

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

Anderson Pinto Rossi

**PROJETO DE INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS:
UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES**

Porto Alegre
junho 2014

ANDERSON PINTO ROSSI

**PROJETO DE INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS:
UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES**

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

Orientador: Felipe Krüger Leal

Porto Alegre
junho 2014

PROJETO DE INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS: UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES

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

Porto Alegre, junho de 2014

Prof. Felipe Krüger Leal
Msc. pela PPGRHSA/UFRGS
Orientador

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

BANCA EXAMINADORA

Prof. Juan Martin Bravo (UFRGS)
Dr. pelo PPGRHSA/UFRGS

Diego Silveira Altieri
Msc. pelo PPGRHSA/UFRGS

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Dr. pela Stuttgart Universität, Alemanha

Dedico este trabalho a meus pais, Valmir Renato Rossi e Maria Gládis Pinto Rossi, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela existência e saúde a mim concedida.

Ao Prof. Felipe Krüger Leal, orientador deste trabalho, por todos os conhecimentos transmitidos e pelo tempo dedicado a este trabalho.

A Profa. Carin Maria Schmitt pelas críticas construtivas que serviram de elaboração para um trabalho consistente.

Aos meus pais Valmir Renato Rossi e Maria Gládis Pinto Rossi, pelo amor e educação que me deram.

Ao meu irmão Éverson Pinto Rossi, pelo apoio e incentivo durante toda a vida acadêmica.

A minha namorada Letícia Dias Visentini, pelo amor, paciência e compreensão durante todo o período da graduação.

Aos meus colegas de Engenharia Civil, que graças a eles a faculdade se tornou menos difícil.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e incentivo.

Algo só é impossível até que alguém duvide e resolva
provar ao contrário.

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho acadêmico propõe o uso de telhados verdes em edificações para a atenuação da vazão de pico e do volume total escoado para a rede pública durante uma precipitação qualquer. A partir da revisão bibliográfica abordam-se primeiramente as alternativas para execução do telhado verde, a redução de escoamento e os valores da vazão de projeto. Posteriormente, os métodos para o dimensionamento dos condutores e da reservação necessária para a cobertura com telhado verde. Em conjunto também com a pesquisa bibliográfica foi se buscou a determinação do coeficiente de *runoff* para um telhado verde com modelo extensivo, baseado em dados coletados por pesquisas feitas na cidade de Porto Alegre. Após a determinação foram realizados os cálculos referentes à vazão específica, recomendados da NBR 10844/1989, que por sua vez é função das variáveis intensidade pluviométrica, área de influência e coeficiente de *runoff*. Em seguida, foi realizada a análise para distribuição dos ralos e posicionamento das tubulações de condução horizontais, verticais e da bacia de retenção. Concomitante a alocação dos elementos acima referidos foi iniciado o dimensionamento das tubulações. Para o dimensionamento da reservação da água captada pela cobertura foi seguida a exigência da cidade de Porto Alegre, que segundo o Decreto n. 18611/2014, somente uma parcela de toda a água captada pelas tubulações pode ser canalizada diretamente para as galerias municipais, fazendo com que o restante tenha de ser amortecida antes de ir para a rede pública. Como resultado teve de ser construída uma bacia de retenção com 27,77m³ de capacidade de armazenamento.

Palavra-chave: Telhados verdes. Coeficiente de *runoff*. Esgoto pluvial. Bacia de retenção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa	19
Figura 2 – Bacia de detenção sem benfeitorias	22
Figura 3 – Bacia de detenção após a urbanização	22
Figura 4 – Influência do vento na inclinação da chuva	29
Figura 5 – Indicações de cálculo para área de contribuição	30
Figura 6 – Ábacos para determinação para determinação de condutos verticais	36
Figura 7 – Bacia de amortecimento	38
Figura 8 – Camadas de um telhado verde	44
Figura 9 – Sistema hexa	46
Figura 10 – Sistema alveolar	47
Figura 11 – Sistema laminar	48
Figura 12 – Telhado verde na cobertura da edificação	54
Figura 13 – Áreas de captação	58
Figura 14 – gráfico precipitação x <i>runoff</i>	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critério de avaliação dos dois sistemas de Telhados verdes	43
Quadro 2 – Análise de impermeabilidade	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes da equação das curvas IDF para Porto Alegre	24
Tabela 2 – Chuvas intensas no Brasil (duração 5 min.)	27
Tabela 3 – Coeficientes de rugosidade	32
Tabela 4 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (Q em L/min.)	34
Tabela 5 – Dimensionamento de condutores verticais	35
Tabela 6 – Área de seção transversal dos descarregadores de fundo - circulares	41
Tabela 7 – vazão de projeto para a cobertura analisada	57
Tabela 8 – Áreas de influência	59
Tabela 9 – Dados de escoamento após 3 horas do início da precipitação	60
Tabela 10 – Dados de escoamento após 24 horas do início da precipitação	61
Tabela 11 – Agrupamento das áreas de contribuição	63
Tabela 12 – Diâmetro para os condutores horizontais	65
Tabela 13 – Diâmetro para os condutores verticais	66
Tabela 14 – Cálculo do reservatório de detenção	68
Tabela 15 – Comparativo das tubulações	70
Tabela 16 – Comparativo da bacia de amortecimento	70

LISTA DE SIGLAS

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais

IDF – Intensidade duração e frequência

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RS – Rio Grande do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

i – intensidade pluviométrica (mm/h)

T – período de retorno (anos)

t – duração da chuva (min)

Q – vazão de projeto (L/min)

c – coeficiente de escoamento superficial – *runoff*

A – área de contribuição (m²)

S – área da seção molhada (m²)

n – coeficiente de rugosidade

R_h – raio hidráulico (m)

i_c – declividade da calha (m/m)

Q_s – vazão de saída (L/s)

A_l – área de lote (ha)

V_a – volume de armazenamento (m³)

A_i – percentual de área impermeabilizada do terreno

A_p – área do reservatório em planta (m²)

h – altura do reservatório (m)

D – diâmetro interno do anel cilíndrico (mm)

L – comprimento (m)

H – declividade dos condutores horizontais (mm)

A_c – área de seção transversal de descarga (m²)

h_c – diferença entre o nível máximo de água e o ponto médio da abertura da seção de saída
(m)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
2.2.1 Objetivo principal	17
2.2.2 Objetivos secundários	17
2.3 PREMISSA	18
2.4 LIMITAÇÕES	18
2.5 DELIMITAÇÕES	18
2.6 DELINEAMENTO	18
3 DRENAGEM PLUVIAL	20
3.1 MEDIDAS DE CONTROLE	20
3.2 PRECIPITAÇÃO	23
3.3 CURVAS IDF	23
4. DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS	25
4.1 VAZÃO DE PROJETO	26
4.1.1 Intensidade pluviométrica	27
4.1.2 Área de influência	28
4.1.3 Coefficiente de <i>runoff</i>	31
4.2 CALHAS	31
4.3 CONDUTORES	33
4.3.1 Condutores horizontais	33
4.3.2 Condutores verticais	34
4.4 BACIA DE AMORTECIMENTO	37
5 COBERTURA VERDE	42
5.1 CONSTITUIÇÃO DE UMA COBERTURA VERDE	43
5.1.1 Barreira anti-raiz	44
5.1.2 Camada de drenagem	44
5.1.3 Camada filtrante	44
5.1.4 Substrato	45
5.1.5 Nível de plantas	45
5.2 SISTEMAS DE EXECUÇÃO PARA TELHADOS VERDES	45

5.2.1 Sistema hexa	45
5.2.2 Sistema alveolar	47
5.2.3 Sistem laminar	48
5.3 INFLUÊNCIA DAS COBERTURAS VERDES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	49
5.3.1 Influência mundial dos telhados verdes	49
5.3.2 Telhados verdes no Rio Grande do Sul	50
6 METODOLOGIA DE PROJETO	53
7 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO	56
7.1 VAZÃO DE PROJETO CALCULADA	56
7.1.1 Intensidade pluviométrica calculada	57
7.1.2 Área de influência calculada	58
7.1.3 Coeficiente de <i>runoff</i> calculado	59
7.2 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES	63
7.3 DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE AMORTECIMENTO	67
8 COMPARAÇÃO ENTRE TELHADOS VERDES E TELHADOS CONVENCIONAIS	70
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A	76

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, o adensamento de construções e a mudança radical da paisagem, têm caracterizado o processo de urbanização em escala mundial nas últimas décadas (ARAÚJO, 2007). Essa população hoje reside, em sua maioria, em grandes centros urbanos, gerando assim uma procura por espaço cada vez maior.

Com o aumento das atividades do setor de edificações na construção civil, na última década, o cenário de urbanização vem se acentuado o que causa uma redução da infiltração das águas pluviais na superfície do solo, devido ao aumento das áreas impermeáveis. Essas áreas sofrem impactos ambientais e socioeconômicos negativos decorrentes de eventos hidrológicos, afetando grande parte dessa população. Com isso, o escoamento superficial é intensificado, levando então à ocorrência de enchentes e a frequentes inundações.

Neste contexto, verifica-se, que o emprego de coberturas verdes, também conhecidos como telhados verdes e “ecotelhados”, em várias partes do mundo para contribuição estética e melhoria do conforto termoacústico das edificações. Além desses enfoques, esta solução vem sendo tratada como uma estrutura de controle do escoamento pluvial diminuindo assim a quantidade de água direcionada ao sistema público de captação. Esse enfoque pode ser uma solução para Porto Alegre/RS, que no ano de 2014, emitiu o Decreto n. 18611 para a diminuição do escoamento urbano a fim de diminuir as enchentes e alagamentos devido à impermeabilização do solo na cidade.

No Decreto, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre define que toda ocupação que resulte em superfície impermeável, com área superior a 600m², deve possuir uma vazão de saída para a rede pública pluvial de no máximo 20,8 L/(s.ha). Uma solução entre muitas outras mais efetivas à diminuição desse volume de água é a utilização de telhados verdes em coberturas e lajes descobertas. Por ser uma estrutura vegetal ela tem como principais características a retenção de água através do acúmulo no substrato, da utilização natural pela vegetação e pela evapotranspiração das folhas e solo. No entanto, esta solução não é contemplada no plano diretor de drenagem urbana como alternativa para a diminuição do volume de reservação necessário.

O presente trabalho propõe que seja agregado os telhados verdes no projeto de esgotamento de águas pluviais na cobertura de uma edificação na cidade de Porto Alegre. Esse telhado verde tem as funções de diminuir o volume de água escoado superficialmente e de retardar o escoamento que é direcionado a rede pública de coleta de águas pluviais. O projeto foi elaborado com base nos dados especificados pela NBR 10844/1989, pelo Decreto n. 18611, de 2014, e em pesquisas sobre coberturas verdes.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual é uma solução projetual de captação de águas pluviais para a cobertura de uma edificação, em Porto Alegre, com a utilização de telhados verdes?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a elaboração de um projeto de captação de águas pluviais para a cobertura de uma edificação em Porto Alegre com a utilização de cobertura verde.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) descrição dos tipos de telhado verde existentes;
- b) elaboração das diretrizes para o sistema pluvial em edificações com cobertura verde;
- c) desenvolvimento das diretrizes de cálculo do volume da bacia de contenção.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem como premissa que a utilização de coberturas verdes diminui a vazão de entrada utilizada no projeto de águas pluviais e contribui para a minimização da ocorrência de enchentes urbanas.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a cidade de Porto Alegre devido aos índices pluviométricos utilizados e aos parâmetros definidos no Decreto n. 18611, de 2014.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a edificação deve possuir uma área de captação com mais de 600 m²;
- b) utilização de coberturas verdes extensivas somente em lajes planas;
- c) utilização de planilha eletrônica *Microsoft Excel* para execução de cálculos;
- d) uso do AutoCAD 2010 para apresentação do modelo gráfico;
- e) determinação do escoamento superficial com base em (CASTRO, 2011).

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho iniciou com a **pesquisa bibliográfica** para entendimento geral e compreensão do assunto que foi abordado, sendo que esta pesquisa se estendeu durante toda a execução do trabalho. O principal **objetivo** do projeto é o dimensionamento de tubulações de águas pluviais, a caracterização da cobertura verde e as definições de parâmetros da cobertura verde para o dimensionamento da vazão de projeto utilizada e da bacia de retenção.

Posteriormente foram feitas as **análises prévias** de como os elementos de coleta, condução e reservação iriam ser dispostas na cobertura da edificação e quais os locais que poderiam receber o telhado verde na cobertura. Durante toda a etapa de análise foram feitas inúmeras conformações até se chegar ao posicionamento considerado ideal.

Na etapa de **dimensionamento** foram realizados os cálculos do coeficiente de *runoff*, da intensidade pluviométrica, das áreas de influência e das vazões específicas utilizadas.

Posteriormente foram feitos os dimensionamentos dos elementos de captação, condução e reservação. Como base para o dimensionamento foram utilizadas Normas e Decretos específicos para condução de águas pluviais na Cidade de Porto Alegre.

Também foi realizado o **projeto gráfico** com o intuito de melhor detalhar o projeto visualmente. É neste detalhamento gráfico que as posições dos elementos foram identificadas. Na última parte, foram realizadas as **considerações finais** sobre o trabalho de graduação. Baseado nas etapas realizadas e descritas no diagrama das etapas de pesquisa (figura 1).

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

3 DRENAGEM PLUVIAL

Segundo Riguetto et al. (2009, p. 20), historicamente as cidades formavam-se próximas a cursos d'água e eram nesses locais que normalmente o ser humano encontrava um maior número de recursos para a sua sobrevivência. Com a ocupação massiva desses locais, a população foi se inserindo em áreas cada vez mais distantes, trazendo consigo o desenvolvimento urbano de forma desordenada. Essa ocupação gerou diversos problemas estruturais para as localidades, como alagamentos devido a eventos hidrológicos de alta intensidade, e não somente onde os alagamentos eram naturalmente formados. Ao longo dos anos, passou-se a buscar novas alternativas para modernizar os sistemas de drenagem urbana e minimizar os impactos nos balanços hídricos. Buscou-se, assim, aumentar a aproximação com as características originais destes locais. Essas alternativas são chamadas de medidas de controle.

3.1 MEDIDAS DE CONTROLE

Diante destes problemas ambientais provocados pela urbanização massiva e pelas altas atividades pluviométricas na região Sul do Brasil, algumas medidas são utilizadas para amenizar as consequências dessas cargas. As medidas podem ser divididas em estruturais e não estruturais ou, até mesmo, uma mescla entre essas duas formas (RIGUETTO et al., 2009, p. 21-22).

Conforme Riguetto et al. (2009, p. 21), as medidas estruturais estão relacionadas a obras de Engenharia, que tem por objeto a captação, condução e reservação das águas pluviais. Como principais exemplos destas medidas estruturais se têm:

- a) bueiros;
- b) bocas de lobo;
- c) galerias;
- d) canais;
- e) bacias de detenção;
- f) reservatórios de acumulação.

Riguetto et al. (2009, p. 21) ainda afirmam que as medidas não estruturais integram ações de outras naturezas em que são envolvidas tanto a conscientização popular quanto à redução de problemas de drenagem urbana. As ações mais importantes nas medidas não estruturais são:

Em suma, são ações que integram a gestão das águas pluviais nas sub-bacias que compõem o território urbano de uma cidade, enfocando não somente o problema específico das enchentes, mas, sobretudo, o uso racional do espaço urbano, de forma a se otimizar o bem-estar, a qualidade de vida, a estética e as múltiplas possíveis atividades de utilização do meio ambiente urbano.

Dentre as principais medidas não estruturais os mesmos autores citam:

- a) normas regulamentadoras;
- b) legislações apropriadas;
- c) fiscalização do uso dos espaços urbanos;
- d) manutenção regular das medidas estruturais.

Ainda há medidas em que se utiliza de uma mescla entre as estruturais e as não estruturais. Em Belo Horizonte, foi criada uma obra de contenção para o armazenamento das águas pluviais (figura 2), utilizando-se desse fato foi realizada a revitalização do espaço e inserção de uma praça para melhorar a qualidade de vida da população (figura 3) (RIGUETTO et al., 2009, p. 47).

Figura 2 – Bacia de detenção sem benfeitorias



(fonte: RIGUETTO et al., 2009, p. 47)

Figura 3 – Bacia de detenção após a urbanização



(fonte: RIGUETTO et al., 2009, p. 47)

3.2 PRECIPITAÇÃO

Pinto et al. (1976, p. 7) afirmam que “A formação das precipitações está ligada a ascensão das massas de ar [...]”. Esta ascensão provoca o seu resfriamento condensando-as em forma de minúsculas gotículas de água formando nuvens e nevoeiros.

Conforme Bertoni e Tucci (2012, p. 177), a precipitação é a água proveniente no meio atmosférico, que atinge a superfície terrestre, na forma de chuva, neblina, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve. Para Pinto et al. (1976, p. 7) dentre as formas de precipitação existentes a chuva vem a ser a mais importante, pois a neve não é de tanta constância no País e as outras formas não são de grande importância na contribuição nas cheias dos rios.

A grande diferença entre a chuva e as outras formas de precipitação é que ela pode ser facilmente medida após uma precipitação comum. Bertoni e Tucci (2012, p. 181-182) afirmam que para a medição de chuvas são utilizados parâmetros como:

- a) altura pluviométrica (p): que vem a ser a altura da lâmina média de água que é medida em milímetros de chuva precipitados em um metro quadrado de área, admitindo que a água não infiltre ou evapore. A unidade usualmente utilizada é o milímetro de chuva que corresponde a um litro por metro quadrado de área;
- b) duração: é o período no qual ocorre um a precipitação, normalmente utiliza-se para a contagem do evento medidas como horas e minutos;
- c) intensidade: é a precipitação média por um determinado período de tempo que é expressa normalmente em mm/h;
- d) período de retorno: é o período de anos em que uma chuva em média é igualada ou superada, é expressa em anos.

3.3 CURVAS IDF

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 22) para o método de obtenção da vazão de projeto são utilizadas algumas variáveis, entre elas a precipitação, pois:

A precipitação é a principal informação hidrológica de entrada utilizado no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial. A expressão precipitação de projeto identifica a precipitação utilizada na geração do hidrograma ou vazão de projeto.

Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 23), “As precipitações de projeto são normalmente determinadas a partir de relações intensidade-duração-frequência (curvas IDF) da bacia contribuinte.”. Bertoni e Tucci (2012, p. 201) afirmam que, para determinar uma chuva, se deve observar o comportamento das três relações durante certo período de tempo suficientemente longo.

Ao construir uma curva IDF, deve-se ajustar, a uma distribuição estatística, os maiores valores anuais de precipitação aos seus próprios tempos de duração. O método segundo Bertoni e Tucci (2012, p. 202), segue o seguinte roteiro:

Para cada duração são obtidas as precipitações máximas anuais com base nos dados do pluviógrafo; para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição estatística; dividindo a precipitação pela sua duração obtém-se a intensidade; as curvas resultantes são a relação IDF.

Bertoni e Tucci (2012, p 203) mostram que se pode obter os valores de intensidade por meio de equações, conforme a fórmula 1 que mostra as curvas IDF:

(fórmula 1)

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d}$$

Sendo:

i = intensidade (mm/h);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

a, b, c, d = parâmetros calculados para Porto Alegre (tabela 1).

Tabela 1 – Coeficientes da equação das curvas IDF para Porto Alegre

Cidade	a	b	c	d
Porto Alegre (Redenção)	1265	$0,88/Tr^{0,05}$	12	0,052
Porto Alegre (IPH)	509,859	0,72	10	0,196
Porto Alegre (Aeroporto)	748,342	0,803	10	0,191
Porto Alegre (8°D.Met.)	2491,78	1,021	16	0,192

(fonte: adaptado de BERTONI; TUCCI, 2012, p. 206)

4 DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS

A principal função das instalações prediais de águas pluviais é a condução dessas águas, o mais rapidamente possível, para o seu destino final que são rios, lagos e mares com o objetivo de evitar inundações (MACINTYRE, 1982, p. 293). De acordo com Creder (1972, p. 279):

O projeto das redes de águas pluviais em edifícios deve fixar desde a tomada das águas, normalmente através dos ralos na cobertura e nas áreas, a passagem da tubulação em todos os pavimentos, a ligação das colunas de águas pluviais às caixas de areia no térreo, além da ligação do ramal predial à rede pública de águas pluviais. A posição das colunas de águas pluviais e seu diâmetro podem ser marcadas na mesma planta dos esgotos sanitários [...].

Segundo a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), as áreas de coleta de águas pluviais são normalmente coberturas e demais áreas associadas ao edifício, tais como terraços, pátios, quintais e similares. Toda precipitação coletada deve ser destinada a instalações específicas, que se destinam exclusivamente ao recolhimento e condução das águas pluviais, não se admitindo quaisquer interligações com outras instalações prediais, principalmente com o esgoto cloacal.

Cabe ao projetista hidrossanitário, ao projetar um sistema de recolhimento de águas pluviais, a função de prever as localizações dos ralos, das descidas, das tubulações e das caixas de areia para o despejo na rede pública (CREDER, 1972, p. 277). Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), o projetista deve ainda seguir uma série de conformidades para o projeto, dentre elas:

- a) recolhimento e condução da vazão de projeto até locais permitidos pelos dispositivos legais;
- b) as instalações devem ser totalmente estanques;
- c) ser de fácil acesso a limpeza e desobstrução da instalação;
- d) ser constituídas de materiais resistentes a possíveis choques mecânicos;
- e) ser resistente a intempéries;
- h) ser isolada acusticamente;
- i) possuir resistência a pressões internas;
- j) ser fixadas de maneira a assegurar resistência e durabilidade.

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), as superfícies horizontais, como lajes e terraços, devem ser projetadas com caimentos para que não se tenha acúmulo de água formando poças. Esses caimentos devem ser direcionados para os ralos. Pode ser apenas um ralo utilizado para o esgotamento ou mais de um, dependendo do tamanho da superfície a ser esgotada.

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), fica a cargo do projetista, a definição da vazão de projeto a ser utilizada. O dimensionamento das instalações compreende desde a coleta, condução até a reservação das precipitações atuantes.

4.1 VAZÃO DE PROJETO

O dimensionamento de uma instalação de águas pluviais inicia-se com o cálculo da vazão de projeto utilizada. Conforme Del Conti e Graça (1993, p. 2) para o cálculo da vazão de projeto é utilizado o método racional dado pela fórmula 2:

(fórmula 2)

$$Q = \frac{c i A}{3600}$$

Sendo:

Q = vazão de projeto (L/s);

c = coeficiente de escoamento superficial – *runoff*;

A = área de contribuição (m²);

i = intensidade pluviométrica (mm/h);

O cálculo da vazão de projeto é realizado através de três incógnitas. Dentre elas apenas o coeficiente de *runoff* pode ser modificada com a ação humana já que a área de contribuição é um valor fixo e a intensidade pluviométrica vem a ser um valor que depende da ação da natureza e da localização da edificação.

4.1.1 Intensidade pluviométrica

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), para fins de projeto a determinação da intensidade pluviométrica i , “Deve ser feita a partir da fixação de valores adequados para a duração de precipitação e o período de retorno.”. Contudo tomam como base os dados pluviométricos locais. A tabela 2 é a principal fonte de dados sugerida sobre intensidade pluviométrica, para fins de projetos de esgotamento de águas pluviais normalizadas no Brasil.

Tabela 2 – Chuvas intensas no Brasil (duração 5 min)

LOCAL	Intensidade Pluviométrica (mm/h)		
	Período de Retorno (anos)		
	1	5	25
Alegrete/RS	174	238	313
Bagé/RS	126	204	234
Caxias do Sul/RS	120	127	218
Cruz Alta/RS	204	246	347
Curitiba/PR	132	204	228
Encruzilhada/RS	106	126	158 (17)
Florianópolis/SC	114	120	144
Iraí/RS	120	198	228 (16)
Passo Fundo/RS	110	125	180
Porto Alegre/RS	118	146	167 (18)
Rio Grande/RS	121	204	222(20)
Santa Maria/RS	114	122	145(16)
Santa Vitória do Palmar/RS	120	126	152(18)
São Luiz Gonzaga/RS	158	209	253 (21)
Uruguaiana/RS	120	142	161 (17)
Viamão/RS	114	156	210

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 11-12)

As chuvas de grande intensidade possuem pequenas durações e chuvas prolongadas são de pequena intensidade. Para o projeto, devem ser consideradas sempre as chuvas mais intensas, pois são as chuvas que precisam de maior drenagem por serem precipitações elevadas em curtos espaços de tempo (MACINTYRE, 2013, p. 209).

Segundo NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), a duração de precipitação pluvial deve ser fixada em $t = 5$ min, quando o tempo de concentração não pode ser estimado com precisão. O período de retorno por sua vez, é o

tempo que leva em média para um evento ser igualado ou superado, deve ser fixado segundo características da edificação:

- a) $T = 1$ ano, para áreas pavimentadas, nas quais empoçamentos possam ser tolerados;
- b) $T = 5$ anos, para coberturas e/ou terraços;
- c) $T = 25$ anos, para coberturas e áreas em que empoçamentos ou extravasamentos não possam ser tolerados.

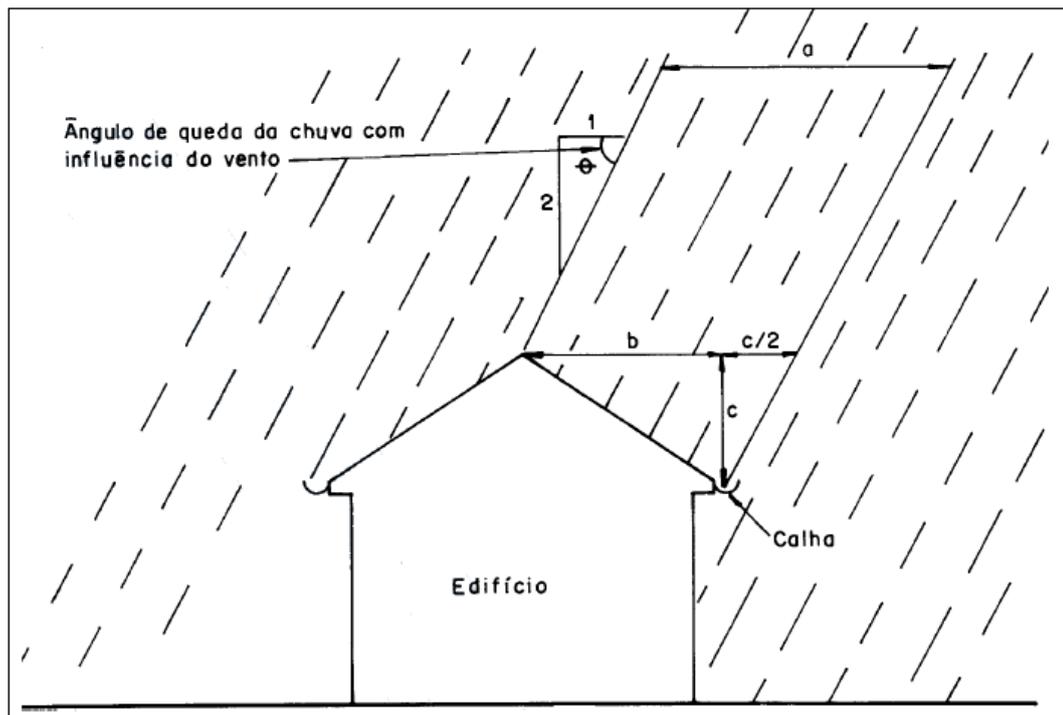
A NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3) afirma que quando forem conhecidos, com precisão, valores de tempo de concentração e houver dados de intensidade pluviométrica correspondentes, pode-se fazer o uso deles. Para obras especiais, com mais de 100m², devem ser utilizados esses dados de precipitação, pois são obras que possuem períodos de retorno diferentes. No entanto, “Quando as construções forem de pequena escala, ou seja, de menos de 100 m² de área impermeável pode ser adotar a intensidade igual a 150 mm/h.”.

4.1.2 Área de influência

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3), para se achar a vazão a ser escoada uma das incógnitas é a área de influência à precipitação. Nesse cálculo alguns elementos como paredes e muretas devem ser considerados no cálculo, assim como a inclinação de telhados e terraços conforme as figuras 4 e 5. De acordo com Del Conti e Graça (1993, p. 5):

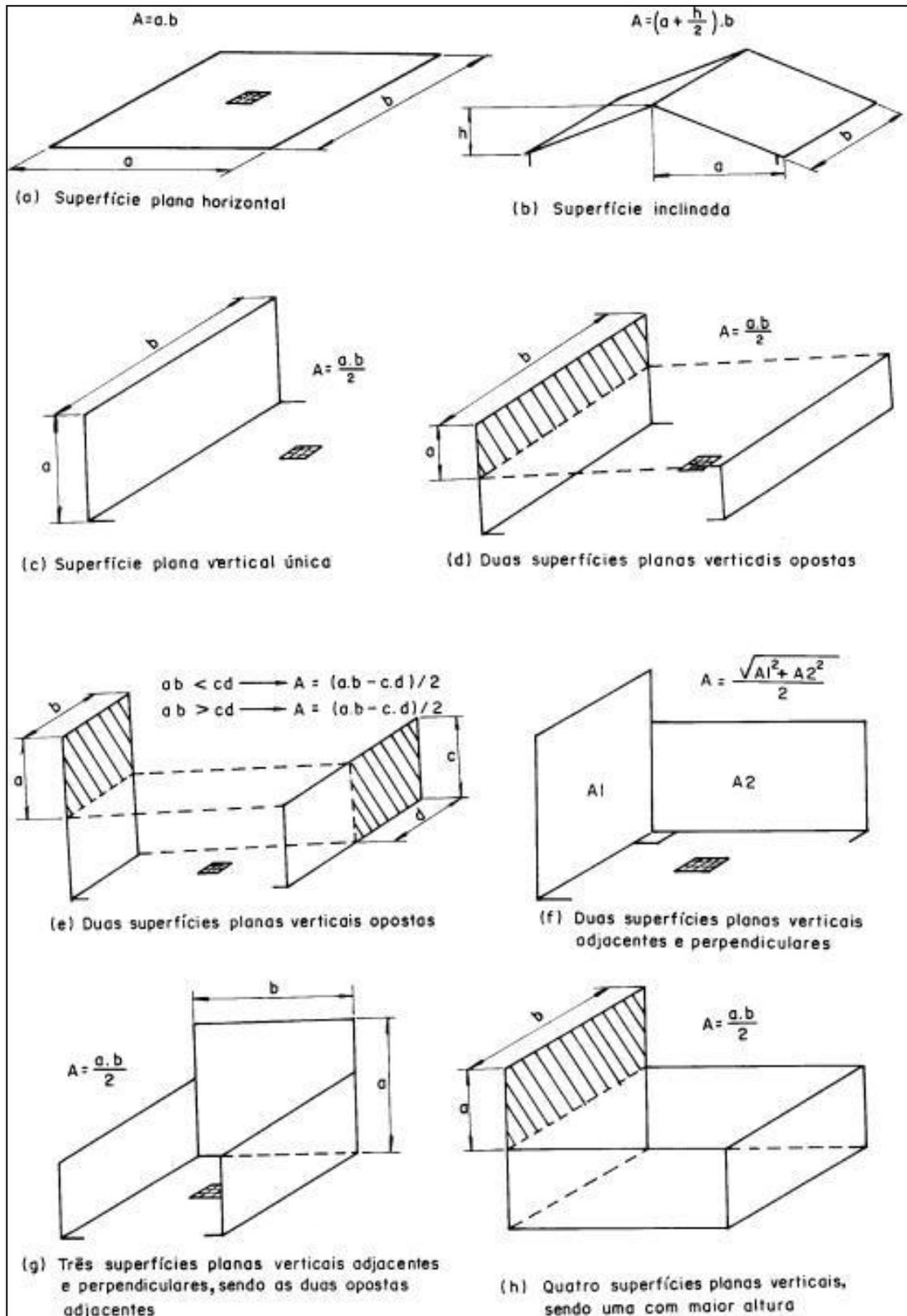
A área de contribuição resulta da soma das superfícies horizontais e percentagens das superfícies verticais e inclinadas que contribuem para uma mesma seção de esgotamento e com a mesma intensidade. A consideração de superfícies verticais e inclinadas se deve ao fato de que a chuva desce inclinada devido à ação do vento.

Figura 4 – Influência do vento na inclinação da chuva



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 4)

Figura 5 – Indicações de cálculo para área de contribuição



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 5)

4.1.3 Coeficiente de *runoff*

Segundo Carvalho e Silva (2006, p. 95), em alguns trabalhos o coeficiente de *runoff* ou de deflúvio não é citado, pois esses autores já afirmam que o telhado tem o percentual de escoamento superficial igual a 100%, ou seja, os telhados, coberturas e pátios são totalmente impermeáveis e seu coeficiente de *runoff* é igual a 1. Como definição, tem que “O coeficiente *runoff*, ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado.”. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo em que várias chuvas ocorreram (CARVALHO; SILVA, 2006, p. 97).

4.2 CALHAS

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6), a calha é um elemento que conduz as águas pluviais de telhados e de coberturas a um ponto de destino. Creder (1972, p. 279) e Macintyre (2013, p. 209) afirmam que as calhas normalmente são fabricadas de materiais como:

- a) PVC rígido;
- b) concreto alisado;
- c) cobre;
- d) alvenaria de tijolos;
- e) aço galvanizado;
- f) fibra de vidro.

A NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) indica que as calhas de beiral devem ser fixadas em toda a sua extensão e principalmente nas suas extremidades e em seu centro, de modo que fique bem presa a ponto de não ruir com as solicitações que serão impostas pela massa da água. A inclinação das calhas deve ser o mais uniforme possível para evitar empoçamentos e manter o escoamento o mais laminar possível, essa inclinação possui um valor mínimo de 0,5%.

Para o dimensionamento de calhas podem ser usadas fórmulas da hidráulica de canais ou tabelas e ábacos previamente calculados conforme os materiais e as condições de utilização (MACINTYRE, 1982, p. 296). Segundo a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6), utiliza-se a equação de Manning-Strickler, conforme a fórmula 3, para o dimensionamento de calhas:

(fórmula 3)

$$Q = K \frac{S}{n} Rh^{2/3} ic^{1/2}$$

Sendo:

Q = Vazão de projeto (L/min);

S = área da seção molhada (m²);

n = coeficiente de rugosidade (tabela 3);

Rh = raio hidráulico (m);

ic = declividade da calha (m/m);

K = 60.000.

Tabela 3 – Coeficientes de rugosidade

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

Macintyre (2013, p. 209 - 210) afirma que as calhas são comumente encontradas nas formas semicirculares e retangulares, mas para o seu dimensionamento somente deve ser ajustado o raio hidráulico de cada uma delas. Conforme Creder (1972, p. 280) algumas calhas também são encontradas com seções em formatos diferenciados como:

- a) formato de V;
- b) formato de U;
- c) quadradas;
- d) ovais.

4.3 CONDUTORES

De acordo com Macintyre (1982, p. 298-299):

Usa-se designar por condutores aos tubos que conduzem as águas pluviais dos telhados, terraços e áreas abertas a caixas de areia, a partir das quais as águas são conduzidas ao local de lançamento por coletores. Esses coletores, quando de diâmetro pequeno, ainda são designados por condutores de águas pluviais. O local de lançamento pode ser um coletor público, uma galeria de águas pluviais, uma caixa de ralo na via pública, um canal ou rio.

Os condutores são divididos em duas classes principais: horizontais, que são instalados quase paralelos ao plano horizontal, e os verticais, que são instalados perpendiculares ao plano horizontal. Esses condutores são responsáveis pela condução das águas das calhas até a reservação.

4.3.1 Condutores horizontais

Segundo Macintyre (1982, p. 299), a definição de condutores horizontais parte do princípio que:

Os condutores de terraços, áreas abertas, pátios etc. são denominados “horizontais” quando sua declividade é pequena. Em geral são dimensionados para trabalhar a $2/3$ do diâmetro, com a declividade necessária e suficiente para escoar com velocidade aconselhável, vencendo a perda de carga.

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 9), para o dimensionamento dos condutores horizontais assim como as calhas eles devem ser projetados com uma declividade uniforme cujo valor mínimo é de 0,5 %. Enquanto que para o dimensionamento deve levar em conta que a altura da lâmina d’água dentro da tubulação deve ser igual a $2/3$ do diâmetro interno do tubo

Segundo a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6), em toda tubulação aparente devem ser previstas locais nos quais possam ser inspecionadas as instalações. Alguns exemplos são nos trechos em que se tem:

- a) conexões com outras tubulações;
- b) mudanças de declividade;
- c) mudanças de direção;
- d) a cada 20 m em trechos retilíneos.

Nas tubulações enterradas são previstas caixas de areia nos locais em que houver quaisquer uma das mudanças acima citadas. A ligação entre os condutores verticais e horizontais deve ser feita por curvas de raio longo para evitar danos às tubulações.

O método de dimensionamento de condutores horizontais é bem parecido com o dimensionamento de calhas, levando-se em conta apenas que os condutores em sua maioria são circulares. O dimensionamento de condutores horizontais pode ser feito com a ajuda de tabelas, conforme a tabela 4 que auxiliam na indicação de:

- a) materiais conforme a rugosidade;
- b) declividade de instalação;
- c) vazões de projeto;
- d) diâmetro interno das tubulações.

Tabela 4 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (Q em L/min)

Diâmetro interno (D) (mm)		n=0,011				n=0,012				n=0,013			
		inclinação											
		0,5%	1,0%	2,0%	4,0%	0,5%	1,0%	2,0%	4,0%	0,5%	1,0%	2,0%	4,0%
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
6	200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
7	250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
8	300	49	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 9)

4.3.2 Condutores verticais

Segundo Macintyre (2013, p. 211), a definição de um condutor vertical parte do princípio de que “O condutor vertical pode ser ligado na sua extremidade superior diretamente a uma calha (caso de telhados), ou receber um ralo quando se trata de terraços ou calhas largas, onde seja de recear a obstrução do condutor por folhas, papéis, trapos e detritos diversos.”. Macintyre (2013, p. 211) também define que para o esgotamento de lajes planas pode ser utilizada a tabela 5, pois esse tipo de tabela já leva em consideração a obstrução das grelhas dos ralos. A

tabela 5 mostra o esgotamento de áreas planas em função da inclinação da laje e do diâmetro da tubulação utilizada.

Tabela 5 – Dimensionamento de condutores verticais

Diâmetro do condutor (pol.)	Área máxima de cobertura esgotada por um condutor de águas pluviais (m ²)			
	Declividade			
	0,5%	1%	2%	4%
2"	–	–	32	46
3"	–	69	97	139
4"	–	144	199	288
5"	167	255	334	502
6"	278	390	557	780
8"	548	808	1105	1816
10"	910	1412	1807	2824

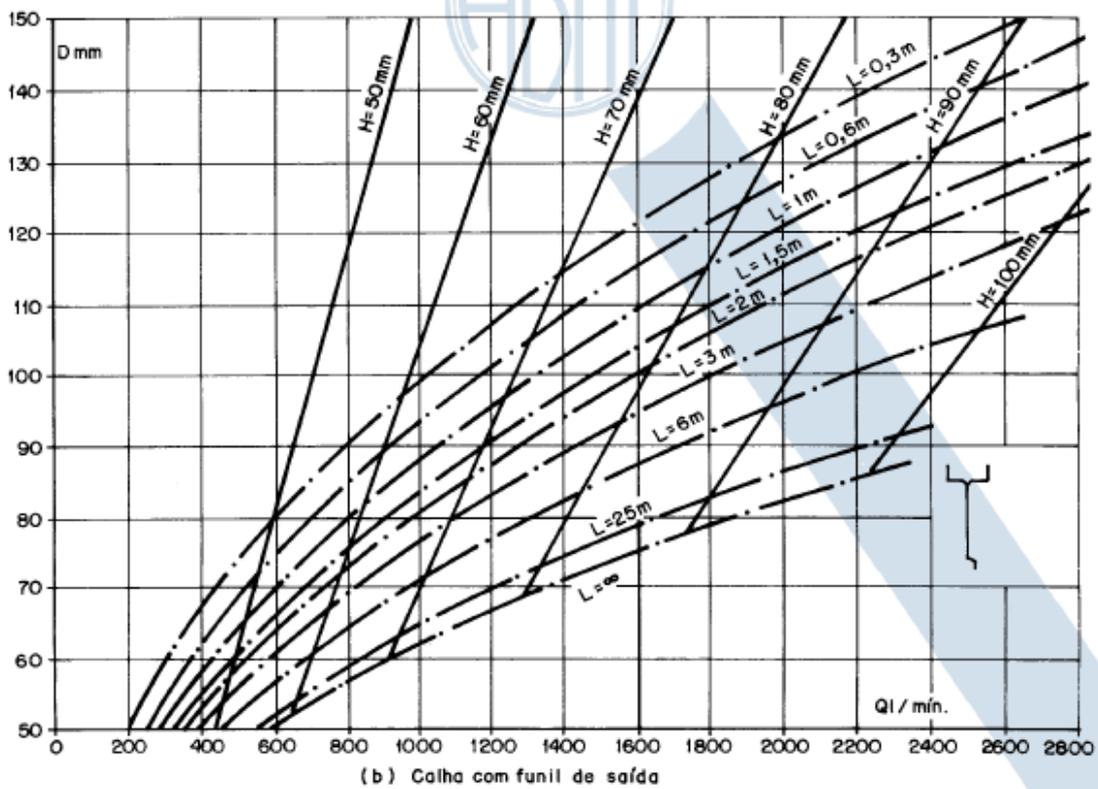
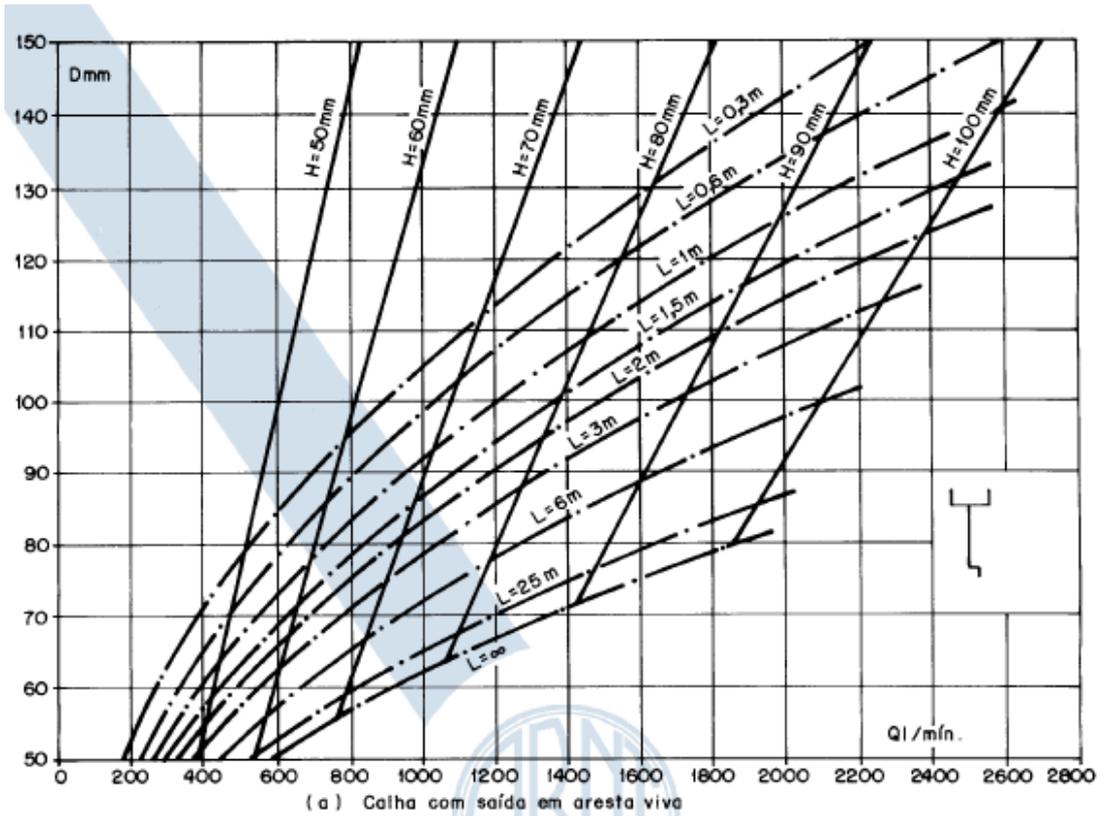
(fonte: MACINTYRE, 2013, p. 212)

Após serem coletadas por calhas ou por ralos as águas são direcionadas para os condutores verticais, que em muitas vezes é preferível que sejam divididos em vários tubos de diâmetro pequeno do que apenas um tubo de um diâmetro elevado (CREDER, 1972, p. 282). Esses condutores devem ser projetados em apenas uma prumada e se houver a necessidade de desvios, devem ser utilizadas curvas de 90° em raios longos ou com curvas de 45° prevendo-se pontos de inspeção nos locais designados. Ao serem dispostas na edificação as tubulações podem ser colocadas tanto internamente na edificação, por meio de *shafts*, quanto externamente não havendo nenhum prejuízo técnico com essa disposição.

Para Macintyre (1982, p. 299), no dimensionamento de um condutor vertical não se utiliza a tubulação a seção plena, essa afirmação não pode ser verdadeira devido ao fato de que na entrada dos ralos se tem uma perda de carga que só é determinada experimentalmente. Por esse motivo são utilizados ábacos e tabelas para o seu dimensionamento através do diâmetro da tubulação utilizada. A NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 9) mostra duas formas de dimensionamento para condutores verticais com ábacos, conforme a figura 6, que são:

- a) com saída de aresta viva;
- b) com funil de saída.

Figura 6 – Ábacos para determinação de diâmetros de condutos verticais



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 8)

4.4 BACIA DE AMORTECIMENTO

A impermeabilização do solo realizada por construções é o principal fator do aumento na frequência de inundações. Sendo que a capacidade de infiltração das bacias hidrográficas urbanas está diminuindo devido ao uso de técnicas construtivas que promovem a impermeabilização do solo.

Toda precipitação recolhida por uma edificação que possuir as condicionantes necessárias pelo Decreto n. 18.611 deve ser destinada a uma bacia de contenção. Em superfícies urbanas, o escoamento possui um tempo de concentração baixo devido as áreas dos lotes serem pequenas, fazendo com que as vazões de pico sejam muito altas e que com o armazenamento se tenha uma redução considerável nesta vazão durante as descargas (PORTO ALEGRE, 2005, p. 64). Para esse armazenamento podem ser utilizados além de bacias de amortecimento pequenos reservatórios espalhados pelo lote. (PORTO ALEGRE, 2005, p. 67).

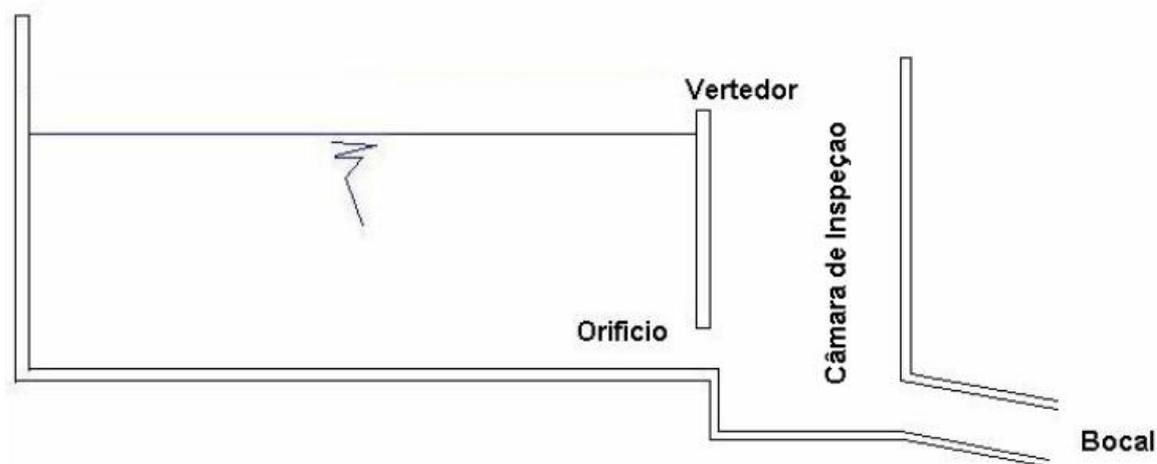
Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 67), muitos podem ser os modelos de reservação para detenção em uma edificação. As condições básicas de seu dimensionamento são:

- a) vazão de saída;
- b) volume para controle da vazão de saída;
- c) cota da rede pública pluvial;
- d) cota de saída do reservatório.

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 67), a cota da rede pluvial pública delimita a altura da tubulação de saída do reservatório de detenção. Essa cota da rede pública deve estar abaixo do reservatório para não haver problemas de entrada de água da rede para o reservatório, considerando ainda a declividade para o escoamento. Os reservatórios de detenções devem possuir (figura 7):

- a) orifício de descarga;
- b) câmara de inspeção;
- c) vertedor.

Figura 7 – Bacia de amortecimento



(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 70)

A partir de 09 de abril de 2014, a Prefeitura Municipal de Porto Alegre instituiu o Decreto n. 18611, que dispõe uma série de recomendações quanto à drenagem urbana municipal. Dentre eles as edificações que possuem uma área superior a 600 m² devem condicionar todo o volume precipitado na edificação e poderão somente possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de águas pluviais igual a 20,8 (L/s ha). Toda a água acumulada em hipótese alguma pode ser drenada para as ruas ou sarjetas com a exceção das águas precipitadas em áreas de recuo que fiquem mantidas como áreas verdes (PORTO ALEGRE, 2014).

Para a determinação da vazão máxima de saída do lote utiliza-se a fórmula 4 (PORTO ALEGRE, 2005, p. 68):

(fórmula 4)

$$Q_s = 20,8 \cdot A_l$$

Sendo:

Q_s = vazão de saída (L/s);

A_l = área do lote (ha);

Em edificações nas quais a área impermeabilizada não ultrapassar os 100 ha, deve ser utilizada a fórmula 5 para a determinação do volume a ser armazenado (PORTO ALEGRE, 2005, p. 68):

(fórmula 5)

$$Va = 4,25 \cdot Al \cdot Ai$$

Sendo:

Va = volume de armazenamento (m³);

Ai = percentual de área impermeável do terreno;

Al = área do lote (ha).

Para a o armazenamento podem ser utilizados reservatórios em diversos formatos aonde o dreno vem a ser o limite da altura para a consideração do volume útil. Conforme a bibliografia “o dreno é o limitante, e deverá ter como vazão de saída igual ou menor que é permitido para a área do terreno.” (PORTO ALEGRE, 2005, p. 68).

Muitas vezes, o reservatório é instalado em locais como estacionamentos ou subsolos que possuem uma altura disponível que deve ser respeitada. Conforme a bibliografia “esta altura corresponde à diferença entre a cota de fundo do reservatório e a cota de topo da estrutura.”. Para a determinação da área em planta que o reservatório ocupa é utilizada a fórmula 6 (PORTO ALEGRE, 2005, p. 69):

(fórmula 6)

$$A_p = \frac{V_a}{h}$$

Sendo:

A_p = área em planta do reservatório (m^2);

V_a = volume de armazenamento (m^3);

h = altura do reservatório (m);

O orifício de descarga do reservatório deve ser instalado na parte inferior, evitando assim acúmulos de água no reservatório. O orifício pode apenas ser uma abertura na estrutura, como também um tubo que faça a passagem da água para a câmara de inspeção e limpeza, e o posterior despejo na rede pluvial pública. É importante também que esse orifício seja provido de uma tela para conter sujidades (PORTO ALEGRE, 2005, p. 69).

Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PORTO ALEGRE, 2005, p. 70), para determinar a área da seção transversal do tubo de descarga é utilizada a formula 7. Quando forem utilizadas tubulações circulares pode-se verificar na tabela 6 o diâmetro equivalente a área de seção transversal. Na utilização de diâmetros comerciais deve ser utilizado sempre o diâmetro imediatamente anterior ao valor encontrado:

(fórmula 7)

$$A_c = \frac{0,37 \cdot Q_s}{\sqrt{h_c}}$$

Sendo:

Q_s =vazão de saída (L/s);

A_c = área da seção transversal de descarga (m^2);

h_c = diferença de nível entre o nível máximo de água e o ponto médio da abertura da seção de saída (m).

Tabela 6– Área de seção transversal dos descarregadores de fundo – circulares

Área (m ²)	Diâmetro comercial (mm)
0,00049	25
0,00071	30
0,0008	32
0,00126	40
0,00196	50
0,00283	60
0,00785	100
0,01766	150
0,0314	200
0,07065	300
0,1256	400
0,19625	500
0,2826	600
0,38465	700
0,5024	800

(fonte: PORTO ALEGRE, 2006, p. 70)

5 TELHADO VERDE

Utilizados há milhares de anos com o objetivo estético os telhados verdes também começaram a ser utilizadas com outras finalidades a partir da metade do século XX (HENEINE, 2008, p. 11). Castro (2011, p. 31) define os telhados verdes como sendo:

Os ecotelhados, telhados verdes ou telhados vivos são estruturas que se caracterizam pela aplicação de cobertura vegetal nas edificações, utilizando impermeabilização e drenagem adequadas. Consistem basicamente em uma camada de vegetação, uma camada de substrato (onde a água é retida e a vegetação é escorada) e uma camada de drenagem responsável pela retirada de água adicional.

Nakamura (2011, p. 94) assegura que os telhados verdes, além de reduzirem os problemas com drenagem urbana nas cidades, ainda atuam como isolantes termoacústico e absorvem o gás carbônico proporcionando uma melhor qualidade do ar. Devido a suas qualidades, no Brasil, os telhados verdes começam a ganhar maior notoriedade graças a certificados ambientais. A presença de telhado verde na cobertura de um edifício pode somar até 15 pontos em 45 necessários para a obtenção de certificações ambientais, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) que é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para certificações.

O aumento das tecnologias construtivas e o desenvolvimento de novos materiais favorecem a maior integração entre as plantas e a edificação. Dentre estas técnicas surgiram módulos pré-fabricados compostos por bandejas preenchidas com substrato e plantas pré-cultivadas que são apenas depositadas sobre a cobertura já impermeabilizada (NAKAMURA, 2011, p. 94)

Os métodos construtivos estão divididos basicamente entre dois tipos de telhados verdes existentes, que são os extensivos e os intensivos. Os telhados verdes extensivos se caracterizam por ter um substrato variável entre 5 e 15 cm com uma vegetação composta especificamente por gramíneas e por não necessitarem de uma manutenção constante. Os telhados verdes intensivos têm substratos maiores que 15 cm de profundidade, são compostos de vegetação de médio a grande porte e necessitam de manutenção constante. Por possuir uma maior profundidade de substrato e, conseqüentemente, armazenar mais água, é necessário que em coberturas com telhados verdes intensivos sejam previstos reforços estruturais que

suportem tais solicitações. O quadro 1 mostra um comparativo entre os telhados extensivos e os intensivos (HENEINE, 2008, p. 20-21).

Quadro 1 – Critério de avaliação dos dois sistemas de telhados verdes

	Telhado verde extensivo	Telhado verde intensivo
Manutenção	baixa	Alta
Irrigação	não	regularmente
Plantas comunitárias	Musgos-Sedum- Herbáceas e Gramas	Gramado Perene, Arbustos e Árvores
Sistema de altura desenvolvida	50 - 150 mm	< 150 mm
Peso	60 - 150 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
Custo	baixo	Alto

(fonte: HENEINE, 2008, p. 21)

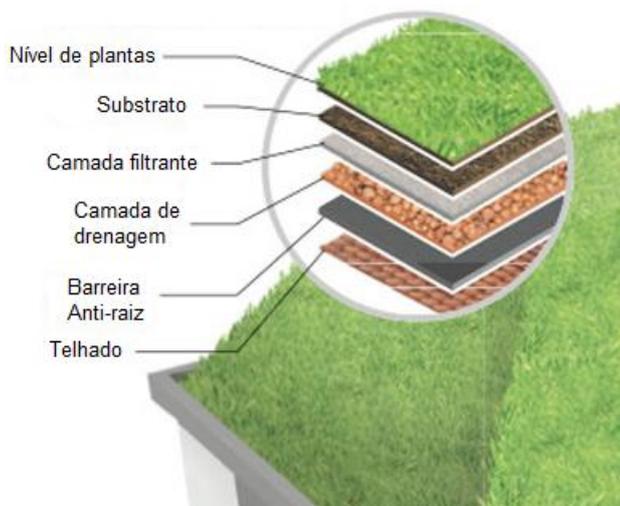
Conforme observado no quadro acima os telhados verdes extensivos apresentam uma menor manutenção, um peso e um custo mais baixo em comparação com telhados verdes intensivos. Enquanto que os telhados verdes intensivos se destacam pela variabilidade de plantas que podem ser inseridas no telhado e a maior tendência de armazenamento de água devido a altura de substrato.

Os telhados verdes ultimamente são constituídos de diversos materiais e mantas para um melhor desempenho, tanto na fixação das plantas quanto para uma melhor absorção das águas. Esse tipo de constituição acaba tendo certa influência no escoamento superficial.

5.1 CONSTITUIÇÃO DE UMA COBERTURA VERDE

Segundo Heneine (2008, p. 25), para o telhado verde deve-se providenciar um local que proporcione um ambiente o mais natural possível para as plantas. Para isto as coberturas verdes são compostas por uma série de camadas funcionais, entre elas se tem: a barreira anti-raiz, a camada de drenagem, a camada filtrante, o substrato e o nível de plantas (figura 8).

Figura 8 – Camadas de um telhado verde



(fonte: ECOTELHADO, 2010)

5.1.1 Barreira anti-raiz

As plantas possuem raízes que crescem em todo o substrato da cobertura verde. A barreira anti-raiz é a camada que impede que as raízes das plantas entrem em contato com a estrutura de concreto ou com a impermeabilização e abram microfissuras na edificação, evitando assim falhas no sistema de impermeabilização (HENEINE, 2008, p. 25).

5.1.2 Camada de drenagem

Heneine (2008, p. 25-26) atesta que “A camada de drenagem permite que o excesso d’água escoe para os drenos.”. Essa camada possui outras funções como: armazenamento de água e aeração para as raízes. As camadas de drenagem são constantemente construídas com plásticos e borrachas, mas também podem ser utilizados cascalhos e argilas expandidas.

5.1.3 Camada filtrante

A camada filtrante faz a interface entre o substrato e a camada de drenagem. A principal função da camada filtrante é evitar que partículas pequenas argilosas penetrem na camada de drenagem, são muito utilizadas para essa proteção às membranas fibrosas (HENEINE, 2008, p. 26).

5.1.4 Substrato

Conforme Heneine (2008, p. 26), “O meio crescente é à base do telhado verde. Uma profundidade suficiente para a zona das raízes tem que estar disponível bem como um adequado abastecimento de nutrientes e um bom balanceamento da relação água-ar.”. A profundidade do substrato depende do tipo de telhado verde a ser utilizado, além de ser uma camada de retenção de água, pois quanto maior a sua profundidade maior a retenção de água.

5.1.5 Nível de plantas

Conforme Heneine (2008, p. 26-27), no nível ficam as plantas selecionadas conforme o tipo de plantação, profundidade do substrato e clima da região na qual é instalada a cobertura. Estas plantas desenvolvem uma função ecológica de retenção de água e diminuição da vazão de água escoada superficialmente.

5.2 SISTEMAS DE EXECUÇÃO PARA TELHADOS VERDES

Há hoje no mercado diferentes tipos de sistemas para coberturas verdes. Dentre eles os mais comuns, em Porto Alegre, são os modelos fabricados pela empresa Ecotelhado®. Estes sistemas são:

- a) hexa;
- b) alveolar;
- c) laminar.

5.2.1 Sistema Hexa

Conforme Ecotelhado (2010a, p. 2), o sistema hexa é sistema modular bastante uniforme, prático e sem emendas. São utilizados em lajes impermeabilizadas e telhados, conferindo a cobertura características como:

- a) alta capacidade de armazenamento e retenção de água;
- b) aparência uniforme;
- c) grande durabilidade;

- d) baixo peso;
- e) fácil transporte
- f) facilidade de instalação;
- g) perfeito encaixe entre módulos;
- h) baixo custo de transporte.

O modelo hexa possui módulos com altura de 7cm e uma largura de 25cm conforme figura 9 . Estes módulos são compostos de plástico reciclado com uma espessura igual a 1,5mm e cada módulo possui uma área igual a 0,1624m², com um aproveitamento de 6,16 peças por m². O sistema também apresenta uma carga estrutural de 61kg/m² quando saturado, além de uma reserva de água de 25 litros por m² e possui um substrato de 3,5cm que pode variar (ECOTELHADO, 2010a, p. 2)

Figura 9 – Sistema hexa



(fonte: ECOTELHADO, 2010a, p. 6)

Para instalação do sistema a laje ou o telhado em que será inserido o modelo hexa deve estar impermeabilizado e isento de qualquer tipo de sujeira. Primeiramente deve ser instalada a cobertura anti-raiz, essa deve estar esticada no local onde o sistema é instalado, após a camada drenante e posteriormente os módulos hexa devem ser encaixados. A vegetação pode ser

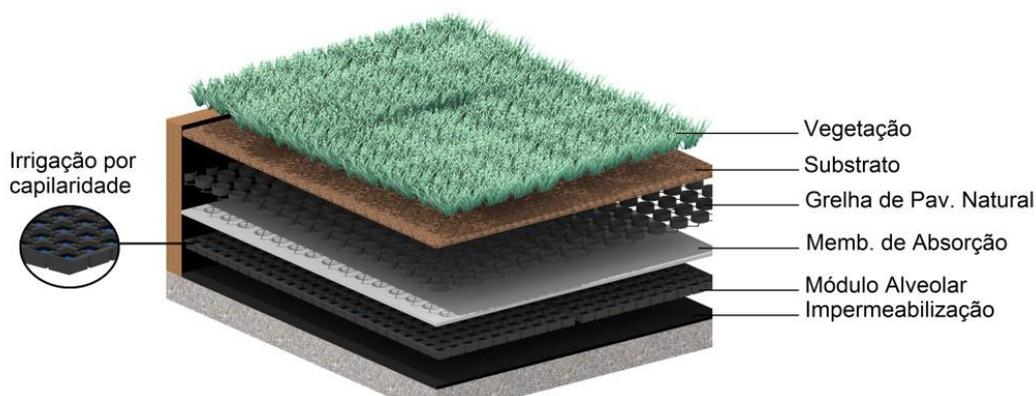
plantada posteriormente ou anteriormente a montagem dos módulos (ECOTELHADO, 2010a, p. 4).

5.2.2 Sistema Alveolar

O sistema alveolar é bastante parecido com o sistema hexa tanto que apresenta as mesmas características, no entanto o sistema alveolar possui uma carga de estrutural menor de aproximadamente 50kg/m² e se faz necessário também o encaixe dos módulos. Estes módulos possuem uma altura de 1,5cm além de 140cm de comprimento e 115cm de largura, cobrindo uma área total de 1,6m² por módulo. Os módulos apresentam pequenas câmaras que tem por finalidade a reservação de água (ECOTELHADO, 2010b, p. 2).

Conforme Ecotelhado (2010b, p. 7), a instalação do sistema alveolar é bastante parecido com o sistema hexa, assim como nos outros sistemas a instalação só acontece em lajes impermeabilizadas e isentas de sujidades. Além de todas as etapas que são realizadas no sistema Hexa, no sistema Alveolar deve ser instalada uma camada filtrante acima dos módulos fazendo com que só possa ser inserido o substrato e a vegetação após todos os módulos estarem posicionado acima da camada anti-raiz e da camada drenante como na figura 10.

Figura 10 – Sistema alveolar

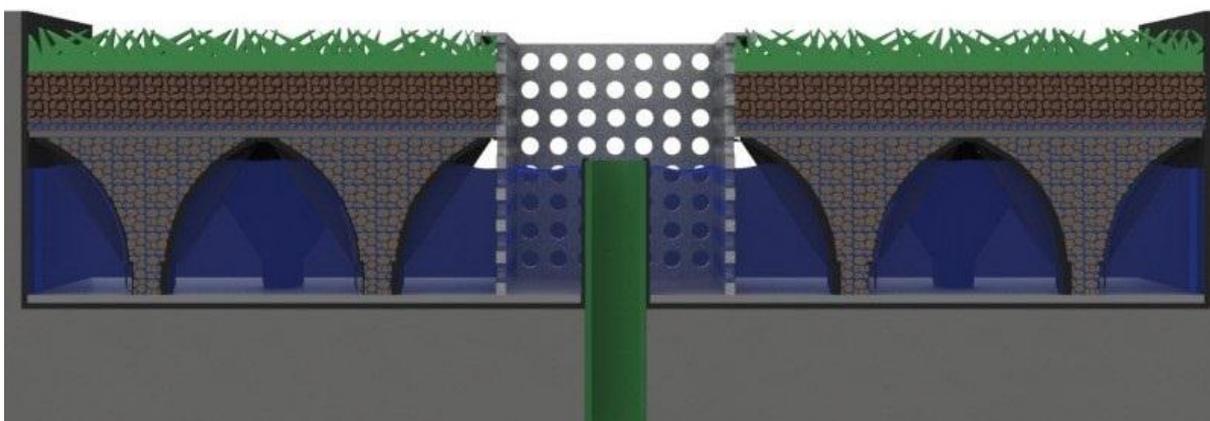


(fonte: ECOTELHADO, 2010b)

5.2.3 Sistema Laminar

O sistema Laminar são módulos plásticos com 19cm de altura, todos encaixados pelo sistema macho fêmea. Na parte superior a cobertura verde funciona como um jardim flutuante sobre os módulos do telhado laminar figura 11. Esse tipo de cobertura pode armazenar até 200l/m² de água, melhorando significativamente a retenção de águas da chuva (ECOTELHADO, 2010c, p. 2).

Figura 11 – Sistema laminar



(fonte: adaptado de ECOTELHADO, 2010c, p. 2)

Segundo Ecotelhado (2010c, p. 2), o sistema laminar é um sistema feito para armazenamento de água, por isso, sua utilização é feita somente em áreas planas para a captação de água. Esse sistema tem por principal característica, além do conforto térmico e acústico a retenção de águas pluviais. O sistema proporciona um grande reservatório de detenção de água pluvial, ou seja, na mesma área o sistema laminar funciona como um piso flutuante e sob ele se localiza o reservatório de detenção de águas pluviais (ECOTELHADO, 2010c, p. 3).

Este telhado é recomendado para a inserção de telhados verdes intensivos e para regiões de seca, pois conseguem reter uma maior quantidade de água para o seu sustento. O sistema possui uma carga de aproximadamente 260kg/m² quando saturado e pode variar de acordo com a vegetação utilizada, uma vez que pequenos arbustos podem ser utilizados ao lado da vegetação rasteira (ECOTELHADO, 2010c, p. 3).

Conforme Ecotelhado (2010c, p. 4), a laje na qual se instala o sistema deve estar impermeabilizada e limpa. Os drenos devem ser fixados a laje e devem estar 2 cm abaixo do nível das plantas, para evitar o seu apodrecimento. Em seguida deve ser instalada a manta

geotêxtil a fim de aderir melhor os módulos à laje. Encaixar os módulos hexagonais uns nos outros formando um sistema coeso. Preencher os módulos com cascalho e colocar a segunda membrana geotêxtil no sistema. Para finalizar é adicionado o substrato e feito o plantio conforme o projeto paisagístico.

Para os períodos de seca ou estiagem prolongados, deve ser proporcionado aos sistemas irrigação manual ou mecânica a fim de manter saudáveis as plantas utilizadas nas coberturas verdes. Os nutrientes também são essenciais as plantas, pois se houver quaisquer deficiências de algum destes no solo, ele deve ser corrigida imediatamente (ECOTELHADO, 2010c, p. 6).

5.3 INFLUÊNCIA DAS COBERTURAS VERDES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Conforme Castro (2011, p. 32), o uso de telhados verdes tem uma importante vantagem, que é a diminuição do escoamento de águas pluviais em edificações. Esses telhados verdes podem armazenar água das chuvas, absorver água para seu sustento e evapotranspirar uma parte restante, diminuindo consideravelmente o pico das cheias ocasionadas.

5.3.1 Influência dos telhados verdes no mundo

Existem muitos estudos com coberturas verdes em todo mundo e em muitos deles são apresentados resultados satisfatórios quanto à redução do escoamento superficial e aumento do tempo de detenção das águas pluviais. Os fatores climáticos são diferentes dos do Rio Grande do Sul, mas é inegável a eficiência do sistema de coberturas verdes.

Foram pesquisados, na Alemanha, os efeitos das coberturas verdes para o controle do escoamento superficial. Foram encontrados para taxas de precipitação que variavam de 554 a 1347 mm anuais valores de retenção anuais de 75% para coberturas verdes intensivos e 45% para coberturas verdes extensivos. Outro estudo apresenta uma simulação para a cidade de Bruxelas que com apenas 10% das edificações com coberturas verdes extensivas, ter-se-ia uma diminuição no escoamento superficial da cidade na ordem de 2,7%, enquanto que para as

residências individuais a diminuição seria de 54% utilizando-se uma precipitação média anual de 821 mm (MENTENS et al., 2006¹ apud CASTRO, 2011, p. 33).

Alguns estudos foram realizados na Carolina do Norte, Estados Unidos, com dois tipos de coberturas verdes e se verificou que o primeiro telhado reduziu o escoamento em 62% de um total de 901 mm de chuva, enquanto que o segundo telhado reteve um total de 63% dos 262 mm de chuva em um período de 4 meses. No próprio estudo, ambas as coberturas retiveram 100% do escoamento nos primeiros 12,7 mm de chuva. Dados ainda mostram que houve uma redução no pico do escoamento de 78 e 87%, respectivamente, e a média dos escoamentos superficiais foi de 55% para chuvas maiores que 39 mm (MORAN, 2004² apud CASTRO, 2011, p. 34-35).

Esses estudos foram realizados na Europa e América do Norte nas quais os dados analisados podem diferir um pouco devido à diferença de clima se comparados ao Rio Grande do Sul e em especial a cidade de Porto Alegre. Contudo nos mostram que os telhados verdes têm um grande potencial de redução de escoamento superficial.

5.3.2 Telhados verdes no Rio Grande do Sul

Conforme Castro (2011, p. 53), foi instalada uma cobertura verde em Porto Alegre no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Esse modelo experimental foi instalado em junho de 2006. Nesse telhado verde foram utilizados ecotelhas em um modelo que era parte terraço e outra parte telhado inclinado e cada um dos módulos tinha 4m². Para o trabalho, apenas os dados da cobertura plana foram utilizados.

A ecotelha utilizada era formada por um substrato rígido, um substrato leve e as plantas. A função do substrato rígido era de retenção do substrato nutritivo proporcionando uma alta capacidade de drenagem, além de aerar as raízes da vegetação. A finalidade do substrato leve era a de dar suporte as plantas e gerar um alto poder de retenção de água. As plantas utilizadas eram plantas do gênero *Sedum* que sobrevivem em solos rasos já que o experimento era de um telhado verde extensivo (CASTRO, 2011, p. 54).

¹ MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape and Urban Planning**. Amsterdam, v. 27, p. 217-226, 2006.

² MORAN, A. C. **A North Carolina field study to evaluate greenroof runoff quantity, runoff quality, and plant growth**. 300 f. Dissertação (Masters in Biological and Agricultural Engineering) – Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2004.

O estudo foi feito entre os anos de 2008 e 2009 durante aproximadamente 17 meses. Foi analisada, nesse período, uma amostra de 19 eventos de precipitação (CASTRO, 2011, p. 95).

Durante todos os 19 eventos não houve escoamento superficial no terraço durante as três primeiras horas de precipitação. Mostrando que o terraço foi capaz de mitigar todo o escoamento. Uma das maiores precipitações que ocorreu no intervalo de três horas foi de 22,33 mm. Esse dado nos leva a crer que o terraço é capaz de reter em sua totalidade um evento com até 22,33 mm de precipitação (CASTRO, 2011, p. 97).

Conforme Castro (2011, p. 99):

Não houve escoamento superficial para o terraço com cobertura vegetal nas primeiras três horas após o início da chuva, fatores como intensidade média da chuva e números antecedentes sem chuva parecem ter menor influência para volumes escoados superficialmente. É importante considerar que, para os eventos analisados neste estudo, a intensidade média de chuva nas primeiras três horas do início da precipitação foi menor do que 7,5 mm/h.

Os eventos mostraram que as maiores precipitações ocorreram entre a primavera e o verão. Quando em Porto Alegre, justamente se encontram as maiores intensidades pluviométricas médias.

Para eventos ocorridos em um intervalo de tempo de seis horas, dos 19 eventos, apenas 26% geraram escoamento no terraço com cobertura verde. O evento que mais gerou escoamento superficial foi de 7,7 mm para uma precipitação de 36,55 mm (CASTRO, 2011, p. 103).

Para as precipitações com duração de 6 horas foi verificado que nem sempre as chuvas de maior intensidade são as que geram escoamento superficial. Nos casos onde o escoamento aconteceu com um intervalo sem chuvas entre uma precipitação e outra menor que 1 dia os valores de escoamento superficial analisados eram maiores comparados aos que apresentavam grandes intervalos entre precipitações. Outro fator preponderante é o tempo de duração da chuva. Castro (2011, p. 105) mostra também que após seis horas o volume precipitado e a intensidade média da precipitação têm influência sobre o volume escoado. Um dos principais fatos é de que com o passar das horas o solo vai saturando e vai perdendo a sua capacidade de armazenamento.

Segundo Castro (2011, p. 109), a partir das 12 horas do início da precipitação 53% dos eventos, no terraço, são retidos. Enquanto que, em eventos com mais de 24 horas 21% dos eventos, no terraço, não apresentaram escoamento.

Para Castro (2011, p. 110) quanto ao desempenho da cobertura verde:

Uma característica observada no desempenho das coberturas vegetais, tanto nos terraços quanto nos telhados, é a detenção do escoamento (armazenamento temporário e eventual liberação lenta). A detenção atrasa os picos dos escoamentos que se dirigem para a rede de drenagem. A atenuação do pico parece estar relacionada com a baixa capacidade de armazenamento do substrato leve, ou seja, a matéria orgânica que dá suporte a planta. Já a capacidade de armazenamento da camada de drenagem está ligada a inclinação da cobertura verde, característica da chuva (intensidade e duração) e da umidade do solo.

Conforme Jobim (2013, p. 48) para o estudo de escoamento superficial realizado na cidade de Santa Maria foram analisados 35 eventos de precipitação durante o período compreendido entre os dias 09/10/2012 a 25/02/2013. Neste estudo foram analisados diversos tipos de sistemas para cobertura verde além da adição ou não de argila expandida e variação da vegetação (JOBIM, 2013, p. 40).

Segundo Jobim (2013, p. 67) alguns sistemas podem reter até 88,1% em média o escoamento superficial produzido para precipitações que variam de 1mm até 68mm. Para o sistema de telhado alveolar simples e alveolar grelhado eles apresentaram reduções de escoamento superficial na ordem de 61 a 59% o que corresponde a valores de *runoff* entre 0,39 e 0,41 (JOBIM, 2013, p. 67).

6 METODOLOGIA APLICADA AO PROJETO

Para executar o projeto de instalações de águas pluviais com telhado verde foi escolhida uma edificação que se localiza na cidade de Porto Alegre no Rio Grande do Sul. Essa edificação foi compatibilizada com os requisitos básicos propostos pelo Decreto n. 18611/2014 e apresentar condições para que fosse instalado um telhado verde em sua cobertura.

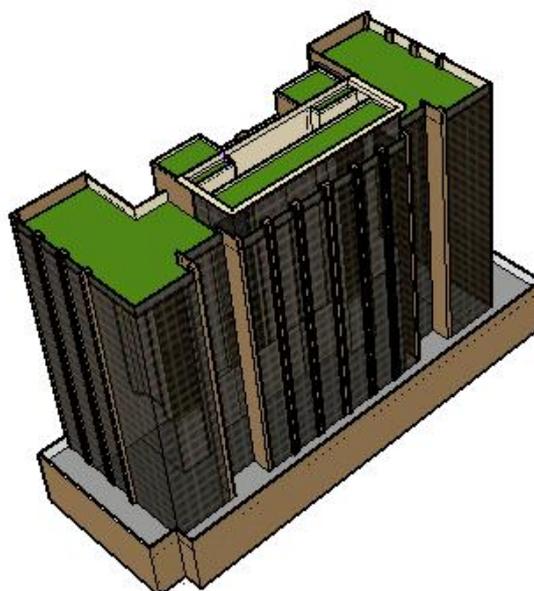
Com base nas limitações apresentadas foi escolhida uma edificação comercial, que conseguiu atender a todas as exigências tanto de localização quanto as propostas pelo Decreto como área mínima construída e vazão máxima de saída. A estrutura da edificação é feita em concreto armado com os revestimentos externos em pele de vidro e granito. A cobertura por ser uma edificação comercial não possui unidades vendáveis, somente lajes planas e impermeabilizadas.

O empreendimento conta com 322 conjuntos comerciais divididos em 14 pavimentos, 8 lojas e 322 vagas de garagem distribuídas em seus 3 pavimentos de estacionamento. A edificação possui 57,5m de altura e 30.111,30m² de área total construída.

Localizada no bairro Praia de Belas em Porto Alegre/RS a edificação possui um alto grau de impermeabilização do solo e que conforme o Decreto n. 18611, de 09 de abril de 2014 a obriga a ter uma área destinada a reservação das águas pluviais decorrente das precipitações, a fim de retardar o escoamento destinado as galerias públicas. Sua cobertura conta com 1305,9m² de área total.

Ao analisar a cobertura da edificação pode-se observar quais locais seriam de maior interesse e de melhor aproveitamento para a instalação do telhado verde. A área total para a instalação do telhado verde é de 1071 m² totalizando 82% da cobertura com telhado verde. A figura 12 mostra o local o qual o telhado verde está projetado.

Figura 12 – Telhado verde na cobertura da edificação



(fonte: elaborado pelo autor)

O tipo de telhado verde escolhido é de placas pré-moldadas e justapostas, com o intuito de manter a uniformidade da cobertura por toda a sua área. O tipo de plantas que devem ser inseridas são plantas rasteiras e gramíneas endêmicas do Rio Grande do Sul para que possam suportar as mudanças climáticas da região.

Para execução da cobertura é importante a especificação de qual o sistema de cobertura verde utilizado. O telhado verde indicada à edificação é o sistema alveolar. Esse sistema foi escolhido, pois ele apresenta o método construtivo de telhado verde extensivo, que se adapta muito bem a lajes planas. Essas características são bem próximas as do telhado verde utilizado no estudo feito por Castro (2011) no IPH/UFRGS.

Outras características do sistema alveolar foram levadas em conta na hora da escolha do sistema como, por exemplo, a carga imprimida a estrutura não é muito significativa, ficando em torno de 60kg/m^2 quando o sistema estiver completamente encharcado. A membrana alveolar permite uma maior retenção de água durante as precipitações. Além de sua fácil instalação e transporte até o local, visto que o transporte vertical em uma obra tende a ser bastante limitado.

Com a definição dos locais onde seriam inseridas as coberturas verdes, o tipo de sistema utilizado e os tipos de plantas que melhor se adaptam ao local. Foi realizada uma análise com o intuito de definir a localização das tubulações verticais provenientes da cobertura da edificação e o local onde ficará o reservatório de retenção. Esse último deve ficar obrigatoriamente em um local em que sua cota esteja acima da cota da rede pública pluvial.

Já para a definição do coeficiente de *runoff* foi tomado como base um estudo de escoamento superficial feito em Porto Alegre no IPH/UFRGS. Para a definição do valor forma coletados dados do intervalo em que as chuvas eram mais intensas para um intervalo de 24 horas de duração. Após a definição destes valores com o auxílio do programa Microsoft Excel e de dados estatísticos foi possível a determinação de *runoff*.

7 DIMENSIONAMENTO DAS PARTES CONSTITUINTES DO TELHADO VERDE

Nesta parte do trabalho que se iniciam os cálculos em conjunto com os ajustes finais das posições das tubulações de coleta, de condução e da determinação do volume da bacia de amortecimento para a cobertura da edificação. O dimensionamento foi dividido sequencialmente para a sua realização, inicialmente foi calculada a vazão de projeto para cada área de influencia em seguida foram dimensionadas as tubulações verticais e horizontais e finalmente foi realizado o dimensionamento da bacia de amortecimento e das tubulações de saída.

7.1 VAZÃO DE PROJETO CALCULADA

Para o dimensionamento pluvial da cobertura da edificação primeiramente foram realizadas os cálculos das variáveis para estimativa da vazão de projeto, sendo estas intensidade pluviométrica, as áreas de influência e o coeficiente de *runoff*. Esses cálculos foram realizados segundo a NBR 10844/1989 e a tabela 7 mostra os valores encontrados para cada uma das áreas de contribuição.

Tabela 7 – Vazão de projeto para a cobertura analisada

COBERTURA			
Áreas	Total (m ²)	Cobertura Verde (m ²)	Vazão de projeto (L/min)
A1	390,0	390,0	322,7
A2	23,8	23,8	19,7
A3	25,8	25,8	21,3
A4	6,4	6,4	5,3
A5	5,6	5,6	4,6
A6	57,6	0	132,4
A7	83,91	83,9	69,4
A8	44,34	0	101,9
A9	44,34	0	101,9
A10	83,91	83,9	69,4
A11	57,6	0	132,4
A12	5,6	5,6	4,6
A13	6,4	6,4	5,3
A14	25,8	25,8	21,3
A15	23,8	23,8	19,7
A16	390,0	390,0	322,7
A17	43,3	0,0	99,4
A18	43,3	0,0	99,4
Totais	1361,3	1071,0	1553,5

(fonte: elaborado pelo autor)

Para cada um dos valores de área de contribuição foi multiplicado o valor da intensidade pluviométrica e o coeficiente de *runoff*, este coeficiente é de 0,36 para os locais que possuem telhado verde e 1 para os locais que não possuem esse tipo de telhado. Deste modo se observa que a cobertura totalizou uma área de 1071 m² de telhado verde em uma área de 1361,3 m² disponíveis. Essa área gerou uma vazão de projeto na ordem de 1553,3 L/min.

7.1.1 Intensidade pluviométrica calculada

Conforme a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 11) o valor da intensidade pluviométrica recomendado à cidade de Porto Alegre é de 146mm/h para um período de retorno igual a 5 anos. No entanto, foram utilizados os valores das equações IDF mostrados anteriormente, pois estes valores são mais precisos, visto que, são calculados com bases em séries históricas mais extensas de algumas regiões da cidade de

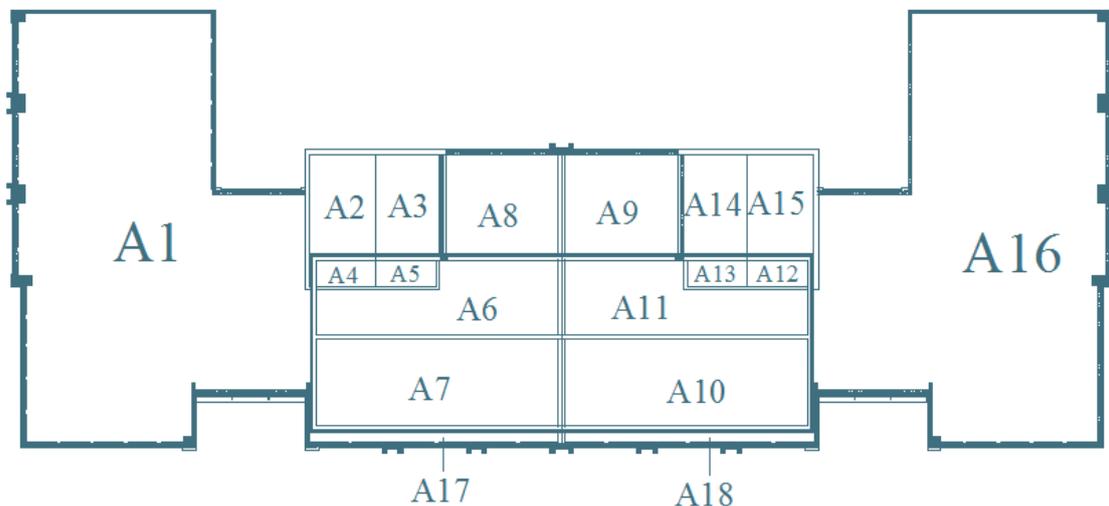
Porto Alegre. Para esse cálculo deve ser considerando uma precipitação com duração de 5 minutos e com período de retorno igual a 5 anos conforme o sugerido pela NBR 10844/1989.

O local onde o empreendimento se localiza fica no bairro Praia de Belas, que está sob influência da curva IDF da Redenção. O valor utilizado é o de 137,9 mm/h, o que se aproxima bastante das recomendações feitas pela NBR 10844/1989.

7.1.2 Áreas de Influência calculada

Na execução dos cálculos a cobertura foi subdividida em 18 áreas de captação como mostra a figura 13. As subdivisões se deram devido a estruturas que impedem a comunicação dessas áreas, deixando impossível a utilização de um mesmo ralo para mais de uma área da cobertura.

Figura 13 – Áreas de captação



(fonte: elaborado pelo autor)

Para os cálculos das áreas de influência foram seguidas as recomendações da NBR10844/1989. Os cálculos foram feitos apenas para a cobertura da edificação como mostra

a tabela 8, visto que, as outras partes da edificação não sofreram quaisquer modificações das realizadas por um projeto comum de instalações de águas pluviais.

Tabela 8 – Áreas de influência

COBERTURA			
Áreas	Total (m ²)	Cobertura Verde (m ²)	Percentual Impermeável
A1	390,0	390,0	0%
A2	23,8	23,8	0%
A3	25,8	25,8	0%
A4	6,4	6,4	0%
A5	5,6	5,6	0%
A6	57,6	0,0	100%
A7	83,91	83,9	0%
A8	44,34	0,0	100%
A9	44,34	0,0	100%
A10	83,91	83,9	0%
A11	57,6	0,0	100%
A12	5,6	5,6	0%
A13	6,4	6,4	0%
A14	25,8	25,8	0%
A15	23,8	23,8	0%
A16	390,0	390,0	0%
A17	43,3	0,0	100%
A18	43,3	0,0	100%
Totais	1361,3	1071,0	21%

(fonte: elaborado pelo autor)

Os valores mostrados na tabela se referem ao total de área com telhado verde em relação à área da edificação. E os locais onde não foram incluídos os telhados verdes apresentam valores de 100% da área impermeável. Como os 1071m² dos 1361m² possíveis possuem telhado verde chegou-se ao valor de 21% do total da cobertura impermeável.

7.1.3 Coeficiente de *Runoff* calculado

Como base para o cálculo do coeficiente de *runoff* foi utilizado os dados de infiltração em coberturas verdes executado em Porto Alegre. O estudo foi realizado no Campus do Vale da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por Castro (2011). O método que gerou os resultados foi obtido pelo modelo experimental de terraço com cobertura verde.

O modelo foi analisado por 18 meses entre os meses de Maio de 2008 e Outubro de 2009, no tempo de estudo foram analisados 19 eventos de precipitação. Em todas as precipitações estudadas foram coletados os dados de volume precipitado e volume escoado pelo telhado. No processo foram coletados os dados para 3, 6, 12 e 24 horas após o início de cada evento.

Baseado nos valores obtidos no experimento pode ser calculado o coeficiente *runoff* teórico para cada evento. A tabela 9 mostra os valores precipitados e escoados no período de 3 horas além do *runoff* teórico para o tempo analisado.

Tabela 9 – Dados de escoamento após 3 horas do início da precipitação.

Precipitação total medida (mm)	Tempo de duração da chuva	Total escoado após 3h (mm)	Precipitação acumulada em 3h (mm)	<i>Runoff</i> após 3h	Percentual precipitado em 3h
66,33	34:55:00	0	18,8	0%	28%
71,58	55:00:00	0	4,29	0%	6%
11,87	05:30:00	0	9,85	0%	83%
21,44	48:00:00	0	5,05	0%	24%
139,54	71:50:00	0	2,26	0%	2%
38,4	48:00:00	0	17,51	0%	46%
72,7	71:40:00	0	8,35	0%	11%
100,37	33:10:00	0	3,78	0%	4%
70,01	30:25:00	0	13,95	0%	20%
28,06	12:10:00	0	12,66	0%	45%
62,57	26:10:00	0	6,8	0%	11%
38,26	21:40:00	0	22,33	0%	58%
23,51	10:55:00	0	19,25	0%	82%
21	11:25:00	0	8,61	0%	41%
22,73	06:35:00	0	6,8	0%	30%
20,3	04:10:00	0	15,24	0%	75%
56,64	56:55:00	0	1,52	0%	3%
22,94	15:35:00	0	2,5	0%	11%
34,14	17:50:00	0	21,31	0%	62%

(fonte: adaptado de CASTRO, 2011)

Após as 3 horas de chuva não houve volume escoado pelo terraço em nenhuma das 19 precipitações estudadas. Isso mostra como o telhado conseguiu aumentar o tempo de detenção

do escoamento, que iria para a rede coletora pública. Esse atraso de escoamento se da devido à rugosidade da cobertura verde e também ao armazenamento de água pelo seu substrato.

A tabela 10 para 24 horas é mais conclusiva a respeito do coeficiente de *runoff* a ser adotado. Por ser o período maior de observação da cobertura.

Tabela 10 – dados de escoamento após 24 horas do início da precipitação

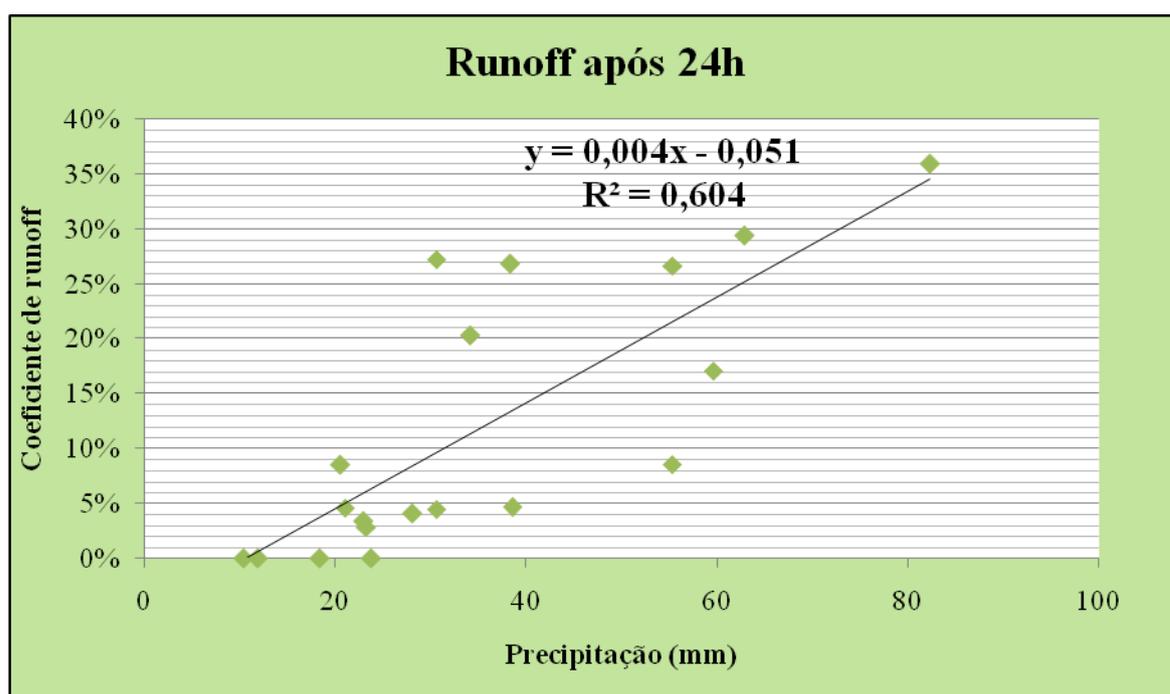
Precipitação total medida (mm)	Tempo de duração da chuva	Total escoado após 24h (mm)	Precipitação acumulada em 24h (mm)	<i>Runoff</i> após 24h	Percentual precipitado em 24h
66,33	34:55:00	4,72	55,25	9%	83%
71,58	55:00:00	1,37	30,59	4%	43%
11,87	05:30:00	0	11,87	0%	100%
21,44	48:00:00	0	10,37	0%	48%
139,54	71:50:00	14,73	55,29	27%	40%
38,4	48:00:00	10,26	38,3	27%	100%
72,7	71:40:00	0	18,38	0%	25%
100,37	33:10:00	29,57	82,26	36%	82%
70,01	30:25:00	18,48	62,91	29%	90%
28,06	12:10:00	1,14	28,06	4%	100%
62,57	26:10:00	10,17	59,57	17%	95%
38,26	21:40:00	1,8	38,51	5%	100%
23,51	10:55:00	0	23,76	0%	100%
21	11:25:00	0,97	21	5%	100%
22,73	06:35:00	0,66	23,23	3%	100%
20,3	04:10:00	1,75	20,55	9%	100%
56,64	56:55:00	8,33	30,58	27%	54%
22,94	15:35:00	0,78	22,94	3%	100%
34,14	17:50:00	6,93	34,14	20%	100%

(fonte: adaptado de CASTRO, 2011)

Os resultados mostram que apenas 5 das precipitações ainda não chegaram aos 80% do seu total precipitado, ou seja, 63% das precipitações já havia se encerrado. Após as mesmas 24 horas, 63% das precipitações não tinham um coeficiente de *Runoff* maior do que 10%. Isso nos leva a crer que a cobertura verde em coberturas planas tem uma excelente retenção de águas pluviais além de se mostrar extremamente eficiente no atraso do escoamento. Durante o período analisado o maior *runoff* encontrado para uma precipitação de 24 horas de duração foi de 0,36.

A tabela nos mostra ainda que para cada uma das precipitações analisadas no período de 24 horas obteve-se um resultado de *runoff* respectivo. Esses dados foram inseridos em uma tabela do Microsoft Excel com o intuito de gerar uma correlação linear dos dados de precipitação total e *runoff*. A figura 14 mostra o gráfico que relaciona as duas variáveis.

Figura 14 – gráfico precipitação x *runoff*



(fonte: elaborado pelo autor)

Conforme Souza (2001), o coeficiente de determinação (R^2) explica qual a proporção que a variável dependente consegue explicar sobre a variável independente. Os valores são representados de 0 a 1 e quanto mais próximo este valor estiver do numeral melhor é a qualidade do ajuste (SOUZA, 2001). Como o R^2 do modelo é de 0,604, apenas 60,4% do modelo pode ser explicado os valores da distribuição são pouco conclusivos ao trabalho.

No entanto, foi escolhido o valor encontrado mais expressivo em todos os casos que é 0,36. Como os dados coletados não puderam formar uma distribuição estatística consistente que proporcionasse uma confiança razoavelmente desejada, foi adotado o maior valor encontrado no maior período de tempo observado.

Os resultados obtidos na América e na Europa e mostrados anteriormente nos fazem crer que o telhado verde tem um coeficiente de *runoff* que diminui consideravelmente o escoamento superficial. No entanto o valor para o trabalho foi fixado em 0,36 tomando-se em conta a os resultados analisados em Porto Alegre e a segurança, para que não houvesse nenhum evento com uma precipitação fora do espectro analisado.

7.2 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

Para o dimensionamento, a cobertura foi dividida em 18 áreas de captação, e cada uma das áreas teve de ser calculada separadamente. Na cobertura foram distribuídos ralos conforme a necessidade, totalizando 32 ralos para o esgotamento da área. Para os condutores foram considerados fatores, com vazão de projeto, a área a ser esgotada e a uniformização das tubulações.

No dimensionamento das tubulações as áreas de contribuição foram subdivididas em 12 novas áreas para melhor utilização do espaço físico da edificação e para a uniformização dos condutores verticais. A tabela 11 mostra quais foram às áreas que foram agrupadas e quais tiveram de ser divididas.

Tabela 11 – Agrupamento das áreas de contribuição

Condutores verticais	Área contribuição (m ²)	Áreas
CV1	195	A1
CV2	195	A1
CV3	61,6	A2+A3+A4+A5
CV4	57,6	A6
CV5	44,34	A8
CV6	167,82	A7+A10
CV7	83,9	A9
CV8	57,6	A11
CV9	61,6	A12+A13+A14+A15
CV10	195	A16
CV11	195	A16
CV12	86,5	A17+A18

(fonte: elaborado pelo autor)

Após a divisão das áreas de contribuição e dos condutores verticais foi iniciado o dimensionamento dos condutores. Para o dimensionamento dos condutores verticais e dos

horizontais foram utilizadas como base as vazões de projeto e as áreas de contribuição. Todas as tubulações que foram utilizadas no dimensionamento tanto dos condutores verticais quando dos horizontais são compostas de PVC.

As tubulações horizontais foram calculadas conforme os critérios e recomendações da NBR 10844/1989, utilizando a tabela que a própria norma recomenda para este tipo de dimensionamento. Essas tubulações são dimensionadas com base na inclinação das tubulações e na vazão de projeto para cada área a ser esgotada. Os valores encontrados ao utilizar a tabela 12 para as tubulações foi de 50mm, 75mm e 100mm para cada um dos condutores, em situações em que as inclinações são de apenas 0,5%. Entretanto, como todas as tubulações são interligadas até seus respectivos condutores verticais, seus volumes de escoamento aumentam à medida que as tubulações dos ramais se interligam. O dimensionamento para estas tubulações foi realizado tomando-se em conta a vazão de projeto total de um tubo de queda. A tabela 12 mostra os diâmetros das tubulações calculados separados e quando são agrupados em seus respectivos tubos de queda.

Tabela 12 – Diâmetros para os condutores horizontais

CONDUTORES HORIZONTAIS						
Condutor	Tubo de queda	Área (m ²)	Vazão (L/min)	Diâmetro para vazão inicial	Vazão acumulado por tubulação de queda	Diâmetro da canalização
1	CV1	A1	53,8	75	161,3	100
2			53,8			
3			53,8			
4	CV2	A1	53,8	75	161,3	100
5			53,8			
6			53,8			
7	CV3	A2	19,7	50	50,9	75
8		A3	21,3			
9		A4	5,3			
10		A5	4,6			
11	CV4	A6	66,2	75	132,4	100
12			66,2			
13	CV5	A8	101,9	100	101,9	100
14	CV6	A7	34,7	75	138,9	100
15			34,7			
16		A10	34,7	75		
17			34,7			
18	CV7	A9	101,9	100	101,9	100
19	CV8	A11	66,2	75	132,4	100
20			66,2			
21	CV9	A12	4,6	50	50,9	75
22		A13	5,3			
23		A14	21,3			
24		A15	19,7			
25	CV10	A16	53,8	75	161,3	100
26			53,8			
27			53,8			
28	CV11	A16	53,8	75	161,3	100
29			53,8			
30			53,8			
31	CV12	A17	99,4	100	198,8	100
32		A18	99,4	100		

(fonte: elaborado pelo autor)

Ao analisar a tabela, nota-se que das tubulações calculadas apenas duas delas não apresentam diâmetros iguais ao das outras dez. É importante que as tubulações sejam as mais uniformes possíveis para evitar problemas causados pela inversão de alguma tubulação na hora da

instalação e para facilitar na hora da compra e estocagem do material. Por isso, todas as tubulações horizontais de condução até a bacia de amortecimento utilizada passam a ter o diâmetro de 100 mm. Para os ralos utilizados na cobertura todos devem possuir diâmetro igual a 150 mm, para evitar problemas com qualquer tipo de objeto que possa obstruir a passagem da água. O anexo A mostra a planta baixa da cobertura com todos as localizações dos ralos e tubulações.

As tubulações verticais foram dimensionadas através da tabela apresentada anteriormente e dos ábacos recomendados pela NBR 10844/1989. Foram adotadas as tubulações de maior diâmetro entre os dois métodos e posteriormente todos os condutores verticais sofreram ajustes para uniformização dos diâmetros devido aos condutores horizontais. A tabela 13 mostra os diâmetros calculados dos tubos de queda e os ajustados.

Tabela 13 – Diâmetro para os condutores verticais

CONDUTORES VERTICAIS		
Conductor vertical	Diâmetro do condutor vertical em mm	Diâmetro do condutor vertical em mm (ajustado)
CV1	100	100
CV2	100	100
CV3	75	100
CV4	75	100
CV5	75	100
CV6	100	100
CV7	75	100
CV8	75	100
CV9	75	100
CV10	100	100
CV11	75	100
CV12	75	100

(fonte: elaborado pelo autor)

7.2 DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE AMORTECIMENTO

A bacia de amortecimento será executada em concreto armado e impermeabilizado com um sistema de pintura flexível. O local foi dimensionado conforme as diretrizes do Plano Direto de Drenagem Urbana de Porto Alegre de Setembro de 2005.

Para a execução das diretrizes de cálculo, algumas limitações da edificação são levadas em conta. A bacia de amortecimento de águas pluviais ficará no pavimento mezanino, onde o pé direito é de 2,6 m. O local destinado ao reservatório tem uma largura de 3,44 m e um comprimento de 14 m, como o reservatório será feito com concreto armado e as paredes do reservatório terão 15 cm de espessura este valor também é computado, diminuído assim a largura efetiva de armazenagem do reservatório. A cota em que ficará localizada o reservatório está a 3,85 m acima da rede pública pluvial que passa pelo passeio.

Para o cálculo da bacia de amortecimento deve ser considerada a área do lote, mas como a bacia de amortecimento é somente para a cobertura o valor utilizado de área de lote é igual 0,14 hectare. Algumas outras limitações também influem no cálculo da bacia, como no local o pé direito é de 2,5 m esse o valor limite para sua altura assim como a largura que é 2,54 m. Com base nestas limitações foram executados, conforme a tabela 14, os cálculos de:

- a) vazão de entrada;
- b) área do lote;
- c) volume de armazenamento;
- d) percentual de impermeável do terreno;
- e) área em planta do reservatório;
- f) altura do reservatório;
- g) área da seção transversal de descarga;
- h) diferença de nível entre o nível máximo de água e o ponto médio da abertura da seção de saída.

Tabela 14 – Cálculo do reservatório de detenção

Dados de entrada		Equação
Q_s = vazão de saída (l/s)	2,83	$Q_s=20,8.Ai$
V_a = Volume de armazenamento (m ³)	27,77	$V_a=4,25.Ai.Ai$
A_p = Área em planta do reservatório (m ²)	11,11	$A_p=V_a/h$
C = Comprimento do reservatório (m)	4,37	$C=V_a/(L.h)$
A_c = Área da seção transversal de descarga (m ²)	0,00066	$A_c=0,37.Q_s/\sqrt{hc}$

(fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2005)

Os valores calculados são para um reservatório de detenção pluvial retangular. O reservatório é dividido em duas partes a primeira é o tanque de detenção que tem por finalidade reter toda água proveniente da cobertura e liberar para a rede pluvial pública apenas a vazão permitida e a segunda é a área do vertedor, que tem por finalidade escoar o excesso de água que entra no reservatório, quando ocorrem chuvas com intensidade superior à utilizada no dimensionamento. O reservatório terá duas passagens no 2º Pavimento feitas com grelhas de piso com dimensões de 80x80cm, para inspeção tanto do tanque, quanto da área do vertedor.

A tubulação de descarga é a tubulação que confere ao reservatório a liberação de águas pluviais em acordo com a o Decreto n. 18611/2014 e que para este fim foi adotada uma saída com uma tubulação de 32 mm. Ainda na saída do tanque do vertedor deve-se utilizar uma tubulação de 200 mm para a saída de excessos que podem eventualmente acontecer, esta saída é dimensionada tomando por base uma tubulação horizontal para o escoamento desse volume excedente.

Para o cálculo de área impermeável do terreno foram analisados três diferentes cenários. O primeiro foi considerando a área total do pavimento sem nenhum telhado verde, esta área seria utilizada se não houvesse nenhum tipo de telhado verde na cobertura. O segundo foi considerando o telhado verde como se fosse 100% permeável, o que pode ser um erro de dimensionamento, pois a o telhado verde possui um percentual de 36% do volume que não fica retida na vegetação. E o terceiro que foi considerado os 36% de escoamento para os locais onde existe telhado verde e 100% para os locais que são totalmente impermeáveis, ou seja, o valor calculado e adotado à área impermeável da cobertura da edificação é de 48%. O quadro 2 mostra mais detalhadamente os valores para cada um dos cenários analisados.

Quadro 2 – Análise de impermeabilidade

Cenário	Área do telhado verde (m ²)	Coefficiente de <i>runoff</i> considerado no cálculo	Percentual de área impermeável
1	0	0%	100%
2	1071	0%	21%
3	1071	36%	48%

(fonte: elaborado pelo autor)

A recomendação do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre para os cálculos da bacia de detenção é de que sejam utilizadas apenas as áreas permeáveis e impermeáveis, mas como o valor de *runoff* é bastante significativo para a execução do reservatório de contenção o valor de impermeabilidade adotado é de 48%, pois um valor menor poderia subestimar as vazões na hora do dimensionamento da bacia de detenção, podendo provocar sérios riscos à edificação.

8 COMPARAÇÃO ENTRE TELHADOS VERDES E TELHADOS CONVENCIONAIS

A comparação entre as duas situações mostra quantitativamente a diminuição do escoamento pluvial. Essa comparação pode ser utilizada principalmente no que se refere aos custos de uma instalação.

O trabalho mostra a diminuição do volume de água conduzido e amortecido pelo telhado verde. Tais fatos são mostrados pelas tabelas 15 e 16 que mostram, respectivamente, como o diâmetro das tubulações aumenta sem a utilização do telhado verde, assim como o volume da bacia de amortecimento.

Tabela 15 – Comparativo das tubulações

Comprimento total das tubulações (m)		
Diâmetro da Tubulação	Com Telhado Verde	Sem Telhado Verde
φ 100	1246	719
φ 150	-	527

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela mostra que no caso em que não foi inserido o telhado verde obteve-se um aumento de 42% das tubulações que eram inicialmente de 100mm para 150mm. Com o aumento do diâmetro das tubulações é possível provar que o telhado verde gera uma economia na compra das tubulações.

Tabela 16 – Comparativo da bacia de amortecimento

Volume da Bacia de Amortecimento (m ³)	
Com Telhado Verde	Sem Telhado Verde
27,77	57,86

(fonte: elaborado pelo autor)

No caso da bacia de detenção houve um aumento de 48% no seu volume. Essa elevação do volume pode gerar um aumento considerável nos custos da construção, pois além da

diminuição do espaço livre para construção também pode ser considerada a sobrecarga estrutural que é gerada pelo grande volume de água.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade do trabalho foi mostrar como pode ser feito o dimensionamento da cobertura de uma edificação quando utilizados telhados verdes para a diminuição do escoamento superficial. Para isso foram propostos valores para o coeficiente de *runoff* do telhado verde a partir de estudos realizados na cidade de Porto Alegre.

Existem ainda alguns tipos de sistemas diferenciados para execução de telhados verdes, que variam de acordo com a vegetação, o peso, o custo entre outros. No entanto, esses telhados não possuem informações específicas sobre valores de escoamento superficial para cada sistema e para cada região do Brasil, o que acaba dificultando o cálculo das vazões específicas utilizadas.

O Decreto n.18611 de 09 de abril de 2014 também não define que um telhado verde possa ser um sistema de diminuição da vazão específica. O intuito deste trabalho é mostrar que esse tipo de sistema embora não seja um dos melhores também pode contribuir para a diminuição das descargas pluviais.

Para o projeto teve de se calcular as vazões de projeto conforme a NBR 10844/1989, seguindo todas as recomendações para o dimensionamento da intensidade pluviométrica, área de influência e coeficiente de *runoff*. Após obter o valor das vazões foram calculadas as tubulações de condução horizontais e verticais. A partir disso também foi calculada a reservação que conforme o Decreto n. 18611 de 09 de abril de 2014 teve de ser implantada uma bacia de amortecimento com 27,77m³ de armazenamento, para conter as águas precipitadas

A utilização dos telhados verdes como solução à diminuição do escoamento superficial mostrou que poderia ser considerada como dispositivo de infiltração pelo DEP, juntamente com os pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.

Como para o trabalho estudos detalhados sobre o coeficiente de *runoff* necessitariam de muito tempo para execução. Para um melhor compreensão e exatidão nos cálculos de escoamento superficial deveria ser feito um estudo mais detalhado sobre este aspecto em particular.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. R. de. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 2007. 21 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. (4. reimpr.). Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2012. p 177-242.
- CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/55975>>³. Acesso em: 22 set. 2013.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro, 2006. Apostila. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>⁴. Acesso em: 10 out. 2013.
- CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1972.
- DEL CONTI, C; GRAÇA, M. E. A. da. **Estudo sobre o dimensionamento de sistemas prediais de drenagem de águas pluviais de coberturas e pequenas áreas pavimentadas**. São Paulo: EPUSP, 1993. Boletim Técnico PCC n. 103.
- ECOTELHADO. **Sistema modular hexa ecotelhado**: especificação. Porto Alegre, 2010a. Disponível em:<<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaHexa/default.aspx>>⁵. Acesso em: 27 abr. 2014.
- _____. **Manual de utilização**: sistema modular alveolar. Porto Alegre, 2010b. Disponível em:<<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaAlveolar/default.aspx>>⁶. Acesso em: 27 abr. 2014.

³ estando no site <<http://hdl.handle.net/10183/55975>>, localize na parte final da página a indicação <visualizar/abrir>: selecione para abrir o documento.

⁴ estando no site <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>> localize o link referente ao capítulo 7 e selecione para abrir o documento.

⁵ Estando no site <<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaHexa/default.aspx>> localize o link Manual - Especificações do Sistema Hexa Ecotelhado. pdf e selecione para abrir o documento.

⁶ Estando no site <<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaAlveolar/default.aspx>> localize o link Manual e especificações do sistema modular aoveolar.pdf e selecione para abrir o documento.

_____. **Sistema laminar ecodreno**. Porto Alegre, 2010c. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaLaminar/default.aspx>>⁷. Acesso em: 27 abr. 2014.

HENEINE, M. C. A. de S. **Cobertura verde**. 2008. 49 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Maria%20Cristina%20Almeida.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2013.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Dissertacao%20Alan%20Lamberti%20Jobim.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas: prediais e industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

NAKAMURA, J. Telhados verdes: como especificar coberturas vivas. **Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, ano26, n. 212, p. 94-98, nov. 2011.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. Rio de Janeiro: Edgar Blücher; Fundação Nacional de Material Escolar, 1976.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. Plano diretor de drenagem urbana: manual de drenagem urbana. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf>. Acesso em: 5 out. 2013.

_____. Prefeitura Municipal. Decreto n. 18.611, de 09 de abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana de Porto Alegre. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <www.leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/decreto/2014/1861/18611/decreto-n-18611-2014-regulamenta-o-controle-da-drenagem-urbana-e-revoga-os-itens-4-8-6-4-8-7-e-4-8-9-do-decreto-n-14786-de-30-de-dezembro-de-2004-caderno-de-encargos-do-dep-e-o-decreto-n-15-371-de-17-de-novembro-de-2006.html>. Acesso em: 10 jun. 2014.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (Coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 19-73. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/127-8sbcmac/382-8sbcmac-a124.html>>⁸. Acesso em: 02 out. 2013.

⁷ Estando no site <<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaLaminar/default.aspx>> localize o link Manual - Especificações do Sistema Laminar Ecotelhado. pdf e selecione para abrir o documento.

⁸ Estando no site <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/127-8sbcmac/382-8sbcmac-a124.html>>, localize o link <download pdf>: selecione para abrir o documento.

SOUZA, A. M. **Correlação linear simples – rxy**. Santa Maria. UFSM, 2001. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/adriano/aulas/coreg/Aula%2001%20Correla%E7ao%20Linear.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2014.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: _____ (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. (4. reimpr.) Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2012. p 391-441.

ANEXO A – Planta baixa cobertura