.

Dentre as variáveis adotadas, as Canaletas Gramadas podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;
- **Mímese de Processos Naturais:** através da possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da retenção e infiltração de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** emprego de espécies vegetais de diferentes portes, principalmente gramíneas, na superfície onde são implantadas;
- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser preenchidos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;

- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção ao longo de estruturas lineares sem interferir nas condições de uso dos locais, com maior presença de vegetação, umidade, fauna, dentre outros benefícios;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, promovendo a recarga de lençóis freáticos ou aquíferos, bem como a diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva.

4.3. Técnicas de Controle Centralizado

Diferentemente das Técnicas de Controle na Fonte, aplicadas localmente e cuja absorção, infiltração ou armazenamento da água são realizados junto à origem do escoamento, as Técnicas de Controle Centralizados se referem às práticas posteriores, onde volumes de águas provenientes de diferentes fontes convergem a um ponto comum, para serem armazenados e/ou infiltrados.

Os exemplos mais comumente empregados deste tipo de prática, são as Bacias de Detenção e Retenção, com algumas variações quanto ao funcionamento, sendo que podem ser secas, de armazenamento temporal ou ainda podem possuir um nível constante de água. A tendência é cada vez mais dotar esses dispositivos de qualidades urbanísticas e paisagísticas, aproveitando os grandes espaços necessários para reserva ocasional de águas para seu uso cotidiano pela população. É o caso das áreas revestidas com equipamentos esportivos, parques ou espelhos d'água. O tratamento do entorno tem sido largamente incentivado, criando áreas verdes adjacentes, assim como as medidas necessárias de segurança que vão de avisos a dispositivos de filtragem de resíduos, aumentando tanto a qualidade destes espaços quanto incrementando a vida de seus habitantes.

As restrições para implementação destes dispositivos, podem estar relacionadas com a proximidade de áreas industriais, o que aumenta significativamente a quantidade de poluentes nas chuvas, como metais pesados e outras substâncias químicas que serão depositadas sobre o território e posteriormente infiltradas nos lençóis subterrâneos. Ou ainda podem apresentar elevado custo de execução, bem como necessitar de recursos constantes para manutenção. A seguir, serão melhor descritos:

- Reservatório de Retenção;
- Reservatório de Detenção.

4.3.1. Reservatório de Retenção

Os reservatórios de retenção são estruturas de amortecimento criadas para atenuar os efeitos de inundação e proteger as redes e regiões a jusante, ficando constantemente cheios de água mas com capacidade para receber e armazenar temporariamente volumes de pico (fig. 60). Segundo Righetto et. al. (PROSAB, 2009, p.38), são concebidos tanto para armazenar o volume gerado na bacia como também para possibilitar a melhoria da qualidade da água numa ampla faixa de substâncias, pois permitem, graças ao seu volume, o depósito dos sólidos em suspensão e a dissolução de poluentes por decomposição. Normalmente, esses sistemas dispõem de alta capacidade de retenção, bem maior do que o volume permanente no lago. Isso explica a alta eficiência no tratamento da água, além de proporcionar valorização paisagística e servir de habitat natural para a vida terrestre e aquática.

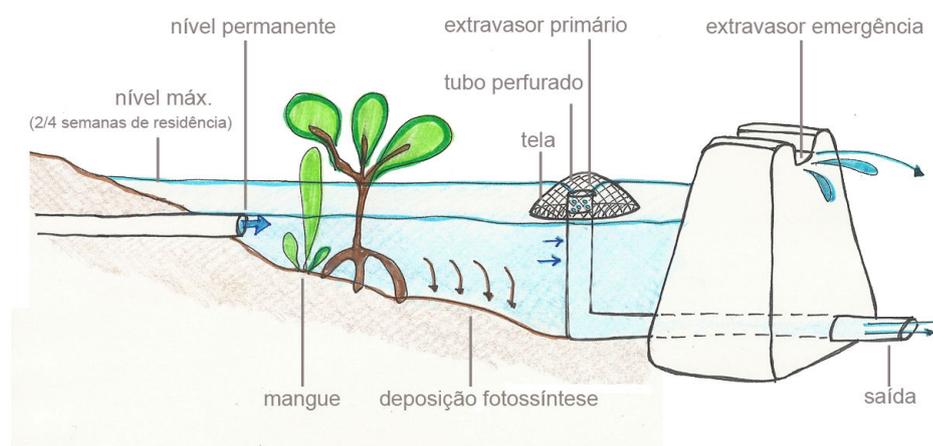


Figura 60: Reservatório de retenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Maidment, 1993 apud Tucci, 2005.

O autor (*ibid*, p.36) propõe ainda que a utilização da água pluvial pode ocorrer em nível municipal, retida em lagos, usada na irrigação de jardins e parques, ou mesmo usada como reserva de proteção contra incêndios. A retenção da água da chuva na área urbana

propicia, em alguns casos, a recarga do aquífero subterrâneo. Em algumas cidades, a recarga do aquífero proporciona, em longo prazo, melhoria na qualidade da água, reduzindo sua concentração de poluentes.

Estes reservatórios podem ser implementados em parques e áreas públicas, ocupando-se o entorno da lâmina permanente com vegetação, aparelhos e equipamentos de esporte e lazer, como ilustram as figuras 61 e 62:



Figura 61: Reservatórios de retenção. Fonte: Amanthea, 2008.



Figura 62: Reservatórios de retenção. Fonte: Tucci, 2004.

Dentre as variáveis adotadas, os Reservatórios de Retenção podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** utilização de materiais de construção renováveis, como madeira, bambu, plantas etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;
- **Mimese de Processos Naturais:** através dos efeitos positivos da presença de vegetação, principalmente de espécies nativas, como elevação do albedo, controle da temperatura, diminuição da poeira em suspensão, aumento da umidade, presença de fauna, bem como possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da retenção e infiltração de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** emprego de espécies vegetais de diferentes portes, principalmente gramíneas, na superfície onde são implantadas, bem como peixes, aves e fauna em geral;

- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser construídos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação e em grandes espaços públicos, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna, criando paisagens com possibilidade de fruição e uso;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo, promovendo a recarga de lençóis freáticos ou aquíferos, bem como a diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva.

4.3.2. Reservatório de Detenção

Da mesma forma que os reservatórios de Retenção, os de Detenção são criados para atenuar os efeitos de inundação e proteger as áreas a jusante. São mantidos secos na maior parte do tempo através de extravasores (fig. 63). Segundo Tucci (2005, p. 96), podem ser projetados para esvaziar em poucas horas ao fim da chuva, atentando-se para o fato de que quanto menor este tempo, menos atuam no processo de sedimentação da carga poluente que as águas pluviais carregam.

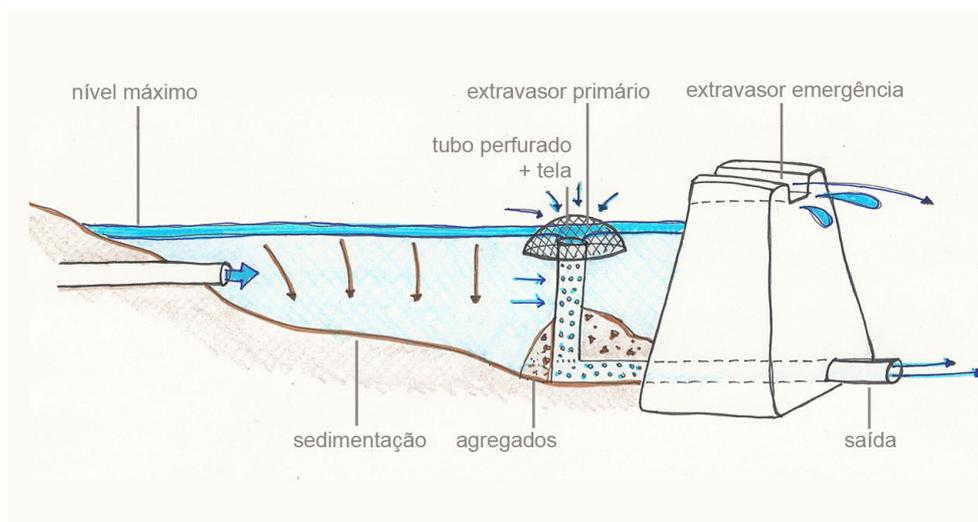


Figura 63: Reservatório de detenção. Ilustração: Bianca Habib, 2010, adaptado de Maidment, 1993 *apud* Tucci, 2005.

Também podem ser usados para outras atividades, bastante variadas. Sua

natureza permite, inclusive, que sejam utilizadas superfícies impermeáveis, como quadras esportivas e pátios de recreação (fig. 64 e 65), desde que sejam criadas medidas preventivas para que seus usuários não sejam surpreendidos pela invasão das águas, correndo riscos de acidentes fatais.



Figura 64: Reservatório de retenção com uso para lazer / quadra esportiva. Fonte: Tucci, 2004.



Figura 65: Reservatório de retenção com uso para lazer / playground. Fonte: Tucci, 2004.

Para Righetto et. al. (PROSAB, 2009, p.38), as bacias de retenção apresentam algumas limitações, entre elas, a necessidade de manutenção contínua, pois as chuvas trazem matéria sólida de diversos tamanhos, podendo obstruir a estrutura de saída. Outro fator observado é que, devido a uma relação de custo-benefício, não são indicadas para áreas de drenagem menores que 5 ha (hectares).

Podem ser implantados juntos a corpos d'água (sistema in line) ou apartados espacialmente e conectados por redes de drenagem pluvial (sistema off-line), dependendo principalmente da oferta de espaço. Para Franco et. al. (2008, p.126), espacialmente, os piscinões são escavações distribuídas de forma difusa, preenchidas temporariamente durante o período das chuvas. No restante do tempo são espaços ociosos, oferecendo diversas possibilidades de usos, caso sua construção seja articulada com os demais planos para a cidade, conciliando entre si as políticas de transporte, de equipamento urbano e, sobretudo, de espaços públicos da metrópole (fig. 66).



Figura 66: Bacia de detenção com uso de Parque Urbano, Département de la Seine-Saint-Denis, França. Fonte: Maytraud, 2004 *apud* PROSAB 5.

Como acrescenta Tucci (2005, p.97), os reservatórios podem ser abertos ou fechados. Os primeiros geralmente possuem menor custo e maior facilidade de manutenção. Os segundos têm maior custo (podem chegar a 7 vezes o dos primeiros) e grande dificuldade de manutenção, sendo que geralmente são empregados quando se deseja utilizar o espaço superior, por conta da topografia ou da pressão da população vizinha, com receio do lixo e da qualidade do sistema (fig. 67).



Figura 67: Esquema de reservatório de detenção fechado. Fonte: Tucci, 2005.

Dentre as variáveis adotadas, os Reservatórios de Detenção podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção e infiltração de águas pluviais;

- **Mimese de Processos Naturais:** devido à possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da detenção e infiltração de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** emprego de espécies vegetais de diferentes portes, principalmente gramíneas, na superfície onde são implantadas;
- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser construídos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes de lazer, recreação e em grandes espaços públicos, com possibilidade de fruição e uso;
- **Redução / Reversão de Impactos:** através da diminuição do volume de escoamento nos picos de chuva e da infiltração no subsolo.

4.4. Dispositivos de Tratamento dos Efluentes Pluviais

Além dos efeitos de depuração das águas pluviais já vistos nos sistemas anteriores, outros podem contribuir para a atenuação da carga poluente que, difusa pela bacia, se concentra nas águas drenadas, causando fortes impactos e contaminação (fig. 68) – dependendo das condições atmosféricas, tempo decorrido desde a chuva anterior, atividades desenvolvidas em seu território etc. Para Tomaz (2007, p.8) existem dois tipos básicos de poluição associados à drenagem urbana:

- pontual: lançamento de efluentes num curso d'água através de uma única tubulação;
- difusa: quando a fonte não pode ser identificada e cobre uma área extensa, como aquela provinda dos telhados, jardins, ruas, etc, levando consigo uma infinidade de poluentes para os cursos d'água.

Righetto (PROSAB, 2009, p.34) defende que a concepção da rede de microdrenagem deve prever o uso de dispositivos de retenção de resíduos sólidos e de sedimentos, evitando assim a sua transferência para o interior da rede. Em geral, esses dispositivos se localizam na entrada das estruturas, podendo ser recolhido manualmente com a retirada da grelha. A retenção dos resíduos e do sedimento impede a transferência desses materiais para o corpo receptor situado a jusante, demandando constantes limpezas.



Figura 68: Bacia de detenção impactada pela poluição difusa, São Paulo. Fonte: Almeida, 2007 in Franco, 2008.

Além da poluição difusa gerada pelos resíduos sólidos, é preciso considerar as cargas de produtos químicos altamente poluentes que são carregados pelas águas pluviais. Tomaz (2007, p.30) chama a atenção para os lugares que possuem um alto potencial de contaminação urbana, os chamados “Hotspots”, como postos de gasolina, oficinas de conserto de veículos etc. Outros lugares com estacionamento diário ou de curto período, como restaurantes, lanchonetes, estacionamentos de automóveis e caminhões, supermercados, shoppings, aeroportos e estradas de rodagens também são potenciais para a contaminação de hidrocarbonetos, metais pesados, óleos, graxas etc. Portanto, dispositivos de tratamento de diferentes tipos de resíduos se fazem necessários para que seja alcançada uma maior qualidade das águas pluviais. A seguir, serão descritos:

- Gradeamento;
- Biorretenção.

4.4.1. Gradeamento

A limpeza e manutenção da rede de drenagem, segundo Righetto et. al. (PROSAB, p.33), bem como das ruas e de estacionamentos, é uma das principais formas de redução da carga de resíduos sólidos e de sedimentos nos deflúvios, reduzindo a carga de sólidos em suspensão e de lavagem transferida para o corpo receptor.

Os dispositivos necessários para se garantir a redução da carga poluente, além da fundamental varrição e coleta periódicas, são basicamente estruturas coletoras de resíduos sólidos em diversas escalas. As figuras 69 e 70 ilustram aplicações na escala de um lote urbano:



Figura 69: Captação e gradeamento de resíduos sólidos e sedimentos. Fonte: Amanthea, 2008.

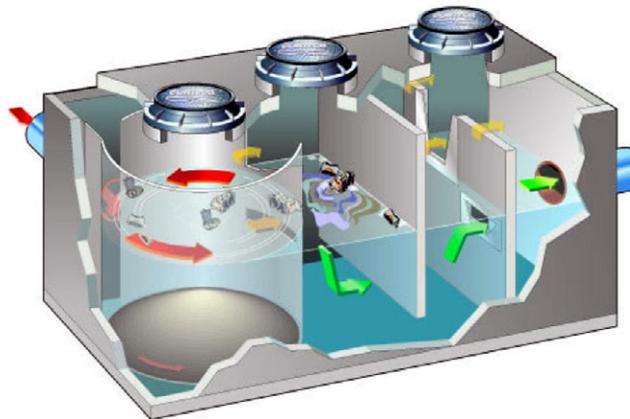


Figura 70: Captação e gradeamento de resíduos sólidos e sedimentos. Fonte: Amanthea, 2008.

Conforme a escala da bacia de captação aumenta, também aumentam as estruturas e dispositivos necessários para o gradeamento. As figuras 71 e 72 ilustram uma aplicação em escala interurbana, em rodovias da Califórnia-EUA.

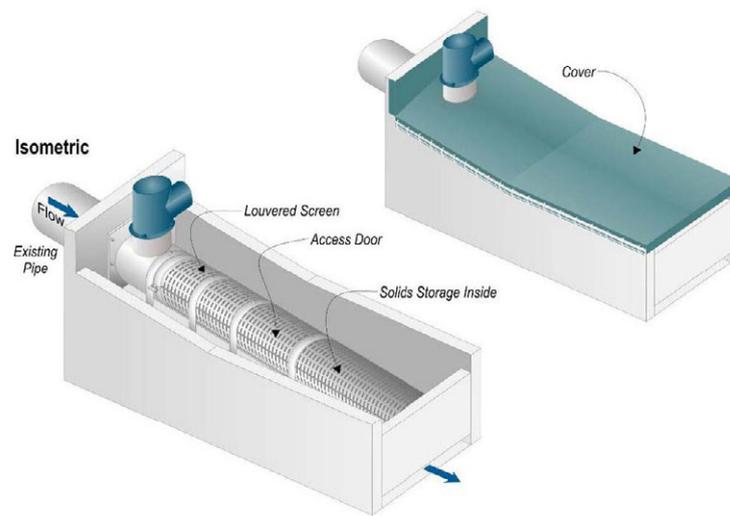


Figure 2-1
Concept Linear Radial – Configuration #3

Figura 71: Dispositivo de gradeamento de resíduos sólidos (poluição difusa) em rodovias da Califórnia, EUA. Fonte: Caltrans, 2009.



Figura 72: Dispositivo de gradeamento de resíduos sólidos (poluição difusa) em rodovias da Califórnia, EUA. Fonte: Caltrans, 2009.

A escala da bacia de contribuição pode chegar a tal proporção que a estrutura de gradeamento passe a se tornar inviável, ou ao menos muito dispendiosa. A alta carga de poluição difusa de bairros ou regiões metropolitanas, quando concentrada em um único curso d'água ou sistema de drenagem (coletor-tronco), gera uma massa de resíduos sólidos tão grande que sua coleta e limpeza do sistema se torna economicamente inviável, apontando para a necessidade de se prevenir tais ocorrências na fonte emissora, ou seja, os hábitos dos cidadãos. A figura 73 ilustra a aplicação na escala da bacia hidrográfica metropolitana.



Figura 73: Sistema de gradeamento de poluição difusa fluvial, São Paulo. Fonte: Tucci, 2004.

Dentre as variáveis adotadas, os Sistemas de Gradeamento podem atender às seguintes:

- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar o carreamento de sólidos para áreas de jusante, como ocorre em superfícies vegetadas;
- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser construídos com agregados graúdos e materiais metálicos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil, bem como polímeros e plásticos reciclados de outras áreas produtivas;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição do espalhamento de material sólido (poluição difusa) a partir do carreamento das águas pluviais, bem como aumento da facilidade de sua retirada do meio a partir da concentração em estruturas pensadas para tal.

4.4.2. Biorretenção

Segundo Righetto et. al. (PROSAB, 2009, p.41) os sistemas de tratamento de águas pluviais por biorretenção reproduzem o ecossistema natural, onde a atividade biológica atua promovendo a filtração da água. Neles, o deflúvio (resultado das chuvas intensas) gera o empoçamento da superfície e a infiltração da água no solo, promovendo a remoção dos poluentes mediante adsorção, filtração e decomposição da matéria orgânica.

O autor coloca que as plantas são componentes fundamentais nesse sistema, pois são responsáveis pela retirada da água e dos poluentes, além de terem a vantagem de integrar a paisagem natural, com o emprego de plantas de diferentes espécies e tamanhos (fig. 74 e 75).

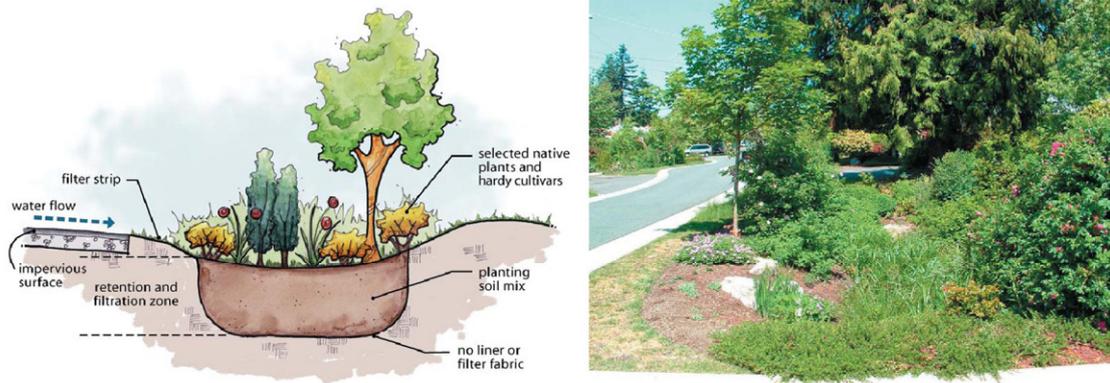


Figura 74: Sistema de biorretenção. Fonte: Puget Sound Action Team, 2005.

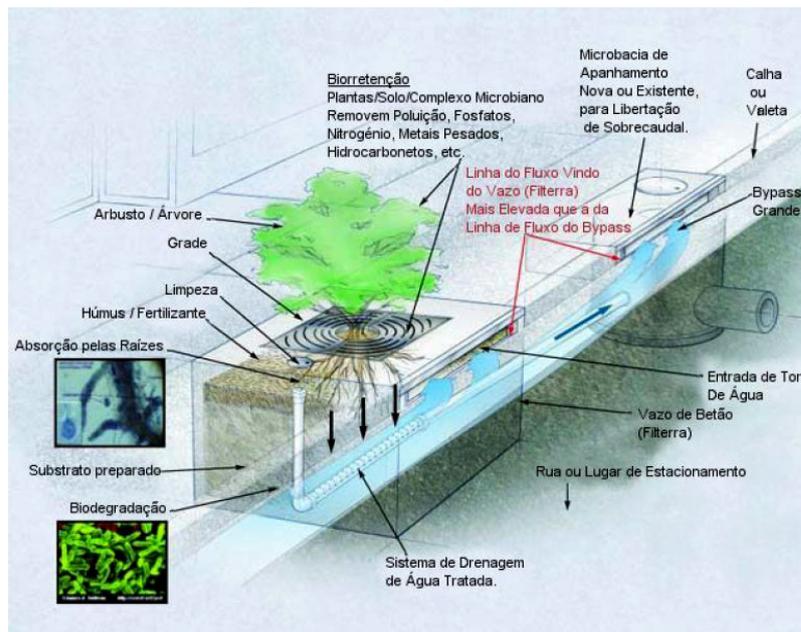


Figura 75: Detenção na fonte com filtragem. Fonte: adaptado de AmericaCast, 2005, apud Teixeira, 2006.

Em geral, localizam-se em baixios ou depressões, para onde converge o escoamento gerado na bacia, sendo recomendáveis em áreas com alto índice de impermeabilização, como estacionamentos (fig. 76).



Figura 76: Detenção na fonte com filtragem. Fonte: adaptado de AmericaCast, 2005, *apud* Teixeira, 2006.

Entretanto, apesar das vantagens que apresentam, são vulneráveis à colmatação do solo por depósito de sedimentos, o que pode gerar demanda por manutenção periódica. Em caso de falta de limpeza e manutenção, podem se tornar ambiente favorável à proliferação de mosquitos e outros vetores.

Dentre as variáveis adotadas, os Sistemas de Biorretenção podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, substratos, materiais de construção, mão de obra etc;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** utilização de materiais de construção renováveis, como madeira, bambu, plantas etc;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à retenção, depuração e infiltração de águas pluviais;
- **Mímese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar o carreamento de poluentes para áreas de jusante, como ocorre em superfícies vegetadas, bem como possibilidade de se retardar a vazão de pico das chuvas a partir da absorção e detenção de parte do volume precipitado;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** podem ser preenchidos com agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em espaços públicos, gerando maior presença de vegetação, umidade e fauna;
- **Redução / Reversão de Impactos:** através da redução por filtragem do material poluente carregado pelas águas pluviais, permitindo o aumento da percolação de águas pluviais para o subsolo.

4.5. Contenção de Taludes e Encostas

A estabilização de taludes e encostas, muitas vezes degradados pela remoção da vegetação e conseqüente ação das águas, pode demandar grandes esforços e custos elevados, dependendo do estágio em que a degradação se encontra. Complica o fato de que os processos erosivos e de desmoronamento podem chegar a grandes proporções e volumes de terra, o que inviabiliza, muitas vezes, rápidas tomadas de decisão e enfrentamento.

Entretanto, em casos onde a situação é encarada em momentos iniciais, ou mesmo quando não se trata de grandes desastres, é possível se implementar técnicas simples de estabilização que estruturem o solo e permitam a sua reconstituição vegetal, garantindo sua maior permanência a partir da estruturação alcançada pelas raízes e também pela maior absorção do solo, diminuindo consideravelmente o escorrimento de água e sedimentos. Serão analisadas as seguintes técnicas:

- Contenção com Pneus;
- Gabião Caixa;
- Biomanta Antierosiva com Vegetação.

4.5.1. Muro de Pneus

Uma das técnicas aplicáveis em casos de rápida estabilização de encostas a baixo custo é o Muro de Pneus, também chamado de Solo-Pneu ou ainda Sistema Eco-Estrutural Pneumático (Alves, 1997 *apud* Silva, 2004, p.211). Esta técnica consiste na utilização de pneus velhos - inservíveis - na construção pesada e civil, sendo dispostos em camadas ou intercalados em determinados espaçamentos, formando colunas que são preenchidas com outros materiais, como cimento, pedras e entulho graúdo (fig. 77).

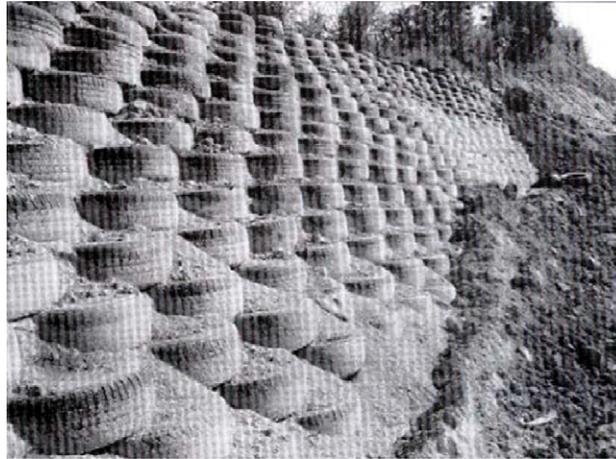


Figura 77: Sistema Eco-Estrutural Pneumático - Muro de contenção. Fonte: Alves, 1987 *apud* Silva, 2004.

Segundo Silva (2004, p. 211), este sistema permite a recuperação de grandes áreas degradadas, depositando-se material estéril, entulho, terra e pneus, formando pequenas barreiras posteriormente revegetadas. Também é possível empregar esta técnica no revestimento de margens (fig. 78), construção de barragens, muros de arrimo e de contenção, aterros, alicerces, silos subterrâneos e escadarias, dentre outras.

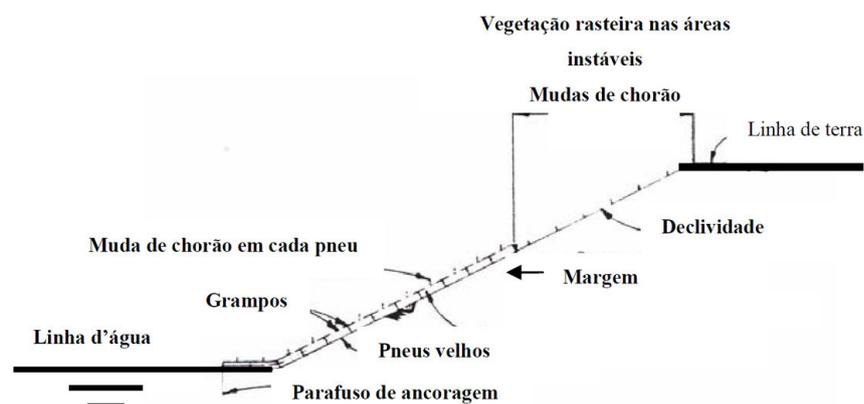


Figura 78: Proteção direta das margens com pneus usados. Fonte: Petersen, 1986 *apud* Silva, 2004.

Uma das características mais interessantes desta técnica é a flexibilidade construtiva que o material apresenta, já que sua forma circular permite uma ótima adequação da estrutura à topografia onde é aplicada, além de não necessitar de formas ou escoramentos para sua execução (fig. 79 e 80).

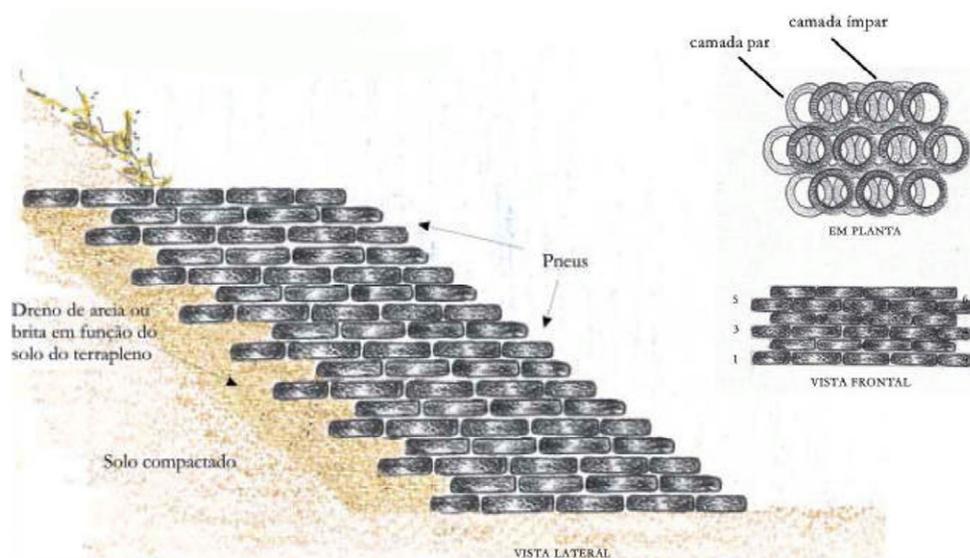


Figura 79: Esquema construtivo em solo-pneu. Fonte: Werlich et. al, UFSC, 2004.



Figura 80: Contenção de encosta com pneus. Fonte: Gerscovitch, s/ data.

Outra grande vantagem desta técnica é o fato de que os pneus inservíveis constituem um problema ambiental global, com dificuldades de destinação devido à larga escala em que são descartados. Portanto, além da alta resistência mecânica a baixíssimo custo, promove a reutilização de um indesejado material residual.

Segundo Gerscovitch (p.8), a face externa do muro de pneus deve ser revestida, para evitar não só o carreamento ou erosão do solo de enchimento dos pneus, como também o

vandalismo ou a possibilidade de incêndios. O revestimento da face do muro deverá ser suficientemente resistente e flexível, ter boa aparência e ser de fácil construção, como alvenaria em blocos de concreto, concreto projetado sobre tela metálica, placas pré-moldadas ou simplesmente vegetação de pequeno e médio porte.

Dentre as variáveis adotadas, os Sistemas de Contenção com Pneus podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, materiais de construção e mão de obra;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** utilização de materiais de construção renováveis, como madeira, bambu e plantas para sua fixação no solo;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos, como ocorre em encostas vegetadas;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** através do uso de pneus inservíveis de diferentes origens, bem como de agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes urbanos degradados, gerando maior presença de vegetação;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.5.2. Muro de Gabião Caixa

As estruturas de gabiões são constituídas basicamente de pedras acomodadas e contidas por telas metálicas solidarizadas, formando prismas que se encaixam e trabalham por gravidade (fig. 81), contendo o solo e conformando muros, canais, barragens etc. Uma de suas principais características é a possibilidade de se empregar pedras de origem local, permitindo que sejam transportadas apenas as "gaiolas" desmontadas que, dado o leve peso e facilidade de acomodação nos caminhões, apresentam uma alta eficiência volumétrica ao final de sua

execução.



Figura 81: Muro de arrimo de gabião caixa. Fonte: Gerscovitch, 2010.

Segundo a empresa Maccaferri (1990), estas gaiolas são construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção, o que permite que, em caso de ruptura de um dos arames, a forma e a flexibilidade da malha seja preservada, absorvendo as deformações excessivas. O arame dos gabiões é protegido por uma galvanização dupla e, em alguns casos, por revestimento com uma camada de PVC, que protege contra a ação das intempéries e de águas e solos agressivos.

Devido à alta flexibilidade que esta técnica apresenta, é possível implementá-la em situações muito diversas, compondo a estrutura de acordo com mínimas acomodações de solo e variando-se as dimensões das gaiolas. Desta forma, pode-se alcançar um custo bastante reduzido frente a outras técnicas mais pesadas, como o concreto armado, principalmente se a fonte de pedras para o seu preenchimento estiver por perto. Abaixo, algumas aplicações da empresa Maccaferri (fig. 82 e 83).



Figura 82: Muro de arrimo de gabião caixa. Fonte: Maccaferri, 2008.



Figura 83: Muro de arrimo de gabião caixa. Fonte: Maccaferri, 2008.

Apesar do elevado peso e da suscetibilidade ao colapso quando apoiados em solos pobres, os gabiões têm características afins à renaturalização, como a livre adequação ao terreno, a permeabilidade, o desenvolvimento de vegetação, a possibilidade de se trabalhar com recursos locais, dentre outras. Quando bem aplicada, esta técnica pode resultar em grande durabilidade com efeito paisagístico crescente ao longo do tempo, através da consolidação da vegetação em seus interstícios.

Dentre as variáveis adotadas, os Muros de Gabião Caixa podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de agregados graúdos e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos, como ocorre em encostas rochosas;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** através do uso de agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando novos ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.5.3. Biomanta Antierosiva com Vegetação

A estabilização de grandes encostas erodidas requer especial atenção da engenharia, pois muitas vezes demandam um trabalho de alto risco, com difícil acesso, terreno instável, topografia irregular etc. Também ocorrem volumes muito elevados de sedimentos colapsados, inviabilizando quase sempre sua recomposição inicial. Por vezes, a dinâmica do processo erosivo é tão rápida que a cada dia fica mais difícil a reversão do quadro de degradação.

Nestes complexos casos, a intervenção pode ser encarada mais como uma adequação da situação, com a menor adição de materiais e trabalho possível, do que como uma pesada interferência estruturante. Portanto, pode-se recorrer a soluções técnicas leves e versáteis, com baixo impacto de instalação e mobilização de canteiro de obras, a fim de se viabilizar uma intervenção o mais rápida possível.

Uma solução que atende muito bem a esta situação é a aplicação de Biomanta Antierosiva, uma manta feita de fibras vegetais que, além de estabilizar superficialmente o terreno instável, serve de suporte e nutriente para a vegetação que rapidamente nela se instala. Segundo a empresa Deflor, oferece proteção imediata contra o efeito dos agentes erosivos, processos de deslocamento e mobilização de partículas como áreas recém terraplenadas, taludes de corte e aterro, dunas não estabilizadas, margens de rios e canais etc, podendo ser aplicadas diretamente sobre a superfície que se deseja proteger com finalidades estéticas, ambientais e para estabilização de solos (fig. 84).



Figura 84: Remodelação da encosta erodida e instalação de biomanta erosiva, antes, durante e três meses depois da intervenção. Fonte: Deflor.

O processo se inicia com o preparo da superfície, procurando a mínima remodelação possível. Em seguida, realiza-se o microcoveamento, ou seja, escavação de pequenas covas próximas uma das outras, que servirão para reter as sementes e insumos que

serão aplicados, manualmente ou através de hidrossemeadura. Então é aplicada a biomanta através de grampeamento no solo e transpasse entre as faixas (bobinas desenroladas no sentido do declive), recobrimdo toda a área em pouco tempo e com o uso de quase nenhum maquinário (fig. 85).



Figura 85: Etapas de obra: microcoveamento, hidrossemeadura e aplicação da biomanta. Fonte: Deflor.

Realizadas estas etapas, a vegetação se desenvolve (fig. 86 e 87) e a estabilização do solo passa a ser consolidada pela ação das raízes, bem como pela redução quase total do escoamento superficial de água.



Figura 86: Biomanta recém aplicada. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.



Figura 87: Vegetação em processo de crescimento. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.

As espécies utilizadas pertencem a duas famílias botânicas, as gramíneas e as leguminosas. Em comum, têm o rápido crescimento, a baixa exigência de fertilidade do substrato e o enriquecimento do solo a partir da fixação de nitrogênio atmosférico e

fornecimento de biomassa, além da facilidade de obtenção de sementes e boa capacidade de reprodução. A figura 88 ilustra a forma como as biomantas são apresentadas (bobinas) e sua aplicação final estendida no solo, o que permite uma ótima relação entre volume de transporte de material e recobrimento da área.

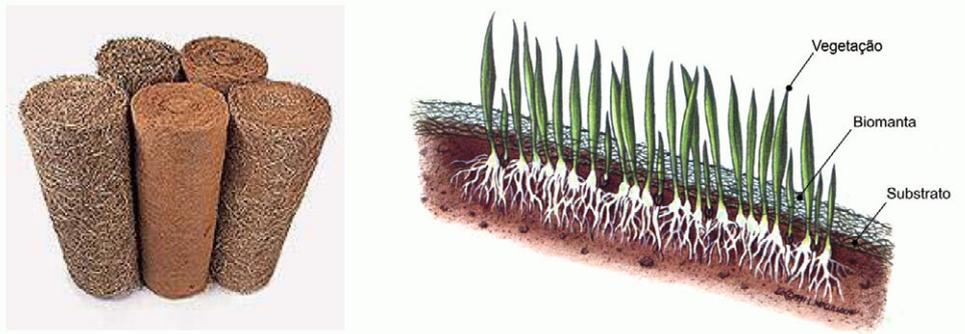


Figura 88: Bobina de biomanta e esquema final de sua aplicação. Fonte: Deflor.

Como toda obra que utiliza materiais vivos, esta técnica demanda certa manutenção, principalmente a irrigação nas primeiras semanas. Entretanto, após este primeiro período, a área voltará gradativamente à sua conformação original, forrada por vegetação rasteira e aos poucos dando suporte a espécies de pequeno e médio porte, tendendo a futuramente alcançar o reflorestamento.

Dentre as variáveis adotadas, as Biomantas Antierosivas com Vegetação podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, materiais de construção e mão de obra;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** a biomanta, o biorretentor e o capim Vetiver são materiais vegetais;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da biomanta, feita de fibras vegetais, em substrato para as espécies vegetais subsequentes;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos, como ocorre em encostas vegetadas;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** pode-se utilizar materiais residuais de diferentes origens para a fixação (estaqueamento) das faixas de biomanta no solo;

- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes urbanos degradados, gerando maior presença de vegetação;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.5.4. Biomanta Antierosiva com Biorretentor e Capim Vetiver

Esta técnica é uma variação da anterior, basicamente difere pela aplicação de biorretentores - cilindros de fibra vegetal que atuam como barreiras que retêm sedimentos, mas permitem a passagem da água - e capim Vetiver. Têm grande capacidade de absorver e reter umidade - cerca de cinco vezes o seu peso em água – e são facilmente moldáveis no local onde serão aplicados, permitindo dobras e curvas (fig. 89).



Figura 89: Etapas da recomposição da encosta com aplicação de biomanta, biorretentores e vegetação.

Fonte: Deflor.

Segundo a empresa Deflor, o Vetiver é uma gramínea perene que ocorre nos mais variados climas, sobretudo tropical e subtropical, e é muito versátil para casos de estabilização. Tem porte médio, chegando a até 1,50 m de altura, resistente a pragas, doenças, déficit hídrico, geadas e fogo. Apresenta sistema de raízes densas e de alta resistência, atingindo 3m de profundidade, formando um grampeamento natural estabilizante de encostas e taludes. Normalmente utilizado como barreiras transversais ao declive para reter sedimentos, vai formando um terraço natural, evitando assim a degradação do solo (fig. 90 e 91).



Figura 90: Biorretentores e esquema de aplicação. Fonte: Deflor.

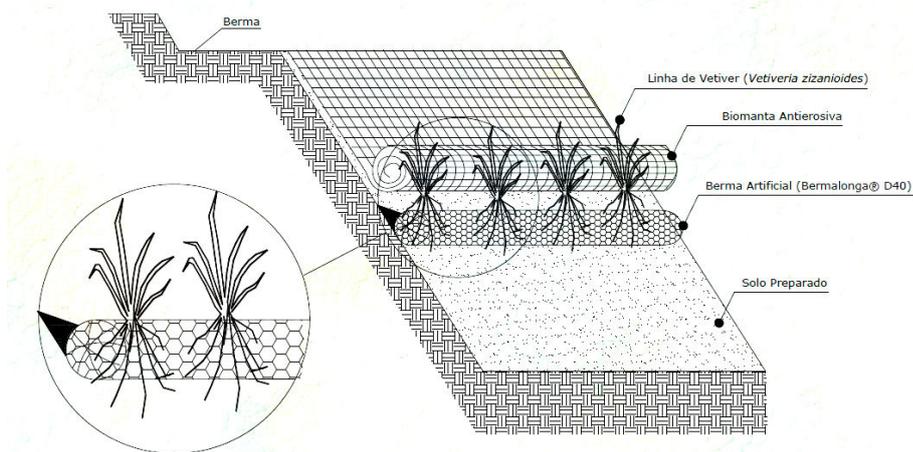


Figura 91: Aplicação do capim Vetiver nas linhas de biorretentores para formação de bermas. Fonte: Deflor.

É importante observar que soluções como estas cumprem mais de uma função, pois consistem em obras de engenharia que atendem a demandas ecológicas, hidrológicas, paisagísticas e até mesmo sociais, dada a possibilidade de recomposição da paisagem – e de

seu valor simbólico. Encontram-se mais desenvolvidas em países europeus e na América do Norte, entretanto ganham cada vez mais espaço nas demais regiões do mundo, por se tratar de técnicas e posturas bastante simples e economicamente viáveis.

Dentre as variáveis adotadas, as Biomantas Antierosivas com Biorretentores e Capim Vetiver podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pela escolha de espécies vegetais, materiais de construção e mão de obra;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** a biomanta, o biorretentor e o capim Vetiver são materiais vegetais;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da biomanta, feita de fibras vegetais, em substrato para as espécies vegetais subsequentes;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos, como ocorre em encostas vegetadas;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes associadas ao capim Vetiver;
- **Utilização de Materiais Residuais:** pode-se utilizar materiais residuais de diferentes origens para a fixação (estaqueamento) das faixas de biomanta no solo;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em ambientes urbanos degradados, gerando maior presença de vegetação;
- **Redução / Reversão de Impactos:** aumento da superfície vegetada em áreas urbanizadas, diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.6. Estabilização de Taludes Fluviais

São muitos os corpos d'água que sofrem as consequências dos processos de urbanização, sejam eles urbanos ou não. A crescente taxa de impermeabilização da bacia acarreta em mudanças hidrológicas significativas e, quando não são construídas redes que comporem o escoamento concentrado nos fundos de vale, são os leitos fluviais que acabam

por cumprir o papel de receber e conduzir todo o volume precipitado. Quando suas seções tornam-se insuficientes e ocorrem inundações, conseqüentemente passam a surgir intervenções tecnicistas para tentar, dentro do possível, amenizar as situações desastrosas.

Também é comum se tentar destacar o tecido urbano dos corpos d'água para se alcançar um maior aproveitamento do espaço, geralmente para a construção de vias rápidas, planas e sinuosas, que guardam em seu traçado a memória do rio tamponado. Mas certamente, por mais que se tente prever grandes vazões, os fundos de vale acabam por enfrentar ocorrências de chuvas cada vez maiores e repentinas, transbordando seus limites.

A partir deste cenário, faz-se necessária a revisão de certas posturas e iniciativas que tendem a gerar cada vez mais prejuízo às cidades e cidadãos, demandando até mesmo a demolição de intervenções que, a seu tempo, se pensavam edificantes. Para tanto, é importante refletir sobre quais tipologias de intervenção se apresentam como as mais indicadas para este tempo, considerando que as condições climáticas e hidrológicas não tendem a amenizar suas manifestações nos próximos anos.

Face ao exposto, o emprego de ecotécnicas nas intervenções em leitos fluviais se mostra como um campo de pesquisa e experimentação bastante promissor, já que traz consigo a intenção de devolver ao território características mais naturais, anteriores à sua ocupação, contrárias às duras e pesadas estruturas convencionais. Como contrapartida, pode-se alcançar para além do melhor convívio entre os cursos d'água e a população, maior permeabilidade, rugosidade e beleza nos sistemas de drenagem urbana, desde a captação, condução e lançamento, bem como no escoamento fluvial. A seguir, serão analisadas algumas técnicas e experiências que ilustram esta discussão:

- Escada Hidráulica de Gabião Manta;
- Escada Hidráulica de Madeira e Pedras;
- Dissipador de Energia de Madeira e Pedras;
- Parede Vegetada de Madeira (Parede Krainer);
- Parede Krainer Dupla Vegetada com Feixes Vivos;
- Esteira Viva.

4.6.1. Escada Hidráulica de Gabião Manta

Em ocorrências de fortes picos de chuva faz-se necessário não apenas conduzir os volumes de maneira segura como, em pontos de confluência e lançamento, diminuir o poder destrutivo das águas. É muito comum se encontrar situações urbanas onde a porção loteada e infraestruturada conta com razoável eficiência na condução das águas pluviais mas, ao se observar seu lançamento em áreas limítrofes, encontrar linhas de erosão que aumentam a cada chuva.

Nas linhas de drenagem pluvial que se encontram em terrenos com declive, faz-se necessário dissipar a energia das águas ao passo em que correm para as cotas mais baixas. Normalmente são construídas escadas hidráulicas de concreto armado, adequando-se os degraus ao terreno, para se preservar o solo até o lançamento final. Apesar de ser uma opção eficiente, esta tipologia também concorre à concentração das águas a jusante, como o pensamento convencional costuma trabalhar.

Uma opção técnica interessante para esta finalidade é o emprego escalonado de gabões manta (estruturas rasas de tela metálica preenchidas por pedras), também chamados de colchão Reno pela empresa Maccaferri, por garantirem, além da condução das águas, a permeabilidade e perda de velocidade, dada a sua superfície rugosa (fig. 92 e 93).



Figura 92: Escada hidráulica de gabião-manta.
Fonte: Maccaferri, 2010.



Figura 93: Escada hidráulica de gabião-manta.
Fonte: Maccaferri, 2010.

Desta maneira, a reposição hidráulica ao lençol freático já se inicia num elemento de infraestrutura urbana que, comumente, é impermeável (concreto armado). As escadas hidráulicas de gabião manta podem se executadas a partir de uma mínima remodelação do solo para a estabilização dos taludes, alinhadas com o curso formado pelas águas pluviais,

como nesta experiência em São Carlos-SP, nas nascentes do córrego São Rafael (fig. 94 e 95).



Figura 94: Escada hidráulica de gabião manta.
Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.



Figura 95: Encontro de duas linhas de escadas hidráulicas. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.

Esta intervenção delicada, além de resultar em escadas hidráulicas permeáveis que estabilizam o solo e permitem sua comunicação com as águas pluviais, também permitem que a vegetação se desenvolva e recomponha o aspecto natural do território, prévio à ocupação urbana (fig. 96 e 97).



Figura 96: Escada hidráulica de gabião manta recém-concluída. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.



Figura 97: Escada hidráulica de gabião manta com desenvolvimento de vegetação após 90 dias de sua conclusão. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.

É importante destacar que, assim como outras técnicas que contam com espécies vegetais vivas, a manutenção periódica das escadas hidráulicas torna-se muito importante, já que o desenvolvimento de espécies de grande porte pode comprometer o seu funcionamento, seja por deformação e colapso gerado pelas raízes e troncos, seja pela obstrução e consequente

acúmulo de materiais no seu percurso.

Dentre as variáveis adotadas, as Escadas Hidráulicas de Gabião Manta podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de agregados graúdos e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** através do uso de agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando novos ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.6.2. Escada Hidráulica de Madeira e Pedras

Uma outra opção técnica interessante para linhas de drenagem pluvial que se encontram em terrenos com declive, onde faz-se necessário dissipar a energia das águas ao passo em que correm para as cotas mais baixas, é o emprego de escadas hidráulicas de madeira e pedra, que também garantem a permeabilidade e perda de velocidade (fig. 98 a 101).



Figura 98: Escada hidráulica de madeira e pedra em fase de implantação - Forno Canavese, Itália. Fonte: Vertical Green, 2010.



Figura 99: Escada hidráulica de madeira e pedra 60 dias após o término da obra - Forno Canavese, Itália. Fonte: Vertical Green, 2010.

É nítida a inserção naturalística que esta técnica apresenta, principalmente em ambientes menos afetados pela ocupação humana. A partir do desenvolvimento da vegetação, estas estruturas podem até mesmo se tornar praticamente invisíveis num primeiro momento, dada a proximidade que os materiais utilizados têm com o ambiente natural - o que pode promover, em áreas mais ocupadas, uma agradável inserção naturalística.



Figura 100: Escada hidráulica de madeira e pedra em fase de implantação - Alexânia-GO. Fonte: Vertical Green, 2010.



Figura 101: Escada hidráulica de madeira e pedra 7 meses após o término da obra - Alexânia-GO. Fonte: Vertical Green, 2010.

Uma vantagem que esta técnica apresenta sobre a escada hidráulica em gabião manta é que, enquanto aquela se estrutura no solo a partir de seu peso próprio (gravidade), esta promove uma maior solidarização ao solo a partir da cravação das toras roliças. Portanto, pode ser mais indicada para casos onde a declividade e o volume de escoamento sejam maiores,

buscando-se alongar a duração da intervenção.

Dentre as variáveis adotadas, as Escadas Hidráulicas de Madeira e Pedra podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de madeira de reflorestamento, pedras ou agregados e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** pelo uso de madeira de reflorestamento;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da estrutura de madeira em substrato para as espécies vegetais subsequentes, como também pela absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** através do uso de agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.6.3. Dissipador de Energia de Madeira e Pedras

Os dispositivos utilizados para a dissipação da energia das águas drenadas são construídos nos pontos finais de lançamento ou de confluência de águas pluviais, geralmente sendo servidos por tubos coletores ou escadas hidráulicas, com a finalidade de diminuir a velocidade e o poder erosivo das águas coletadas. Podem ter inúmeras conformações, conforme o dimensionamento e adequação ao terreno, sendo que na maior parte das vezes são executados em concreto armado. Apesar da eficiência, o elevado peso próprio da estrutura, sobre solos pouco estruturantes e com presença de água em movimento, pode concorrer para o seu colapso, através do recalque e desconexão da rede coletora.

Assim como as escadas hidráulicas, é possível se implementar técnicas mais leves e permeáveis nos dispositivos dissipadores de energia hidráulica, como a paliçada de madeira, pedra e tela metálica (fig. 102 e 103). Além de se estruturar ao mesmo tempo em que estrutura o solo, através da cravação das toras roliças, a estrutura se mantém permeável e permite o desenvolvimento de vegetação, com raízes também estruturantes.



Figura 102: Caixa dissipadora de energia de madeira roliça, pedras e tela metálica no córrego Tijuco Preto, São Carlos-SP. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2008.



Figura 103: Dissipador de energia de madeira roliça, pedras e tela metálica em Alexânia-GO. Fonte: Vertical Green, 2009.

Por se tratar de uma obra 'seca', ou seja, que não envolve o uso de concreto (e formas), pode ser aplicada em locais de difícil acesso, já que o transporte de toras e pedras pode ser feito de maneira bastante fracionada. A montagem é simples e permite uma fácil adequação ao terreno, permitindo um baixo nível de precisão e até mesmo a assimetria da estrutura, caso isto seja favorável à sua execução.

Dentre as variáveis adotadas, os Dissipadores de Energia de Madeira e Pedra podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de madeira de reflorestamento, pedras ou agregados e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** pelo uso de madeira de reflorestamento;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da estrutura de madeira em substrato para as espécies vegetais subsequentes, como também pela absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos;

- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** através do uso de agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.6.4. Parede Vegetada de Madeira (Parede Krainer)

Em situações de degradação de taludes íngremes, de difícil acesso e trabalho, pode-se optar pelo emprego de técnicas que apresentem maior facilidade de transporte de materiais e execução. Em oposição a pesadas estruturas, o emprego de toras de madeira e vegetação permite intervenções mais delicadas e renaturalizadoras das áreas impactadas.

A parede vegetada de madeira é uma técnica composta por toras e espécies vegetais de ocorrência local que, ao passar do tempo, se torna cada vez mais estruturante do solo, ao passo em que as raízes crescem (fig. 104 e 105).

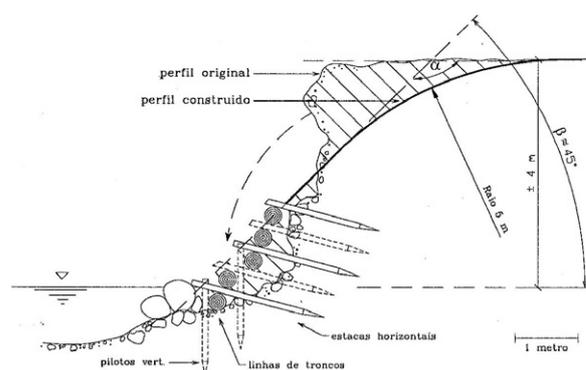


Figura 104: Vista da margem em corte transversal.

Fonte: Durlo e Suttili, 2005.

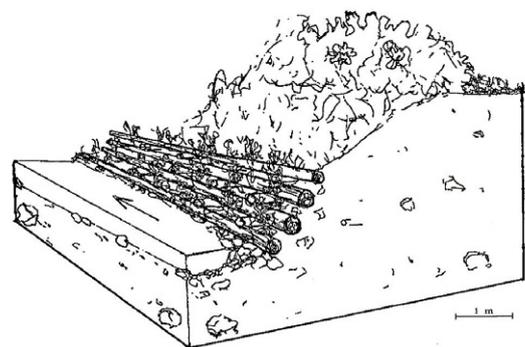


Figura 105: Efeito esperado após o revestimento com madeira e revegetação da margem. Fonte:

Durlo e Suttili, 2005.

Apesar desta técnica estar mais difundida no Brasil atualmente e existirem empresas que forneçam sua execução, as primeiras aplicações foram realizadas no município de Faxinal do Soturno – RS, como parte do trabalho de mestrado de Suttili (2004) sob

orientação de Durlo e cooperação de Altreiter (2002), Plunger (2002) e posteriormente sob cooperação de Florineth (2005).

A primeira intervenção ocorreu em janeiro de 2003 no arroio Guarda-mor, num talude instável com 40 m de comprimento e 4 m de altura. O trecho, suavemente curvo, se encontrava impactado pela queda de taquaras plantadas em suas margens na tentativa de estabilizá-las. Entretanto, a demasiada altura frente à baixa profundidade das raízes não foi suficiente para resistir à força dos ventos, tombando-as e obstruindo o curso d'água. Este fato também acarretou no desvio das águas em direção à margem, acentuando o processo de instabilização e colapso da mesma.

Duas ações foram então empreendidas: uma primeira, física, consistiu em readequar o leito a partir de sua limpeza e desobstrução e também da reconstrução primária da margem, liberando a vazão e diminuindo a pressão das águas sobre ela; a segunda, vegetativa, consistiu na construção da parede-Krainer⁷ simples (estrutura de madeira roliça) de 1,3 m de altura, seguida de plantio de estacas de *Calliandra brevipes*, *Calliandra tweedii*, *Cynodon plectostachyus* (gramínea), *Terminalia australis*, *Phyllanthus sellowianus*, *Pouteria salicifolia* e *Sebastiania schottiana*, visando devolver às margens deste trecho a estabilidade e conformação desejadas. Sutili (2005, p.74) ressalta que o desenvolvimento da vegetação é apoiado inicialmente pela proteção física, até o momento em que sua ação protetiva se consolide e seja suficiente para manter a estabilidade do talude, dispensando a função da primeira ação.

A construção da parede levou apenas seis dias de trabalho em duas pessoas, mais dois dias iniciais no transporte de materiais e ferramentas, mais um dia para a revegetação da margem. Nas figuras 106 e 107 é possível se comparar os aspectos de antes e depois da intervenção, com um intervalo de dois anos e meio. Pode-se notar inicialmente, além da margem impactada, as varas de taquara caídas em seu leito.

⁷ Do alemão: *Krainerwand* ou ainda *Uferkrainerwand*. Em Portugal: Muro de suporte vivo de madeira tipo *cribwall*. O último termo vem do inglês, *vegetated log cribwall*. No italiano é *pallificata viva di sostegno*.



Figura 106: Margem erodida no arroio Guardador (jan/2003). Fonte: Sutili, 2007.



Figura 107: Aspecto dois anos e meio após a construção da parede-Krainer (ago/2005). Fonte: Sutili, 2007.

Outras experiências podem ser encontradas através da atuação da empresa de origem italiana Vertical Green Brasil, tendo executado esta técnica em cidades como São Paulo, Brasília e também ao longo da Rodovia BR-101, no estado de Pernambuco (além de diversas cidades europeias). Segundo a empresa, que a denomina de Parede Palificada Simple, esta técnica proporciona, além da estruturação do terreno por ancoragem profunda, grande efeito estético-paisagístico, e pode ser utilizada em substituição ao muro de arrimo, na contenção de cortes em terreno, estabilização de talude, construção de diques, rampas, estrutura para pontes, elemento redutor da velocidade da água, etc. As imagens abaixo ilustram algumas das intervenções realizadas pela Vertical Green (fig. 108 e 109).



Figura 108: Parede Palificada. Fonte: Vertical Green, 2008.



Figura 109: Parede Palificada. Fonte: Vertical Green, 2008.

Assim como outras técnicas que se utilizam de espécies vegetais vivas, as paredes vegetadas de madeira podem demandar manutenção periódica, embora mesmo o

desenvolvimento de espécies de grande porte não apresentem riscos à sua estrutura. Caso seja desejado, elas podem ser totalmente recobertas por vegetação de forma a ficarem imperceptíveis ao longo do tempo.

Dentre as variáveis adotadas, as Paredes Vegetadas de Madeira podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de madeira de reflorestamento, pedras ou agregados e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** pelo uso de madeira de reflorestamento;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da estrutura de madeira em substrato para as espécies vegetais subsequentes, como também pela absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos de forma semelhante à que ocorre em margens de cursos d'água;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.6.5 Parede-Krainer Dupla Vegetada com Feixes Vivos

Com as mesmas características que a parede Krainer simples, a parede Krainer dupla também é indicada para a estabilização de taludes fluviais, principalmente em situações mais críticas, que demandem maior estruturação do solo. A principal diferença entre as duas técnicas é o emprego de duas linhas de toras longitudinais ao curso d'água, que aumentam a amarração tridimensional da estrutura (fig. 110).

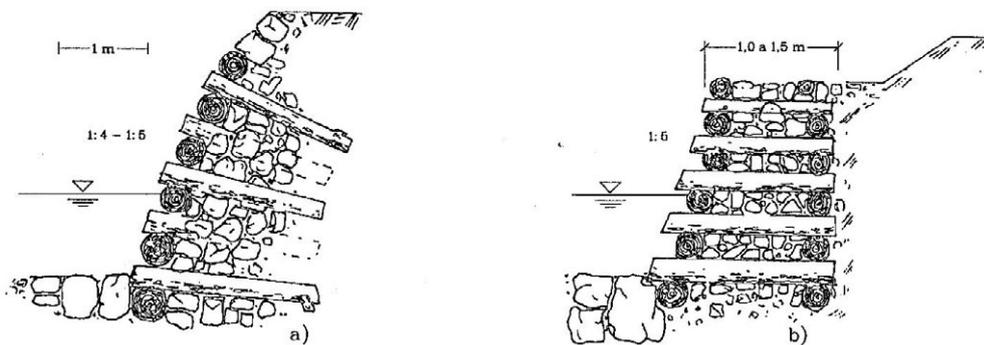


Figura 110: Corte transversal da parede vegetada simples (a) e dupla (b). Fonte: Durlo e Sutili, 2005.

A terceira intervenção de Sutili foi realizada em setembro de 2005 no Rio Soturno, num trecho em que já havia sido construído um muro de contenção com pedras, sem sucesso perante a força das águas. A parede-Krainer dupla foi construída com toras de Eucalipto e optou-se por incrementar, em seus interstícios, ramos de *Salix x rubens*, *Sebastiania tweediei*, solo e seixos, visando a uma maior resistência à ação das águas. (fig. 111 a 114).



Figura 111: Construção da parede-Krainer dupla (set/2005). Fonte: Sutili, 2007.



Figura 112: Detalhe dos feixes vivos (set/2005). Fonte: Sutili, 2007.



Figura 113: Aspecto da intervenção após 2 meses (nov/2005). Fonte: Sutili, 2007.



Figura 114: Aspecto da intervenção após 3 meses (dez/2005). Fonte: Sutili, 2007.

Os resultados alcançados pelas duas formas de se executar a parede-Krainer são bastante similares, pois além de reproduzirem dinâmicas naturais (como permeabilidade, rugosidade, ambiência, habitat) mais próximos à situação anterior às ações antrópicas nos leitos fluviais, possuem baixo impacto, tanto no sentido dos materiais empregados quanto na quantidade de ferramentas, mão de obra e demais recursos necessários.

Também se encontra referências a esta técnica pela denominação de Crib-Wall que, segundo Gerscovitch (2004, p. 5) são estruturas formadas por elementos pré-moldados de concreto armado, madeira ou aço, que são montados no local, em forma de “fogueiras” justapostas e interligadas longitudinalmente, cujo espaço interno é preenchido com material granular graúdo. São estruturas capazes de se acomodarem a recalques das fundações e funcionam como muros de gravidade.

A empresa Deflor também a executa em madeira para a contenção de taludes fluviais há aproximadamente dez anos no Brasil, tendo colhido bons e duradouros resultados. Segundo Pereira (Deflor, 2007), utiliza-se Eucalipto roliço, de diâmetro variável entre 15 e 20 cm e comprimento entre 3 e 6 m. As peças são dispostas nos sentidos sub-horizontal e longitudinal em relação ao curso d'água e entre as camadas aplica-se solo compactado, que pode ser da margem ou sedimento oriundo do desassoreamento do curso d'água. Se necessário, aplica-se ainda biorretentores de sedimentos ou pedras, para impedir a fuga de solo e auxiliar o desenvolvimento da vegetação, que também pode ser implementada na forma de estacas vivas de galhos de árvores com diâmetro de 2 a 3 cm e comprimento de 1,0 a 1,5 m, provenientes do próprio local, das margens do curso d'água.

As figuras 115 a 118 ilustram a maneira que a Deflor implementa esta técnica.

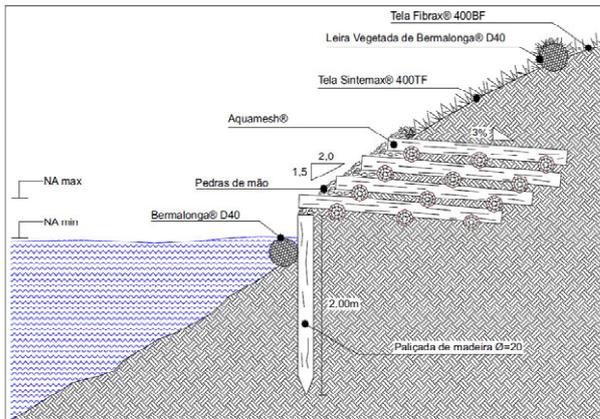


Figura 115: Corte transversal da Crib-Wall. Fonte: Deflor, 2007.



Figura 116: Início da execução da Crib-Wall. Fonte: Deflor, 2007.



Figura 117: Desenvolvimento da construção da Crib-Wall. Fonte: Deflor, 2007.



Figura 118: Crib-Wall após 3 anos de sua execução. Fonte: Deflor, 2007.

Pereira (Deflor, 2007) coloca ainda que, além da grande eficácia, esse método apresenta baixo custo, principalmente se a região onde os serviços forem executados possuir disponibilidade de madeira de reflorestamento, pois evita-se o transporte de madeira a grandes distâncias. Também é possível se utilizar o próprio solo do assoreamento, reduzindo ainda mais os custos e impactos com transporte de materiais.

Mesmo após grandes pluviosidades, a intervenção acima não apresentou erosões e favoreceu o desenvolvimento da vegetação e da mata ciliar oriunda das sementes do local e estacas das árvores que se desenvolveram, apresentando um bom aspecto estético.

Dentre as variáveis adotadas, as Paredes-Krainer Duplas Vegetadas com Feixes Vivos podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de madeira de reflorestamento, pedras ou agregados e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** pelo uso de madeira de reflorestamento;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da estrutura de madeira em substrato para as espécies vegetais subsequentes, como também pela absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos de forma semelhante à que ocorre em margens de cursos d'água;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.6.6 Esteira Viva

A técnica da esteira viva é bastante apropriada para pequenos cursos d'água, pois é muito delicada e conta com um aporte mínimo de materiais e mão de obra para sua implementação. Utiliza-se varas de madeira (para brotação), estacas de madeira e pedras na linha d'água, a fim de se proteger esta faixa da ação imediata das águas (fig. 119). O perfil da margem é delineado conforme a disponibilidade de solo no local, adequando-se o novo perfil da maneira mais simples possível.

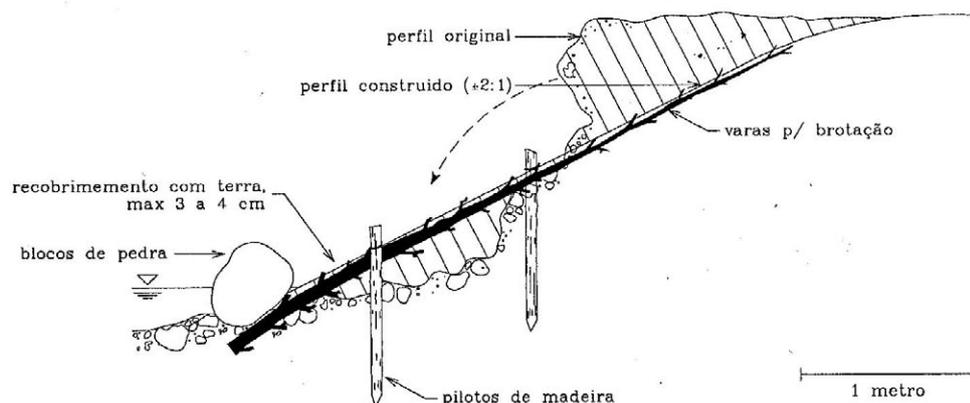


Figura 119: Construção da esteira viva, corte transversal. Fonte: Durlo e Sutilli, 2005.

Após a remodelação do talude com inclinação relativamente pequena (2:1), a esteira de ramos vegetais é disposta e presa com arame em seu terço inferior e superior e, por fim, foi colocada uma pequena camada de solo, alcançando um efeito físico de proteção imediatamente após sua implantação (fig. 120). Ao passo em que a vegetação se desenvolve, a intervenção vai ficando mais resistente, como ocorre com a totalidade das técnicas de bioengenharia de solos.

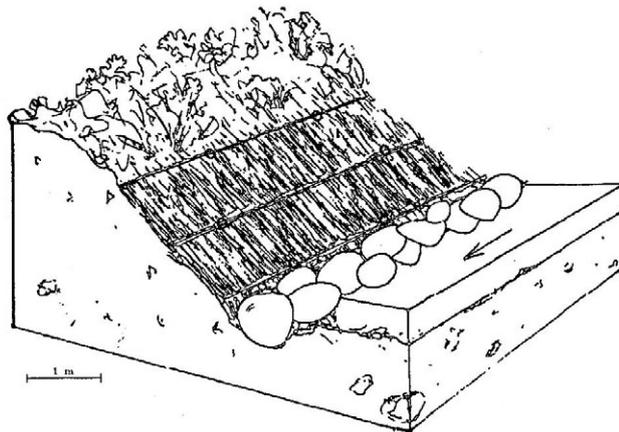


Figura 120: Efeito esperado na margem após a implantação da esteira viva. Fonte: Durlo e Sutuli, 2005.

Na experiência de Sutuli no Arroio Guarda-Mor (2003), em Faxinal do Soturno-RS, foram utilizados ramos de *Pouteria salicifolia*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana*, *Salix viminalis* e *Terminalia australis* (fig 109). Apenas quinze dias após, observou-se uma vigorosa brotação de *Salix humboldtiana* e *Salix viminalis*, seguidos da *Sebastiania schottiana* e , um mês após, da *Pouteria salicifolia*, como pode ser observado nas figuras 121 e 122:



Figura 121: Construção da esteira viva (set/2002). Fonte: Sutuli, 2007.



Figura 122: Aspecto da brotação dois meses após (nov/2002). Fonte: Sutuli, 2007.

Em outra intervenção, em Estrela-RS, pode-se observar o desenvolvimento da vegetação ao longo de 8 meses, de outubro/2010 a junho/2011 (fig. 123).



Figura 123: Evolução temporal das obras implantadas em Estrela-RS. Fonte: Rede Sul de Engenharia Natural e Recuperação de Áreas Degradadas, 2011.

Dentre as variáveis adotadas, as Esteiras Vivas podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de estacas e varas de madeira, pedras e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
 - **Utilização de Recursos Renováveis:** pelo uso de madeira e espécies vegetais;
 - **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da trama de madeira em substrato para as espécies vegetais subsequentes;
 - **Mimese de Processos Naturais:** possibilidade de se evitar processos erosivos de forma semelhante à que ocorre em margens de cursos d'água;
 - **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
 - **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;
- Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.7. Canalização de Cursos d'Água

A ocupação de fundos de vales em território urbano nos distintos municípios brasileiros apresenta, para além de especificidades, semelhanças: alta impermeabilização da bacia, insuficientes sistemas de drenagem, excessiva ocupação das Áreas de Proteção Permanente e pobre desenho da interface entre o ambiente construído e o natural, acarretando em consideráveis prejuízos para o seu mais pulsante elemento: o córrego, rio, ribeirão ou demais denominações científicas e populares atribuídas aos cursos d'água.

Trata-se de uma trajetória cultural que envolve os diversos atores sociais responsáveis pelo desenvolvimento urbano, com complexas barreiras e dificuldades para dialogar entre si acerca dos possíveis modelos de ocupação e construção do habitat humano. Trajetória esta que acaba por tratar este especial ambiente – o fundo de vale urbano - como “fundo de empreendimentos urbanos”, degradado e indesejado pelo convívio social, como apontam Cardoso e Moretti (2004, pág. 03):

Esses problemas identificam os fundos de vale como locais problemáticos, acarretando prejuízos para toda a população, e não somente para aqueles que residem próximo às áreas afetadas. O resultado é o afastamento físico, social e cultural da população para com os seus recursos hídricos.

Há que se considerar a relação humana com os recursos hídricos urbanos não apenas pelo enfoque funcional que estes a proporcionam. A natureza linear, a vegetação ciliar, a fauna que a habita, a ambiência da cota mais baixa, suas águas, os meandros resultantes de seus regimes, suas surpreendentes conformações – sua paisagem -, são elementos aos quais também se atribuiu muito valor no processo de escolhas territoriais para a fixação do homem e das suas tramas sociais. Portanto, torna-se fundamental a reaproximação dos habitantes com a rica ambiência dos fundos de vale.

Levando-se em consideração que a dinâmica dos recursos hídricos se dá de maneira interligada, qualquer intervenção em seus leitos pode ser pensada como uma oportunidade de contribuição para a superação dos recorrentes transtornos, bem como para o desenvolvimento de novas posturas frente ao território, considerando-se a possibilidade de uma transformação cultural com envolvimento do maior número de atores sociais quanto possível. Assim, intervenções que devolvam ao curso d'água suas aptidões, podem ao mesmo tempo devolver ao homem seu bem estar, num movimento de crescente reidentificação com o ambiente natural.

Atualmente ganha força a postura de se renaturalizar os rios impactados por processos de urbanização, principalmente na Europa, a fim de se recuperar o funcionamento de ecossistema típico de águas correntes, através da aplicação de obras hidráulicas adaptadas à natureza e da conservação e recuperação das áreas de inundação, onde for possível.

A implementação de projetos voltados para a renaturalização de rios exige a disponibilidade de áreas e novos conceitos na engenharia hidráulica e no planejamento territorial. Quanto mais áreas puderem ser restituídas ao sistema do rio, maiores serão as possibilidades de renaturalização. Por vezes, estas áreas poderão ser transformadas em parques municipais, oferecendo melhores condições de vida à população local (Binder, 1998, p.11).

Procurando atender satisfatoriamente aos complexos processos de intervenção em cursos d'água degradados, o autor elenca alguns critérios a serem considerados:

- acesso à água;
- ampliação do leito do rio;
- recuperação da continuidade do curso d'água;
- aplicação de técnicas da engenharia ambiental;
- o restabelecimento de faixas marginais de proteção e da mata ciliar;
- a reconstituição de estruturas morfológicas típicas no leito e nas margens como depósitos de seixos rolados;
- a promoção de biotas especiais;
- a propiciação de elementos favoráveis ao lazer.

Observa-se que sua postura não se limita a considerar apenas conhecimentos técnicos. Também atenta para o fato de que os cursos d'água podem proporcionar aos habitantes possibilidades de convívio, afirmando a possibilidade de maior aproximação e identificação com o fundo de vale. Elenca-se a seguir algumas ecotécnicas que buscam atender aos critérios apresentados.

- Solo envelopado;
- Calha de Gabião Caixa e/ou Manta;
- Calha de Madeira e Pedras.

4.7.1. Solo Envelopado

É possível se renaturalizar o solo de margens e taludes fluviais valendo-se de técnicas bastante simples e baratas, dependendo do comportamento hídrico do curso d'água em questão. Em casos de média e baixa vazões, a técnica do Solo Envelopado mostra-se muito favorável, dada a praticidade de transporte de seus insumos, a simplicidade de sua execução, a possibilidade de aproveitamento de materiais do próprio local, dentre outras.

Segundo Pereira (2007), da empresa Deflor, o Solo Envelopado Verde consiste no confinamento do solo em camadas protegidas por um geotêxtil de alta resistência, e no paramento externo são aplicadas sementes de espécies vegetais e estacas vivas (fig. 124). O geotêxtil utilizado é a biomanta antierosiva de fibra de coco tridimensional, sendo resistente, drenante e permite a passagem de luz para a germinação das sementes e fixação das raízes.

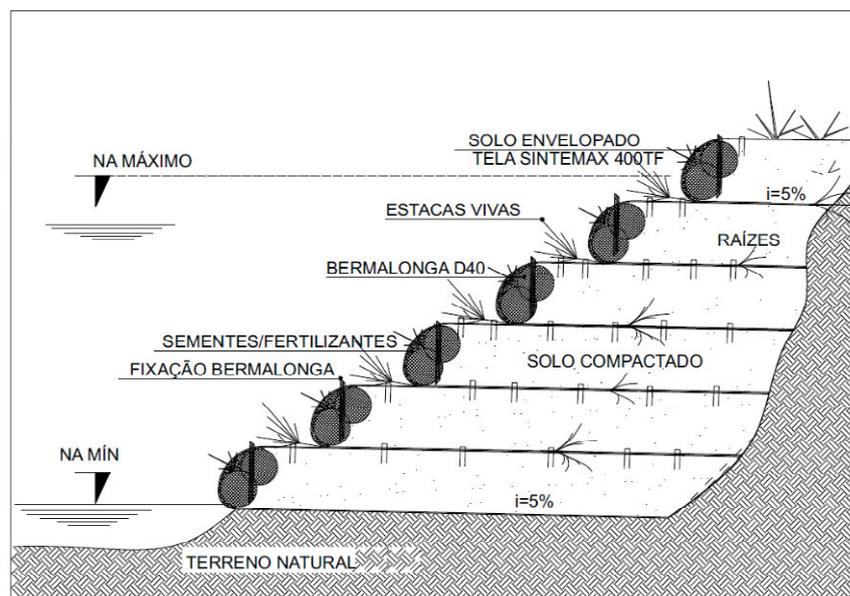


Figura 124: Detalhe em corte do sistema de Solo Envelopado Verde. Fonte: Pereira, 2007.

A sequência de montagem proposta é a seguinte:

- Em primeiro lugar, fixa-se a biomanta no solo raso da margem a ser reconstituída;
- Após a fixação da biomanta, devem ser aplicados retentores de sedimentos em linha no sentido da margem, no ponto em que formará a base do talude a ser reconstituído, sendo esta fixação feita com estacas de madeira ou bambu;
- A próxima etapa é a aplicação de solo e compactação em camadas até atingir a altura de 60 cm,

quando então dobra-se a ponta da biomanta, envelopando o solo e fixando-a em toda a extensão da intervenção;

- A etapa seguinte consiste em aplicar as estacas vivas (fig. 125), de árvores e arbustos que apresentam potencial de enraizamento, de preferência de espécies locais, oriundas da própria mata ciliar. Estas estacas vivas devem ter diâmetro de 2 a 3 cm e comprimento de 1,0 a 2,0 m, devendo-se tomar o cuidado de manter as estacas verdes, ou mergulhadas na água, até o seu plantio;
- O plantio das estacas é feito dispondo-as paralelamente umas às outras no sentido sub-horizontal, entre as camadas de Solo Envelopado, e após o plantio deve-se efetuar a irrigação até a “pega”. Outras plantas ou sementes poderão ser utilizadas, de acordo com a recomendação técnica ou exigência do órgão ambiental. As camadas de Solo Envelopado serão executadas até atingirem a altura e declividade desejadas (fig. 126).



Figura 125: Início da construção do Solo Envelopado Verde, após a aplicação da terceira camada. Fonte: Pereira, 2007.



Figura 126: Vista geral do Solo Envelopado Verde após a construção, recuperando totalmente o talude que estava instável e erodido. Fonte: Pereira, 2007.

A empresa Vertical Green Brasil também oferece uma solução para esta técnica, chamada Green Wall Water. Segundo a empresa, é um sistema de reforço e consolidação de terreno em ambiente saturado ou submerso, com princípios executivos ambientalmente sustentáveis e baixo impacto ambiental e visual. A estrutura é executada com uso de geossintéticos de última geração, materiais inertes e vegetais vivos com técnicas de engenharia naturalística, com o paramento frontal verde através da aplicação de vegetação em seu acabamento, integrando-se totalmente ao ambiente e à paisagem circundante. Algumas de suas aplicações podem ser observadas nas figuras 127 a 130.



Figura 127: Processos erosivos e escorregamentos na margem fluvial, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.



Figura 128: Início da obra, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.



Figura 129: Aplicação de Biomanta Antierosiva, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.



Figura 130: Início do desenvolvimento da vegetação, Campinas-SP. Fonte: Vertical Green, 2008.

Ao passo em que a vegetação se desenvolve, fica cada vez menos perceptível a presença da intervenção, assim como ocorre em outras técnicas de renaturalização. Os relatos das empresas que executam este tipo de intervenção apontam para sua longa durabilidade e adequação às condições locais, demandando o mesmo nível de manutenção (poda, limpeza) que se dá a taludes fluviais naturais.

Dentre as variáveis adotadas, os taludes de Solo Envolvido podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso do próprio solo remanejado no local, como também pela escolha de espécies vegetais e mão de obra;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** no caso de utilização de biomanta;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** no caso de utilização de biomanta, quando ocorre a sua

transformação em substrato para as espécies vegetais subsequentes;

- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;

Redução / Reversão de Impactos: diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.7.2. Calha de Gabião Caixa e/ou Manta

A estabilização de taludes fluviais com o emprego de gabões é talvez a mais conhecida e aplicada em nossas cidades, dentre as técnicas que procuram não destacar os corpos d'água do território através da impermeabilização do seu leito. A técnica consiste basicamente na acomodação de pedras contidas por telas metálicas solidarizadas, formando prismas que se encaixam e trabalham por gravidade, contendo o solo e conformando muros, canais, barragens etc. Uma de suas principais características é a possibilidade de se empregar pedras de origem local, permitindo que sejam transportadas apenas as "gaiolas" desmontadas que, dado o leve peso e facilidade de acomodação nos caminhões, apresentam uma alta eficiência volumétrica ao final de sua execução.

Segundo a empresa Maccaferri, que há 120 anos trabalha com técnicas de contenção e estabilização de solos, os gabões podem ser empregados em leitos fluviais de diferentes maneiras e formas geométricas, dependendo do porte da intervenção e dos resultados esperados (fig. 131 e 132).

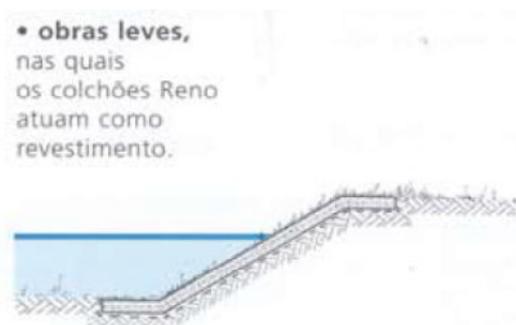


Figura 131: Colchão Reno. Fonte: Maccaferri, 2010.

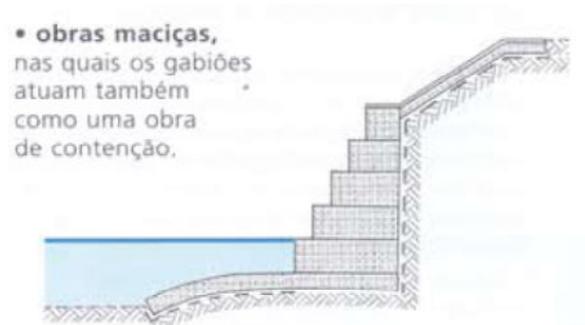


Figura 132: Gabião caixa. Fonte: Maccaferri, 2010.

Baseada nessas possibilidades, a empresa já desenvolveu e implementou diversos projetos, como este do córrego do Igaratá, em Vinhedo-SP, que apresentava sérios problemas de controle e combate a erosão, além de controle de fluxo, sendo responsável pela condução de toda água excedente no condomínio por onde passa. O excesso do volume de água e a falta de uma calha que comportasse e dissipasse a energia de escoamento das águas de montante criaram focos erosivos em todo canal, além de transbordamentos seguidos de alagamentos em toda área em seu entorno. Para o desenvolvimento do canal foram previstos muros em gabiões caixa, com a finalidade de conter e estabilizar as margens do canal, com revestimentos em colchões Reno no fundo e nos taludes da parte superior do muro (fig. 133), para que a calha comportasse a vazão de projeto para período de retorno de 100 anos (Maccaferri, 2007).

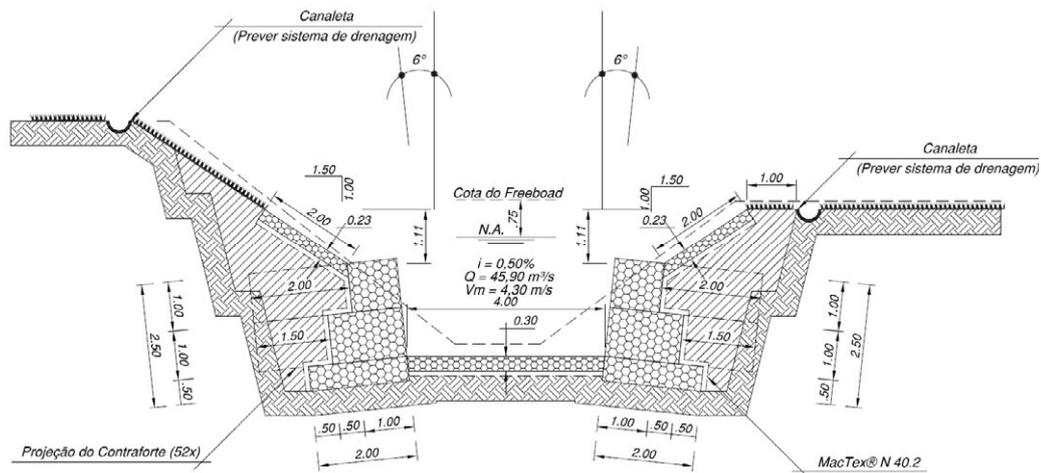


Figura 133: Detalhe em corte da canalização com colchão Reno e gabião caixa, Vinhedo-SP. Fonte: Maccaferri, 2007.

As condições anteriores e posteriores à intervenção são ilustradas nas figuras 134 e 135.



Figura 134: Processos erosivos e escorregamentos na margem fluvial, Vinhedo-SP. Fonte: Maccaferri, 2007.



Figura 135: Obra concluída, Vinhedo-SP. Fonte: Maccaferri, 2007.

Apesar do elevado peso e da suscetibilidade ao colapso quando apoiados em solos pobres, os gabiões têm características afins à renaturalização, como a livre adequação ao terreno, a permeabilidade, o desenvolvimento de vegetação, a possibilidade de se trabalhar com recursos locais, dentre outras. Quando bem aplicada, esta técnica pode resultar em grande durabilidade com efeito paisagístico crescente ao longo do tempo, através da consolidação da vegetação em seus interstícios.

Dentre as variáveis adotadas, as Calhas de Gabião Caixa e/ou Manta podem atender às seguintes:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de agregados graúdos e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** pela conexão do leito do canal com o subsolo e possibilidade de se evitar processos erosivos de forma semelhante à que ocorre em margens de cursos d'água;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Utilização de Materiais Residuais:** através do uso de agregados graúdos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos da construção civil;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando novos ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

4.7.3. Calha de Madeira e Pedras

Esta técnica consiste na construção de um canal com toras roliças, pedras, fibras vegetais e alguns materiais inertes como geotêxteis, telas metálicas, pregos e arames. Trata-se de uma técnica que estabelece um rico diálogo com o ambiente, com reduzido impacto mesmo considerando-se toda sua cadeia produtiva. A principal fonte encontrada de sua aplicação é a empresa Vertical Green Brasil, que há alguns anos desenvolve e implementa técnicas de

horizontal ao longo do crescimento da vegetação e biodegradação das toras. Para melhor se adequar o leito à topografia local, foram construídos degraus de dissipação (fig. 137 a 139).



Figura 137: Colocação das primeiras toras de Eucalipto sobre o colchão drenante. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.



Figura 138: Compactação do solo ao longo do canal. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.



Figura 139: Paredes, fundo e degraus de dissipação. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.

Outros dispositivos e adequações se fizeram necessário para o bom funcionamento do canal, como caixas de dissipação, interfaces com a rede de drenagem pluvial e ainda com afloramentos do lençol freático (fig. 140 a 142).



Figura 140: Caixa de dissipação. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.



Figura 141: Adequação à drenagem pluvial. Fonte: TEIA – casa de criação, 2006.



Figura 142: Adequação a afloramento d'água. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.

Complementando a seção da calha foi aplicada em suas margens a técnica da hidrossemeadura sobre biomanta (trama de fibras vegetais), permitindo sua proteção ao longo do crescimento da vegetação e consequente estabilização (fig. 143 a 145).



Figura 143: Instalação da biomanta.
Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.



Figura 144: Detalhe da biomanta. Fonte: TEIA – casa de criação, 2006.



Figura 145: Crescimento vegetal sobre biomanta. Fonte: Silva Leme Engenharia, 2006.

Esta obra de renaturalização, que reverteu um processo de negação (tamponamento) de um corpo d'água em meio urbano, se encontra num processo de constante transformação, com afloramentos d'água e aumento de sua vazão, devido ao emprego de técnicas construtivas com maior diálogo com o meio e menor impacto ambiental. Também cabe ressaltar que o leito do córrego, depois de renaturalizado, continuou a receber toda a carga da drenagem pluvial desta região de montante de sua microbacia, não apresentando problemas de estabilidade ou vazão.

Dentre as variáveis adotadas, as Calhas de Madeira e Pedra podem atender:

- **Utilização de Recursos Locais:** pelo uso de madeira de reflorestamento, pedras ou agregados e mão de obra, como também pela escolha de espécies vegetais;
- **Utilização de Recursos Renováveis:** pelo uso de madeira de reflorestamento;
- **Ocorrência de Ciclos Fechados:** devido à transformação da estrutura de madeira em substrato para as espécies vegetais subsequentes, como também pela absorção de águas pluviais, ainda que em pequena escala;
- **Mimese de Processos Naturais:** pela conexão do leito do canal com o subsolo e possibilidade de se evitar processos erosivos de forma semelhante à que ocorre em margens de cursos d'água;
- **Utilização de Materiais Vivos:** possibilidade de emprego de espécies vegetais de diferentes portes;
- **Potencial Urbanístico:** possibilidade de inserção em áreas urbanas degradadas, gerando maior presença de vegetação, umidade, fauna e ambientes com potencial paisagístico;
- **Redução / Reversão de Impactos:** diminuição de processos erosivos e consequente redução do carreamento de sedimentos pelas águas pluviais.

Capítulo 5. Discussão dos Resultados

A partir da revisão bibliográfica e orientando-se o foco da pesquisa aos Sistemas de Manejo de Águas Pluviais Urbanas, foi possível se conceituar Ecotécnicas, apontando seus principais aspectos na forma de variáveis que serviram posteriormente para avaliar o grau de atendimento que cada técnica estudada pode alcançar.

Essas variáveis foram colocadas em uma tabela a fim de se permitir uma leitura gráfica e comparativa entre as técnicas, agrupadas pelo tipo de aplicação em infraestrutura urbana. Para tanto, foram estabelecidos quatro parâmetros com diferentes níveis de intensidade, que variam de zero a três. Os critérios para definição desses parâmetros avaliam as técnicas desde sua implementação até o seu funcionamento, além da avaliação dos efeitos em cadeia, onde:

- . **zero** corresponde ao não atendimento;
- . **um (X)** corresponde a um atendimento parcial em uma das etapas, com efeitos ou na implementação ou no funcionamento;
- . **dois (XX)** corresponde a um atendimento razoável, com efeitos na implementação e no funcionamento; e
- . **três (XXX)** corresponde a um atendimento cujos efeitos em cadeia extrapolam a implementação e o funcionamento.

O resultado da interpolação dessas informações foi sintetizado na Tabela 4 e sua leitura crítica permite diferentes interpretações, tanto partindo-se da ótica das variáveis quanto das técnicas (e seus agrupamentos). Essa estrutura permite se avaliar o grau de atendimento de uma das variáveis isoladamente em relação às 28 técnicas elencadas, criando um registro do atual estado do conceito frente à prática construtiva de infraestruturas urbanas. Por outro lado, também é possível se avaliar quanto uma determinada técnica consegue atender às variáveis em questão, permitindo uma análise do que pode ser melhorado ou desenvolvido para que a mesma amplie seus efeitos.

Tabela 4: Matriz Técnicas X Variáveis.

TÉCNICAS		VARIÁVEIS							
		Utilização de Recursos Locais	Utilização de Recursos Renováveis	Ocorrência de Ciclos Fechados	Mimese de Processos Naturais	Utilização de Materiais Vivos	Utilização de Materiais Residuais	Potencial Urbanístico	Redução / Reversão de Impactos
TÉCNICAS LOCAIS DE CONTROLE NA FONTE	Telhado Verde	X X X	X X	X	X X	X X	X	X X X	X X X
	Telhado Armazenador	X	X		X	X		X	X
	Microrreservatório		X		X		X	X	X X X
	Poço de Infiltração	X		X	X X		X	X	X X
	Plano de Infiltração	X	X	X	X X	X X	X	X X X	X X X
TÉCNICAS LINEARES DE CONTROLE NA FONTE	Trincheira de Infiltração	X	X	X	X X	X	X X	X	X X
	Vala de Infiltração	X		X	X X	X	X X	X	X X
	Pavimento Permeável	X		X	X X	X	X	X X	X X
	Pavimento Reservatório			X	X X		X	X	X X
	Sarjeta Permeável	X			X		X	X	X
	Canaleta Gramada	X		X	X	X	X X	X X	X X
CONTROLE CENTRALIZ.	Reservatório de Retenção	X	X	X X	X X	X X	X X	X X X	X X X
	Reservatório de Detenção	X		X	X	X	X X	X X X	X X
TRATAM. EFLUENTES	Gradeamento				X X		X		X X X
	Biorretenção	X	X	X X	X X	X X X	X	X X	X X X
CONTENÇÃO DE ENCOSTAS	Contenção com Pneus	X	X		X X	X X	X X X	X X	X X X
	Gabião Caixa	X X			X X X	X	X X	X X X	X X X
	Biomanta Antierosiva com Vegetação	X	X X X	X X X	X X X	X X X	X	X X X	X X X
	Biomanta Antierosiva com Biorretentor e Capim Vetiver	X	X X X	X X X	X X X	X X X	X	X X X	X X X
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES FLUVIAIS	Escada Hidráulica de Gabião Manta	X X		X	X X	X	X X	X X X	X X X
	Escada Hidráulica de Madeira e Pedras	X X X	X X	X	X X	X	X	X X X	X X X
	Dissipador de Energia de Madeira e Pedras	X X X	X X	X	X X	X	X	X X X	X X X
	Parede Vegetada de Madeira (Parede Krainer)	X X X	X X X	X X X	X X X	X X		X X X	X X X
	Parede Dupla Vegetada com Feixes Vivos	X X X	X X X	X X X	X X X	X X X		X X X	X X X
	Esteira Viva	X X X	X X X	X X X	X X X	X X X		X X X	X X X
CANALIZAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA	Solo Envelopado	X X	X	X X		X		X X	X X X
	Calha de Gabião Caixa e/ou Manta	X X		X	X X	X	X X	X X X	X X X
	Calha de Madeira e Pedras	X X X	X X	X X X	X X X	X X		X X X	X X X

O cruzamento entre Técnicas e Variáveis não consiste em um resultado estático e absoluto. Pode-se dar seguimento à evolução das aplicações das Ecotécnicas, por meio de reavaliações periódicas, comparando-se resultados futuros com aqueles apresentados anteriormente. A possibilidade de se avaliar essas aplicações em diferentes momentos, pode fornecer dados quantitativos a partir dos quais se poderá analisar qualitativamente as causas e os efeitos do aprimoramento das técnicas e tecnologias.

As 28 técnicas relacionadas a 7 tipologias de aplicação escolhidas para esta análise representam uma parte de um amplo universo de crescentes possibilidades que pode, ainda, apresentar pequenas variações ou adaptações, dependendo do local onde serão implementadas. Por se tratar da base conceitual deste trabalho, a forma de abordagem predominante na discussão dos resultados se dá a partir da leitura das variáveis que definem as Ecotécnicas.

A leitura da tabela demonstra uma significativa diferença no grau de atendimento entre as variáveis apresentadas. Um exemplo disso é o alto grau de atendimento conferido à variável "**Redução/Reversão de Impactos**", devido ao fato de que seu teor é justamente um dos conceitos intrínsecos às mudanças de posturas que visam alcançar o equilíbrio ambiental dos sistemas de infraestrutura urbana. A redução ou reversão dos impactos é o principal objetivo da aplicação das Ecotécnicas, portanto pode ser considerado um critério importante para a avaliação do desempenho de cada técnica analisada. É por isso que esta variável foi atendida em todas as técnicas, embora tenha sido considerada moderada em algumas técnicas pontuais, como é o caso do Telhado Armazenador, Poço, Vala e Trincheira de Infiltração. Nestes casos seus efeitos poderiam ser ampliados se a aplicação fosse massiva, e mais ainda se houvessem sistemas interligados de armazenamento dessas captações pontuais, evitando-se o aumento de volume escoado para os sistemas convencionais.

Outra variável em situação similar é a "**Mimese de Processos Naturais**", pois a forma mais eficiente de se reduzir ou reverter os impactos de um elemento de infraestrutura urbana pode ser a aproximação ou reprodução de um comportamento natural do território e seus eventos climáticos, prévio à sua ocupação. Em outras palavras, uma das constatações obtidas é que quanto mais se alcançar essa mimese, maior será o êxito da Ecotécnica. Percebe-se que o maior grau de atendimento se dá naquelas aplicações mais relacionadas aos taludes fluviais e cursos d'água, que são elementos da própria natureza. Em situações urbanas mais edificadas, isto é, em calçamentos, construções e dispositivos, como o Microrreservatório, o grau de atendimento é menor embora ainda se encontre presente. Isto se deve ao fato de serem

constituídos por estruturas que mimetizam o processo sem necessariamente mimetizar o meio como ocorrem naturalmente. Mais uma vez, maior será a amplitude dos efeitos quanto maior seja distribuição da aplicação e as redes subsequentes.

A leitura das quatro variáveis relacionadas aos materiais e recursos, apesar de não apresentar uma interligação direta entre elas, sugere comparações que podem gerar diversas reflexões, uma vez que todas dizem respeito ao meio como a aplicação dessas técnicas é alcançada.

Primeiramente, analisando-se a "**Utilização de Recursos Locais**", percebe-se um amplo atendimento na maioria das Ecotécnicas, embora em pequeno grau. Isso se deve, em partes, a que todos os locais têm recursos disponíveis, porém nem sempre são utilizados preferencialmente. Outro motivo é a crescente especialização das indústrias do setor construtivo, que realoca recursos regionalmente e reduz consideravelmente os saberes integrados dos trabalhadores locais. Também é possível verificar que as técnicas que utilizam recursos naturais possuem maior grau de atendimento frente às que utilizam sistemas industriais, e que essas mesmas técnicas também são mais aplicadas a elementos naturais, como encostas e taludes fluviais, do que em sistemas urbanos, como o calçamento e a drenagem pluvial. A amplitude dos efeitos da utilização dos recursos locais poderia ser aumentada com capacitação profissional, fomento da indústria local e preferência pelo uso dos materiais oriundos de cada lugar. Há que se ressaltar sobre a dificuldade de se alcançar o emprego pleno dos recursos locais, devido à necessidade de utilização do concreto ou materiais de indústria pesada.

Observa-se um atendimento moderado, tanto em grau como em amplitude, na aplicação das Ecotécnicas com relação às variáveis "**Utilização de Materiais Vivos**" e "**Utilização de Materiais Residuais**", porém não necessariamente relacionadas entre si. Todos os lugares possuem materiais vivos para aplicação e resíduos em geral, embora nem sempre a aplicação de um ou outro seja possível ou preferencial. O uso de materiais residuais aparece majoritariamente quando há necessidade de se utilizar agregados de diferentes tamanhos, e a principal fonte são os resíduos das demolições geradas pela construção civil. Também há a possibilidade de reutilização significativa de pneus inservíveis, que se constituem como resíduos em crescente abundância e de difícil resolução, para contenção de encostas. Os efeitos da utilização de materiais residuais poderia aumentar se a indústria também absorvesse parte desta responsabilidade, utilizando formas recicladas de agregados, ou mesmo incorporando a reutilização de outros materiais, como os plásticos, metais, polímeros entre outros. Essa

responsabilidade poderia ainda ser dividida com a indústria geradora de resíduos, que investindo em pesquisas sobre a reutilização poderia dar novas finalidades para materiais até então considerados inadequados para o uso nas Ecotécnicas.

Apesar da disponibilidade de materiais vivos em todos os lugares, algumas técnicas são mais predispostas à sua utilização, e quase sempre se relacionam com a constituição de paisagens urbanas, como é o caso dos Telhados Verdes, do Reservatório de Retenção e das Contenções de Encostas e Taludes Fluviais. Seus efeitos são mais benéficos quanto maior for a utilização das espécies nativas, pois produzem um efeito em cadeia de manutenção da fauna e dispersão de sementes para áreas adjacentes. A amplitude também aumenta com a difusão de modelos e proliferação das técnicas, como ocorre com os telhados verdes ou as biomantas, que quantos mais forem executados, mais a área verde da cidade aumentará como um todo.

De certo modo, a "**Utilização de Recursos Renováveis**" está relacionada com a utilização de materiais vivos, tanto no que diz respeito à aplicação, pois as mesmas técnicas que utilizam recursos renováveis também utilizam materiais vivos, como no seu processo de produção, já que são majoritariamente vegetais. A leitura da tabela indica que o grau de atendimento a esta variável ainda é muito baixo, provavelmente em decorrência do atraso em pesquisas relacionadas ou por falta de interesse econômico das grandes áreas produtoras. Mais uma vez, as Ecotécnicas de Contenção de Encostas e Taludes Fluviais são as situações propícias para utilização de madeiras de reflorestamento, e as técnicas de reservação de água ou Telhados Verdes propiciam o uso de resinas impermeabilizantes de origem vegetal. Neste caso, a amplitude dos efeitos da utilização dos recursos renováveis para outras técnicas, depende muito mais da indústria do que propriamente de sua aplicação final. O uso desses recursos para a produção de outros materiais poderia aumentar na medida em que as bases tecnológicas se desenvolvam voltadas para essas questões, mesmo que num primeiro momento necessitem de maiores investimentos e menor lucratividade.

O grau de atendimento da variável "**Ocorrência de Ciclos Fechados**", merece especial leitura, já que se constitui como a de maior dificuldade, ou mesmo impossibilidade de ser alcançada. Isto porque as bases produtivas humanas ao longo dos séculos não foram estabelecidas sob as mesmas bases dos sistemas naturais, sendo que há poucas décadas veio à tona o debate sobre os impactos causados pela humanidade e a necessidade de se evitá-los e revertê-los. Portanto, a capacidade ou não dos sistemas de infraestrutura urbana se aproximarem de ciclos fechados depende ainda do desenvolvimento de um sistema político-

administrativo que abandone certas práticas e cadeias produtivas, o que resulta num desafio mais complexo do que o colocado às questões meramente técnico-produtivas. Porém, com a finalidade de se entender a dinâmica dos recursos hídricos frente aos sistemas de manejo de águas pluviais urbanas, optou-se por considerar o ciclo da água como elemento coadjuvante no atendimento da variável em questão, apesar de sua difícil quantificação. Foi considerado um atendimento parcial quando o sistema de drenagem reintegra parte da água de forma similar à natural - infiltrando-se no solo ou evaporando-se. Por outro lado, as técnicas que se utilizam de biomantas e/ou toras de madeira foram consideradas com atendimento satisfatório desta variável, devido ao ciclo de decomposição dos materiais e transformação em substrato para outras espécies no próprio local.

Por fim, a variável com maiores efeitos em cadeia e possibilidade de ampliação é o "**Potencial Urbanístico**". Seu grau de atendimento é elevado, já que o desenho especialmente voltado para o homem e a paisagem urbana pode se mostrar como a "alma" da transformação, ou seja, aquilo que pode ser explorado de maneira a impulsionar uma mudança cultural frente aos diferentes elementos de infraestrutura urbana. Ao mesmo tempo, a exploração do potencial urbanístico que as Ecotécnicas apresentam depende diretamente de adaptação das posturas político-administrativas que, num primeiro momento, precisaria de maior embasamento técnico e científico para justificar modificações em seus procedimentos. O próprio fato de não se encontrar dados concretos com facilidade dificulta a elaboração de orçamentos, licitações e processos de contratação, e por isso as administrações públicas terminam, na maioria das vezes, por recorrer aos sistemas convencionais.

Quase todas as técnicas selecionadas apresentam potenciais de propiciarem novas paisagens, lugares de contemplação ou até mesmo passeios públicos, áreas esportivas, estacionamento etc. A única que não apresentou esta vocação foi o Gradeamento, devido ao aspecto degradante que toma por concentrar o lixo disperso. Mesmo assim, apesar de inicialmente não apresentar potencial urbanístico, as áreas adjacentes poderiam ser trabalhadas como um espaço educativo, para visitas e vivências periódicas.

A questão principal que está aqui colocada é a capacidade de se projetar e constituir infraestruturas em espaços públicos de qualidade, cujos efeitos se ampliariam em cadeia no caso da aplicação de diferentes técnicas associadas, formando um sistema integrado, com capacidade de gerar inclusive novas Ecotécnicas.

Conclusão

A leitura direta apresentada na discussão dos resultados trata sobre as questões relativas ao desempenho das Ecotécnicas, apontando algumas perspectivas e dificuldades inerentes às suas aplicações e usos. Algumas constatações, porém, extrapolam essa leitura imediata e supõem uma compreensão mais ampla do momento histórico em que se inserem, considerando-se as condições político-econômica e social. Um exemplo disso é a dificuldade em se alcançar Ciclos Fechados, o que se deve às bases produtivas exploratórias e às grandes distâncias percorridas pelos recursos, pessoas e mercadorias em escala global. Da mesma maneira, o uso de Recursos Renováveis também depende de alterações nos modos de produção tanto industriais como agrícolas, desde a gestão da terra até os incentivos e as políticas financiadoras, para que alcance uma maior difusão e desenvolvimento.

Aprofundando-se nos resultados, a leitura aponta para uma perspectiva que perpassa quase todas as aplicações, que é a possibilidade de ampliação dos efeitos das Ecotécnicas através da **associação em cadeia**, além de deixar indícios de uma questão mais complexa, que é a necessidade de **transformação cultural**. Ambas constatações estão relacionadas entre si, e podem ser potencializadas uma pela outra.

Se, por um lado, a associação em cadeia permite aumentar consideravelmente o alcance das intervenções pontuais, também permite a disseminação de ideias e conhecimento, que é o início de um processo de transformação cultural, e vice-versa. Quanto mais se implementarem telhados verdes, por exemplo, mais aprimoradas serão as técnicas e seus desempenhos, além da alteração da paisagem urbana gerada pela somatória de iniciativas que, além de contribuir para uma sensível alteração do microclima local, contribui no ciclo da água numa escala maior que a de cada edificação. Ampliando-se o olhar para as diversas possibilidades de Ecotécnicas, ao se aumentar a aplicação e o desenvolvimento técnico, provavelmente se ampliarão os estudos a respeito, contribuindo também para a consolidação das Ecotécnicas não apenas como alternativas, mas como opção preferencial nas infraestruturas urbanas.

Essa associação não diz respeito apenas às aplicações massivas de determinada técnica e suas consequências para o entorno expandido, mas principalmente condiz com a ideia de complementação, onde a aplicação de uma técnica diminui o impacto sobre outro subsistema. Isto ocorre naquelas que preveem absorção local da água, que evitam a sobrecarga

nos sistemas de drenagem pluvial, ou ainda, quando a reservação de água de chuva reduz o consumo de água potável fornecida pelos sistemas de abastecimento e, conseqüentemente, os impactos gerados pela sua produção. Esse encadeamento também supõe modificações de cunho político-administrativas, pois a interconexão das infraestruturas urbanas se inicia nas intervenções pontuais, mas dependem da continuidade do percurso até o lançamento nos sistemas de controle centralizados, que são estruturas de maior abrangência, provavelmente ligadas aos setores públicos de gestão de águas.

Considerando-se que o envolvimento da comunidade é fundamental para o estabelecimento de novas políticas urbanas, a conscientização sobre as questões ambientais pode propiciar um maior interesse da sociedade pela construção e vivência do seu espaço comum, a cidade, através de processos participativos que interfiram nas decisões políticas e, conseqüentemente, no redesenho dos elementos de infraestrutura urbana. A partir de posturas integradas é possível se projetar e construir cidades mais equilibradas sob diversos pontos de vista, colocando a cada cidadão e ao poder público as responsabilidades e os papéis a serem desempenhados em busca de uma maior cooperação e qualidade de vida.

Um possível desdobramento deste trabalho pode se dar tanto na observação dos resultados obtidos ao longo do tempo, a partir de uma abordagem mais técnica, como na perspectiva social de compreensão e leitura das Ecotécnicas, buscando se avaliar se a coparticipação de diferentes atores na formulação de propostas acarreta na execução de intervenções técnicas que entendam as cidades como ecossistemas, cujo funcionamento se aproxime dos naturais e cujo potencial urbanístico se traduza em espaços interessantes para o convívio.

Neste sentido, o emprego de Ecotécnicas mostra-se como um caminho viável para se aliar a resolução de variadas questões ambientais urbanas à promoção de uma transformação cultural que integre, de forma mais plena e natural, as pessoas ao ambiente construído.

Referências

- ACSERALD, Henry. **Sentidos da Sustentabilidade Urbana**. in **A Duração das Cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas**. Rio de Janeiro: DP&A, 2001. p. 27- 55.
- AGENDA 21 Brasileira. Disponível em: <http://www.agenda21local.com.br/con4ca.htm>. Acesso em: 07/01/2009.
- AMANTHEA, Nelson. **Drenagem Urbana Sustentável**. CTU/UEL, agosto de 2008. Disponível em: http://www2.uel.br/pessoal/amanthea/ctu/arquivos/dus/dus_ago08.pdf. Acesso em: 25/03/2010.
- APENA - Associação Portuguesa de Engenharia Natural. **O que é a Engenharia Natural**. 2007. Disponível em: <http://www.apena.pt/page.php?21>. Acesso em 01/11/2009.
- AURÉLIO. **Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0**: Positivo Informática, 2004.
- BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 pp.
- BINDER, Walter. **Rios e córregos: Preservar, conservar, renaturalizar. A recuperação de rios, possibilidades e limites da engenharia ambiental**. Orientação técnica Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ. Rio de Janeiro: SEMADS, 1998, 39 pp.
- BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Gestão de águas pluviais urbanas** / Tucci, Carlos E.M. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194 pp. (Saneamento para Todos; 4º volume).
- BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Glossário de drenagem urbana sustentável**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/biblioteca/biblioteca>. Acesso em: 21/10/2008.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Organização Pan-Americana da Saúde. **Política e plano municipal de saneamento ambiental: experiências e recomendações**. Organização Panamericana da Saúde; Ministério das Cidades, Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Brasília: OPAS, 2005. 89 pp.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS) **Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico** / coord. Berenice de Souza Cordeiro. - Brasília Editora, 2009. 193p.(Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos v.2)
- BRITO, Débora Silva de. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas drenagem**.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006, 117p.

CAPRA, Fritjof. **The Hidden Connections**. Flamingo, London, England, 2002 in NEWMAN, Peter & JENNINGS, Isabella – **Cities as Sustainable Ecosystems – Principles and Practices**. Island Press, Washington, USA, 2008, pg 93.

CARDOSO, Francisco José; MORETTI, Ricardo de Souza. **Plano de Gestão para Áreas Urbanas de Fundo de Vale**. in Seminário “A Questão Ambiental Urbana: Experiências e Perspectivas”. UnB. 28 a 30 de Julho de 2004. Brasília, DF.

CARVALHO, Pompeu Figueiredo de; BRAGA, Roberto. **Da Negação à Reafirmação da Natureza na Cidade: o conceito de “renaturalização” como suporte à política urbana**. Grupo de Pesquisa Análise e Planejamento Territorial – GPAPT, 2003. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/gpapt/Artigos%20pdf%20final/pompeu%20PDF/CARVALHO%20&%20BRAGA%20Simpurb%20Recife%202003.pdf>. Acesso em 15/05/2010.

CHAMPS, José Roberto. **Desenvolvimento de Tecnologias em Drenagem para uma Gestão Integrada dos Serviços Hídricos Municipais - Projeto Piloto**. Prefeitura de Belo Horizonte / Universidade Federal de Minas Gerais, versão julho de 2007. Disponível em: http://www.snis.gov.br/Arquivos_PMSS/7_PUBLICACOES/7.6_Palestras/8cooperacao_br-it/cooper_br-it_bhte_072007.pdf. Acesso em: 25/03/2010.

CHOAY, Françoise. **O urbanismo: utopias e realidades - uma antologia**. São Paulo: Perspectiva, 1979.

COELHO, Arnaldo Teixeira; PEREIRA, Aloísio Rodrigues. **Efeitos da Vegetação na Estabilização de Taludes e Encostas**. In Boletim Técnico Deflor, ano 01, nº 002, junho 2006. Disponível em: <http://www.deflor.com.br/portugues/pdf/boletim2.pdf>. Acesso em 15/01/2009.

CRUZ, Marcus Aurélio Souza; ARAUJO, Paulo Roberto; SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **Estruturas de Controle do Escoamento Urbano na Microdrenagem**. In XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 28 de novembro a 02 de dezembro 1999, Belo Horizonte, MG. Disponível em: http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/Vladimir_Caramori/ESTRUTURAS_%20CONTROLE_ESCOAMENTO_URBANO_MICRODRENAGEM.pdf. Acesso em: 11/02/2009.

DURLO, Miguel Antão; SUTILI, Fabrício Jaques. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. Porto Alegre: EST Edições, 2005.

FARR, Douglas. **Sustainable Urbanism: Urban Design With Nature**. Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2008.

FRANCO, Fernando de Mello; MOREIRA, Marta; BRAGA, Milton. **Vazios de Água**. In Arq.Urb - Revista eletrônica de Arquitetura e Urbanismo. Nº 1, 2008. Disponível em: http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_07_180908.pdf. Acesso em: 21/10/2009.

GERSCOVITCH, Denise Maria Soares. **Estruturas de contenção – Muros de arrimo**. in Notas de aula, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 27/05/2010.

HABIB, Bianca Maria. **Ilustrações** [S.I.s.n.], 2010. (Desenhos elaborados especialmente para ilustração desta dissertação).

HIGUERAS, Ester. **Urbanismo Bioclimático**. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, Espanha, 2006.

HINMAN, Curtis. **Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound**. Olympia, WA: Puget Sound Action Team, 2005.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>. Acesso em: 05/09/2008.

MASCARÓ, Juan Luis; YOSHINAGA, Mário. **Infra-estrutura urbana**. Porto Alegre: Editora Mais Quatro, 2005. 207p.

NETTO, Oscar de Moraes Cordeiro. **Técnicas de Minimização da Drenagem de Águas Pluviais**. In: Seminário Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Organizadas. Apresentação em PoerPoint. São Paulo, 4 e 5 de maio de 2004. Disponível em: http://www.etg.ufmg.br/tim2/tim2-2009-1.htm#DOWNLOADS_DISPON%C3%8DVEIS. Acesso em: 21/02/2009.

NEWMAN, Peter; JENNINGS, Isabella. **Cities as Sustainable Ecosystems – Principles and Praticles**. Islan Press, Washington, USA, 2008.

PMSC/FIPAI. **PróTijuco - Projeto de Recuperação Ambiental das Várzeas Visando o Plano Diretor a Montante da Bacia do Tijuco Preto, São Carlos-SP**. Contrato Administrativo 019/2003.

PRINCE GEORGE’S COUNTY - MARYLAND. Department of Environmental Resources. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. Maryland, 1999. Disponível em: <<http://www.toolbase.org/PDF/DesignGuides/LIDstrategies.pdf>>. Acesso em 04/04/2010.

REIS, Ricardo Paulo Abreu. **Proposição de parâmetros de dimensionamento e avaliação de desempenho de poço de infiltração de água pluvial**. 2005. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

REIS, Ricardo Prado Abreu; OLIVEIRA, Lúcia Helena; SALES, Maurício Martinés. **Sistemas de**

drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. In Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008.

RUANO, Miguel. **ECOURBANISMO, Entornos Humanos Sostenibles: 60 Proyectos.** Editorial Gustavo Gili, AS, Barcelona, 1999.

SILVA, Pedro José da. **Estrutura para identificação e Avaliação de Impactos Ambientais em Obras Hidroviárias.** Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SILVA, Ricardo Siloto da; MAGALHÃES, Horus. **Ecotécnicas Urbanas.** In: Ciência & Ambiente. RS, Ano IV, n.º.7, 1993.

SILVA, Ricardo Siloto da; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. **Urbanismo e saneamento urbano sustentáveis: desenvolvimento de métodos para análise e avaliação de projetos. Método de avaliação definitivo.** 1999. (Relatório de pesquisa)

SILVA, Sandra Regina Mota; SHIMBO, Ioshiaki. **Proposição Básica para Princípios de Sustentabilidade.** In: II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2001, Canela, RS. Anais do I Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2001. v. 1. p. 73-80.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial.** Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de; GOLDENFUM, Joel Avruch. **Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental.** In: TUCCI, Carlos E. M e MARQUES, David M. L. da Motta (org). Avaliação e Controle da Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed Universidade / UFRGS / ABRH, Vol 2, 2001.

SUTILI, Fabrício Jaques ; DURLO, Miguel Antão. **Bioengenharia de solos: o estado da arte na Europa e no Sul do Brasil.** Conselho em revista CREA-RS, Porto Alegre - RS, p. 31 - 31, 01 abr. 2007. Disponível em: <http://www.crea-rs.org.br/crea/pags/revista/32/index.htm>. Acesso em: 01/11/2009.

TAVANTI, Débora Riva. **Desenvolvimento de Baixo Impacto Aplicado ao Planejamento Urbano.** Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

TEIXEIRA, Manuel Alexandre Nunes. **Reposição da Permeabilidade dos Solos - Desafios para o Urbanismo Futuro.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional e Urbano) Departamento de

Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, Faculdade de Engenharia e Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Portugal, 2005.

TOMAZ, Plínio. **BMPs – Best Management Practices**. Livro eletrônico, 2007. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro01v02bmps.pdf>. Acesso em: 14/07/2010.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações Urbanas**. in I SIBRADEN - Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, UFSC. 27 a 30 de setembro de 2004. Florianópolis, SC. Disponível em: http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/SIBRADEN_ET3_TUCCI.pdf. Acesso em 15/01/2009.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Saneamento para Todos - Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das Cidades, outubro de 2005, Brasília, DF. Disponível em: http://www.sedur.ba.gov.br/pemapes/pdf/material_tecnico/PUBLYN2.PDF. Acesso em: 03/02/2009.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Águas Urbanas**. in Estudos Avançados, São Paulo, vol.22, no.63, 2008, pp. 97-112. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 10/02/2009.

UFMG. **Material de Sistemas de Esgotamento Sanitário e Pluvial, Aula: Drenagem**. UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, 2004. Disponível em: http://www.etg.ufmg.br/tim2/tim2-2009-1.htm#DOWNLOADS_DISPON%C3%8DVEIS. Acesso em: 21/02/2009.

ZMITROWICZ, Witold; NETO, Generoso de Angelis. **Infra-Estrutura Urbana**. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/17. São Paulo: EPUSP, 1997.