

ESTUDO DE APLICABILIDADE DE TELHADOS
VERDES NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS PARA O
MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Rodrigo de Oliveira Reis

Florianópolis, 2019



Rodrigo de Oliveira Reis

**ESTUDO DE APLICABILIDADE DE TELHADOS VERDES NA
CIDADE DE FLORIANÓPOLIS PARA O MANEJO DE ÁGUAS
PLUVIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a.
Alexandra Rodrigues Finotti.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Reis, Rodrigo de Oliveira

Estudo de aplicabilidade de telhados verdes na cidade de Florianópolis para o manejo de águas pluviais / Rodrigo de Oliveira Reis ; orientadora, Alexandra Rodrigues Finotti, 2019.

86 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Telhados verdes. 3. Sistemas de drenagem sustentável. 4. escoamento superficial. I. Finotti, Alexandra Rodrigues. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Rodrigo de Oliveira Reis

**ESTUDO DE APLICABILIDADE DE TELHADOS VERDES NA
CIDADE DE FLORIANÓPOLIS PARA O MANEJO DE ÁGUAS
PLUVIAIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para
obtenção do título de “Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado
em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Florianópolis, 03 de julho de 2019



Orientadora: Prof.ª Alexandra Rodrigues Finotti, Dr.ª.

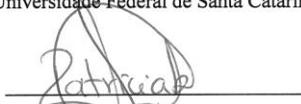
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca examinadora:



Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª Patrícia Kazue Uda, Dr.ª.

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus amigos, parentes e à um mundo mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

A formação no curso de engenharia sanitária e ambiental não é uma conquista só minha, mas também dos meus pais. Osvaldo Reis Neto, meu pai, e Odete de Oliveira Reis, minha mãe, sempre me deram a melhor educação dentro de casa e investiram o possível para que eu tivesse um excelente ensino fora dela. Posso dizer a vocês que todo este esforço valeu a pena. Meu muito obrigado por tudo.

Agradeço à professora Alexandra Rodrigues Finotti por aceitar me orientar neste trabalho e por todo apoio que foi dado neste último semestre.

Meus agradecimentos à Maria Vitart de Abreu Lima, Ayumi Kimberly Knoll e Augusto de Oliveira Neto, meus colegas de curso que desempenharam papéis muito importante durante a minha graduação. Obrigado pelos momentos de descontração, por dividir as preocupações em época de prova, pelos trabalhos realizados em grupo, pela companhia na fila do RU e em todos os horários ociosos entre uma aula e outra. Desejo todo o sucesso a vocês três.

Também agradeço aos meus amigos Luiz Fernando, Gustavo, Marcela, Bruna, Marielen e Beatriz, por todos os dias em que nós saímos para nos divertir. Foram muitos momentos inesquecíveis ao lado de vocês.

Não poderia deixar de agradecer a pessoa mais especial que conheci nestes anos de graduação, Larissa Walzburiech, minha amada namorada. Te agradeço por você ser exatamente do seu jeito, carinhosa, parceira, amorosa, sincera, estudiosa, esforçada, entre outras qualidades que não caberiam nesta página. Te amo.

Por fim, gostaria de agradecer à própria UFSC por tudo. À empresa AltoQi por ter me aceitado para a realização de estágio, o qual agregou muitos conhecimentos e me deu muitas experiências positivas.

RESUMO

Os sistemas de drenagem sustentável reúnem técnicas que visam reproduzir o comportamento da natureza, como por exemplo, os telhados verdes, que podem reduzir o escoamento superficial, melhorar a qualidade da água pluvial, valorizar esteticamente as coberturas e manter o equilíbrio térmico no interior das edificações. O sistema de drenagem convencional, inicialmente projetado para transportar uma determinada vazão de maneira higienista, é insustentável, necessitando de novas obras de ampliação e constante manutenção do sistema. No caso da cidade de Florianópolis, este cenário pode ser ainda mais preocupante devido à proximidade com a faixa litorânea. Por estas razões, o objetivo deste estudo foi avaliar os métodos de dimensionamento e os critérios de projeto que poderiam ser aplicados para telhados verdes na cidade de Florianópolis. Esta avaliação se deu por pesquisa bibliográfica, em um primeiro momento, para obtenção de métodos de dimensionamento dos telhados verdes recomendados por referências internacionais. Em seguida, verificou-se a disponibilidade de dados e valores locais que podem ser adotados para as variáveis destes métodos. Por último, foram selecionados trabalhos que estudaram o desempenho dos telhados verdes no Brasil, sendo registrados os critérios de projeto que foram adotados em cada caso para discutir se eles também podem ser considerados para Florianópolis. Como resultado deste trabalho, foi constatado a disponibilidade de valores para todas as variáveis dos métodos de dimensionamento dos telhados verdes, que visam estimar a vazão e volume de escoamento superficial, o volume armazenado nas camadas do telhado verde, e a precipitação interceptada por evapotranspiração. Os 9 estudos selecionados mostraram que diferentes combinações de critérios de projetos conseguem obter um desempenho satisfatório quanto à redução do escoamento superficial e a melhoria da performance térmica da edificação. A melhoria na qualidade da água não foi satisfatória em nenhum dos estudos. Este trabalho concluiu que os métodos internacionais de dimensionamento dos telhados verdes podem ser aplicados para Florianópolis. Em relação aos critérios de projeto, não foi possível dar sugestões a serem adotadas.

Palavras-chave: Sistemas de drenagem sustentável; telhados verdes; escoamento superficial

ABSTRACT

Sustainable urban drainage systems are techniques that try to reproduce pre-development scenario, such as green roofs, which can reduce runoff, improve rainwater quality, enhance aesthetically the roofs and maintain the thermal balance inside the buildings. The traditional drainage systems are unsustainable, because they are designed to carry a certain flow, requiring upgrades and constant maintenance of the system. In Florianópolis, this scenario may be even more worrying due to the proximity to the ocean. For these reasons, the objective of this study was to evaluate the design methods and design criteria that could be applied for green roofs in Florianópolis. This evaluation was based on a search of the recommended green roof sizing methods by international references. Then, was verified the availability of local data and values that can be adopted for the variables of these methods. Lastly, papers that tested and studied the green roofs performance in Brazil were selected and the Project criteria that were adopted in each case were registered to discuss whether they could also be considered for Florianópolis. As result of this paper, it was verified the availability of values for all the variables of the green roof sizing methods, which aim to estimate the flow and volume of surface runoff, the volume stored in the green roof's layers, and the precipitation intercepted by evapotranspiration. The 9 studies reviewed showed that different combinations of project criteria can achieve a satisfactory performance in reducing surface runoff and improving the thermal performance of the building. The improvement in rainwater quality was not satisfactory in any studies. This paper concluded that international green roofs sizing methods can be applied to Florianópolis. In relation to the design criteria, it wasn't possible to give suggestions to be adopted.

Keywords: Sustainable Urban Drainage Systems; Green Roofs; Surface runoff;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais camadas de um telhado verde.	29
Figura 2: Tipos de telhados verdes.	31
Figura 3: Projeto de telhado verde no Theatro São Pedro, Porto Alegre - RS.	33
Figura 4: Telhados verdes em residências com telhados inclinados	34
Figura 5: Telhado verde extensivo sobre uma área de estacionamento.	34
Figura 6: Cobertura verde instalada na Casa Eficiente, Florianópolis-SC.	35
Figura 7: Exemplo de hidrograma para diferentes superfícies	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos telhados verdes extensivo e intensivo	31
Quadro 2 - Quadro modelo para registro dos resultados.....	49
Quadro 3 - Resultados do estudo de retenção de água nos telhados verdes segundo Santos <i>et al.</i> (2013).	59
Quadro 4 – Resultados do estudo de retenção de água nos telhados verdes segundo Savi (2018).....	60
Quadro 5 - Resultados do estudo de retenção de água nos telhados verdes segundo Jobim (2013).	61
Quadro 6 – Resultados do estudo de desempenho térmico de telhados verdes segundo Lamberts <i>et al.</i> (2010).	63
Quadro 7 – Resultados do estudo de desempenho térmico de telhados verdes segundo Liz (2016).	64
Quadro 8 – Resultados do estudo de desempenho térmico de telhados verdes segundo Santos <i>et al.</i> (2019).	65
Quadro 9 – Resultados do estudo de qualidade da água de telhados verdes segundo Teixeira <i>et al.</i> (2017).	67
Quadro 10 – Resultados do estudo de qualidade da água de telhados verdes segundo Tonial <i>et al.</i> (2017).	68
Quadro 11 – Resultados do estudo de qualidade da água de telhados verdes segundo Klein (2017).	69
Quadro 12 – Resultados compilados.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

BMP – Best Management Practices

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFFSC – Instituto Florístico Florestal de Santa Catarina

LAUTEC – Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias

PMISB – Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico

SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems

WSUD – Water Sensitive Urban Design

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVOS.....	23
1.1.1	Objetivo geral.....	23
1.1.2	Objetivo específico.....	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	25
2.2	SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	25
2.3	TELHADOS VERDES	28
2.3.1	Resumo histórico	28
2.3.2	Composição geral.....	29
2.3.3	Tipos de telhado verde	30
2.3.4	Exemplos de telhados verdes no Brasil.....	32
2.3.5	Benefícios ambientais	35
2.4	PROJETO E DIMENSIONAMENTO	38
2.4.1	Critérios de projeto	38
2.4.2	Abordagem hidráulica	39
2.4.3	Recomendações sobre as camadas	42
2.4.4	Manutenção.....	43
2.5	LEGISLAÇÃO E NORMAS BRASILEIRAS.....	44
3	METODOLOGIA.....	47
3.1	ESTUDO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE TELHADOS VERDES	47
3.2	AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS MÉTODOS INTERNACIONAIS	47
3.3	PROCURA, SELEÇÃO E ANÁLISE DOS TRABALHOS SOBRE TELHADOS VERDES	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1	APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	51

4.1.1	Cálculo da vazão máxima de escoamento superficial	53
4.1.2	Cálculo do volume de escoamento superficial.....	55
4.1.3	Cálculo do volume retido nas camadas do telhado verde	56
4.1.4	Cálculo do volume perdido por evapotranspiração	57
4.2	APLICABILIDADE QUANTO A REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	57
4.2.1	Estudo 1: Santos <i>et al.</i> (2013).....	58
4.2.2	Estudo 2: Savi (2018).....	59
4.2.3	Estudo 3: Jobim (2013)	61
4.3	APLICABILIDADE QUANTO A MELHORIA NA PERFORMANCE TÉRMICA	62
4.3.1	Estudo 4: Lamberts <i>et al.</i> (2010)	62
4.3.2	Estudo 5: Liz (2016)	63
4.3.3	Estudo 6: Santos <i>et al.</i> (2019).....	64
4.4	APLICABILIDADE QUANTO A MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	66
4.4.1	Estudo 7: Teixeira <i>et al.</i> (2017).....	66
4.4.2	Estudo 8: Tonial <i>et al.</i> (2017).....	67
4.4.3	Estudo 9: Klein (2017).....	68
4.5	ESTUDOS E SEUS RESULTADOS COMPILADOS	70
5	CONCLUSÃO	73
6	RECOMENDAÇÕES	77
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de drenagem são compostos por um conjunto de medidas que tenham como objetivo diminuir os prejuízos causados por enchentes naturais, possibilitando o desenvolvimento urbano de maneira harmônica e sustentável (TUCCI, 2013). Porém, por muitos anos, estes sistemas foram projetados a partir de uma concepção higienista, visando apenas o transporte de águas pluviais para longe das cidades.

O crescimento urbano, as edificações e obras de infraestrutura (ruas, estacionamentos, telhados, etc.) alteram significativamente a cobertura do solo, bem como a topografia local. O problema desta alteração se apresenta devido à redução da infiltração de água pluvial no solo, resultado do aumento das áreas impermeabilizadas. Consequentemente, o escoamento superficial é intensificado, ocasionando o aumento da frequência e da magnitude dos picos do hidrograma de escoamento superficial (TASSI *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2013).

O sistema de drenagem convencional, inicialmente projetado para transportar uma determinada vazão, de maneira higienista, necessita de novas obras de ampliação e constante manutenção do sistema. No caso da cidade de Florianópolis, o cenário para este sistema é ainda mais grave devido à proximidade com a faixa litorânea e limitação territorial, já que está situada em uma ilha.

No ano de 2018 a população estimada da cidade de Florianópolis estaria em torno dos 492 mil habitantes. Tal número significa um aumento de 71 mil pessoas, se comparado com valor, oficialmente registrado no censo demográfico de 2010, quando o mesmo município alcançava a marca de 421 mil habitantes (IBGE, 2010).

Os sistemas de drenagem sustentável, também conhecidos internacionalmente como SuDS (Sustainable Urban Drainage Systems), podem ajudar a solucionar dificuldades como a encontrada em Florianópolis. Estes sistemas reúnem diversas técnicas que tentam reproduzir o comportamento do ciclo hidrológico anterior à urbanização durante os eventos de precipitação.

As técnicas presentes nos SuDS são projetadas para maximizar os benefícios que podem ser obtidos da gestão das águas superficiais. Existem quatro principais vantagens que podem ser destacadas com estes tipos de sistemas: redução do escoamento superficial, controle da qualidade das águas pluviais, criação de áreas de maior comodidade para

as pessoas, e novas áreas que favorecem a biodiversidade (BALLARD *et al.*, 2015).

Na Universidade Federal de Santa Catarina, o Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias – LAUTEC, situado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, promove pesquisas e estudos de técnicas compensatórias para a drenagem urbana.

Entre as várias técnicas de drenagem sustentável, existem aquelas que conseguem reunir todos estes benefícios, como por exemplo os telhados verdes. Esta técnica se destaca em relação às demais pois pode ser instalada no topo das edificações, sem ocupar espaços urbanos. Este tipo de telhado é coberto por uma vegetação, que além de ser responsável pela redução do escoamento superficial através do armazenamento e do fenômeno de evapotranspiração, melhora a qualidade da água e do ar, ameniza as temperaturas extremas no interior da edificação, evita as ilhas de calor nos grandes centros urbanos, valoriza esteticamente o topo das edificações e a vista aérea das cidades.

Por estas razões, o objetivo deste trabalho foi avaliar os métodos de dimensionamento e os critérios de projeto que poderiam ser aplicados para esta técnica na cidade de Florianópolis. Os métodos de dimensionamento foram obtidos de referências internacionais, e avaliou-se a disponibilidade de dados, referentes a Florianópolis, necessários na aplicação das equações destes métodos. Além de discutir se os critérios de projeto já utilizados em outros trabalhos realizados no Brasil poderiam ser adotados para Florianópolis.

Desta maneira, este trabalho pode servir de inspiração para a utilização de técnicas de drenagem sustentável como os telhados verdes, encorajando novos empreendimentos a adotarem tais tipos de cobertura em seus projetos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade de telhados verdes para a cidade de Florianópolis para o manejo de águas pluviais.

1.1.2 Objetivo específico

- Estudar métodos hidrológicos de dimensionamento considerados nos projetos de telhados verdes de acordo com referências internacionais;
- Verificar a disponibilidade de dados e informações, referentes à Florianópolis, para aplicação nas equações destes métodos;
- Selecionar trabalhos brasileiros publicados que avaliaram o desempenho dos telhados verdes e discutir se os critérios de projeto usados nestes trabalhos podem ser adotados em Florianópolis;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Durante um evento de chuva, parte do volume precipitado é interceptado pelas folhas e caules da vegetação natural. A parte do volume que chega até o solo infiltra devido a sua porosidade. Quando o solo fica saturado, uma parcela do volume que atingiu o solo passa a ser escoada superficialmente. O escoamento superficial ocorre pela atuação da gravidade, movimentando-se para as cotas mais baixas, onde encontrará a rede de cursos d'água, formando os rios. Durante o percurso, a vegetação natural contribui para retardar a velocidade do escoamento, e ainda favorece a infiltração no solo (TUCCI, 2013, p. 37).

Tucci (2013) também destaca que a urbanização da bacia hidrográfica, causada pelo acúmulo de lixo nas ruas, impermeabilização do solo, e desmatamento, pode elevar em até 6 vezes as vazões de pico, se comparado com a bacia em condições naturais.

A população que vive nas cidades enfrenta os maiores efeitos de seu desenfreado crescimento e desenvolvimento. O meio ambiente apresenta nítidos sinais de esgotamento, sendo a construção civil, um dos grandes responsáveis pelos impactos no meio urbano. Em meio a isso, o crescimento habitacional face às áreas impermeáveis das cidades, como telhados, ruas, passeios, grandes estacionamentos e outros, fazem com que a água pluvial escoe superficialmente (TONIAL *et. al.*, 2014). Como consequência, o risco de ocorrência de inundações nas áreas urbanas é intensificado.

A fim de evitar tais alagamentos nos centros urbanos deve-se planejar diferentes maneiras de controlar o escoamento superficial, como a implementação de um sistema de drenagem. Segundo Pompêo (2000), os sistemas de drenagem podem conter soluções estruturais, como obras com objetivo de modificar o fluxo natural das águas pluviais, e as não-estruturais, como a criação de novas leis e efetiva fiscalização do seu cumprimento.

2.2 SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Um sistema de drenagem urbana é o conjunto dos componentes da infraestrutura utilizados para a realização da coleta, transporte e lançamento final das águas superficiais, de forma a diminuir os prejuízos

decorrentes das inundações e riscos às populações expostas (PINTO; PINHEIRO, 2006).

O conceito de drenagem sustentável surgiu quando se observou que as técnicas convencionais de drenagem não resolvem, por definitivo, os problemas causados pelas chuvas intensas em áreas urbanas. Como reforçado por Pompêo (2000, p.16),

A partir da década de 60, passou-se, em alguns países, a questionar a drenagem urbana realizada de forma tradicional que, por intermédio de obras destinadas a retirar rapidamente as águas acumuladas em áreas importantes, transfere o problema para outras áreas ou para o futuro.

No entanto, ao longo das últimas décadas, com princípio no Reino Unido, passou-se a observar um crescimento gradativo de novos termos na literatura referindo-se a abordagens cada vez mais amplas sobre a drenagem. Tal crescimento foi mais acelerado para termos como “*Low Impact Development*” (LID), “*Sustainable urban drainage systems*” (SuDS), “*Water Sensitive Urban Design*” (WSuD), e “*Best Management Practices*” (BMPs). Estes termos se popularizaram por possuírem como ideia central o planejamento de diferentes formas de utilização da água da chuva para diversos fins, antes de destiná-la à rede de drenagem convencional. Isto significaria conviver de forma mais harmônica com as eventuais chuvas intensas (FLETCHER *et al.*, 2015).

Ballard *et al.* (2015) destacam os principais objetivos para obter uma drenagem bem-sucedida:

- Usar o escoamento superficial como um recurso;
- Administrar a água da chuva próximo do local onde ela precipitou (controle na fonte);
- Promover a evapotranspiração;
- Permitir que a água da chuva penetre o solo (infiltração);
- Retardar e armazenar o escoamento, para imitar a intensidade e volume de um escoamento em solo com vegetação natural;

Ainda de acordo com Ballard *et al.* (2015) são consideradas técnicas sustentáveis: telhados verdes, sistemas de infiltração, pavimentos permeáveis, tanques de amortecimento, bacias de retenção, valas, filtros drenantes, entre outros.

A utilização das águas pluviais próximo ao local onde elas precipitaram resultam em inúmeros benefícios. Além de amenizar as vazões do escoamento superficial, também pode aliviar o problema da demanda por água, enfrentado pelas grandes cidades devido ao rápido aumento populacional (BALLARD *et al.*, 2015).

Como já destacado anteriormente, o desenvolvimento sustentável da drenagem tem o propósito de imitar o ciclo hidrológico natural. Então, além de englobarem as ações estruturais, que consistem dos componentes físicos ou de engenharia como parte integrante da infraestrutura, também se destacam as ações não estruturais, que integram todas as formas de atividades envolvendo as práticas de gerenciamento e mudanças de comportamento (PARKINSON *et al.*, 2003). Aumentar a participação e a responsabilidade da sociedade também faz parte da sustentabilidade. Com isso, os custos de implementação, operação e manutenção dos sistemas de drenagem reduzem com o tempo, pois são distribuídos entre os cidadãos através de legislação, normatização e fiscalização (POMPÊO, 2000, p. 20).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), em seu Capítulo II, reforça ainda mais a importância social para a drenagem urbana, pois fala-se em “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. Para tal, a sociedade é fundamental para o sucesso dessa política, auxiliando, através de práticas, técnicas e novas tecnologias, na melhoria da eficiência do uso da água por parte de todos (BRASIL, 1997).

Três anos depois, no ano 2000, a Lei nº 9.984 criou a Agência Nacional das Águas (ANA), entidade responsável por implementar a Política Nacional dos Recursos Hídricos. No Capítulo II desta lei, é afirmado que caberá à ANA planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações (BRASIL, 2000).

Marques (2006) citou algumas cidades como Belo Horizonte, Curitiba, e Porto Alegre como as primeiras cidades brasileiras a promoverem ações no sentido de estabelecer planos diretores de drenagem urbana, passando pela conscientização que a drenagem deva ser integrada ao planejamento das cidades, deixando de ser apenas um problema de engenharia. Através destes planos pode-se incentivar, ou até mesmo exigir que novos edifícios projetem, instalem e operem técnicas que permitam o aproveitamento de água pluvial no próprio local, aliviando o volume encaminhado para a rede pública de drenagem e reduzindo o consumo de água potável.

2.3 TELHADOS VERDES

Telhado verde é um exemplo de técnica de drenagem sustentável que pode ser instalada tanto na cobertura de residências comuns, como no topo de grandes edifícios. Para os autores Costa, Costa e Poletto (2012), esta tecnologia pode ser muito importante, principalmente, para cidades que sofrem com constantes alagamentos, visto que apresenta elevada eficiência na redução e retardo do escoamento superficial. Esta redução no volume de água pluvial que é ejetado para o sistema drenagem se dá através da retenção desta água nas camadas do próprio telhado verde e da evapotranspiração.

Os telhados verdes se apresentam como uma boa opção para edificações que buscam projetos alternativos e sustentáveis trazendo benefícios para os seus moradores, e ao mesmo tempo, para o meio ambiente. Em adição, estes telhados transformam os espaços ociosos das coberturas em lugares mais agradáveis e embelezados (TONIAL *et. al.*, 2017).

2.3.1 Resumo histórico

Historicamente, os primeiros telhados verdes foram observados na época da Babilônia, no século VI a.C, também conhecidos por “Jardins Suspensos da Babilônia” (OHNUMA JR, 2008). Após centenas de anos, este tipo de cobertura voltou a ser atraente e a se espalhar ao redor do mundo.

Na Alemanha, em 1990, foi construído um dos maiores telhados verdes, no Aeroporto de Frankfurt, e possui 45 mil metros quadrados de vegetação. O telhado verde deste aeroporto desempenha um papel muito importante, pois ajuda a abafar o barulho dos aviões. (PEDRO, 2011).

De acordo com Tomaz (2005), um dos primeiros projetos de telhado verde no Brasil foi realizado em 1936, no prédio do MEC e foi projetado por Roberto Burle Marx. Anos depois, em 1988, foi executado um projeto de cobertura verde no Banco Safra em São Paulo e em 1992, a arquiteta Rosa Grená Kliass e Jamil Kfourri projetaram os jardins do Vale do Anhangabaú em São Paulo.

2.3.2 Composição geral

Um telhado verde consiste em um sistema de camadas de diferentes materiais que, combinadas, permitem obter uma cobertura com coloração predominantemente verde, devido à vegetação, e com as características suficientes para permitir a drenagem das águas pluviais. Tais camadas, podem variar de acordo com a vegetação utilizada, a altura e material do substrato, e as membranas adotadas. Qualquer uma destas variações pode resultar em diferentes resultados, desempenhos, custos, vantagens e desvantagens (BALLARD *et al.*, 2015). A Figura 1 ilustra as principais camadas de um telhado verde.

Figura 1: Principais camadas de um telhado verde.



Fonte: Blog dos engenheiros (2019).

A laje, ou outro suporte estrutural, é a camada mais inferior, que deve ser dimensionada para resistir à carga média de todos os elementos que compõem um telhado verde. Em seguida, é instalada uma camada de impermeabilização que protege a laje contra infiltrações. A camada drenante permite dar vazão ao excesso de água no solo, podendo ser constituída por britas, seixos, argila expandida ou elementos à base de poliestireno. O filtro separa o solo da camada drenante, evitando a passagem e arraste de partículas pela ação da água, que pode comprometer o sistema de drenagem, caso ocorra obstrução. A camada de solo, ou substrato, varia de acordo com o tipo e as espécies a serem

plantadas, que deve ser a mais adaptada possível às condições climáticas do local onde será instalado. As condições a serem consideradas na escolha da vegetação são: clima, tipo de substrato, e custo de manutenção (SANTOS *et al.*, 2017).

A membrana de proteção contra as raízes geralmente é a mesma que impermeabiliza a laje. Sem esta proteção, raízes grandes podem causar infiltração na estrutura. Por isso, plantas de pequeno porte e com alto potencial de cobertura são mais recomendadas. Entre a vegetação e o substrato, pode-se instalar uma fina camada de adubo para auxiliar na retenção da umidade. Nesta camada de adubo, recomenda-se o uso de pequenas pedras, pois não liberam nutrientes e não existe o risco de entupimento superficial da camada substrato (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010).

As duas camadas superiores, vegetação e substrato, reduzem a poluição, melhorando a qualidade do ar; aumentam o conforto térmico e o isolamento acústico no interior dos ambientes da edificação; retém a água da chuva e mitigam as ilhas de calor nas áreas urbanas (NOYA *et al.*, 2017). Portanto, a relação entre estas duas camadas deve ser a mais harmoniosa possível, garantindo um telhado com maior eficiência, pois a escolha inadequada destas camadas pode aumentar consideravelmente o custo de manutenção, já que o substrato pode não ser o ideal para a vegetação crescer e se manter saudável, havendo a necessidade de troca destas camadas regularmente.

Os substratos usados nos telhados verdes são os responsáveis pelo sucesso do desenvolvimento da vegetação. O material desta camada deve ser leve, ter alta capacidade de retenção de água, baixo custo, e facilmente obtido. Existem alternativas sustentáveis, e de menor custo, que aproveitam resíduos industriais e agrícolas como material de substrato, como, por exemplo, a mistura de serragem com dejetos de aves. (NOYA *et al.*, 2017).

2.3.3 Tipos de telhado verde

O telhado verde pode ser classificado em três tipos: **extensivo**, que possui uma camada rasa de substrato (5 cm a 15 cm), plantas mais simples e de menor porte, não requer manutenção frequente, sobrecarrega menos a estrutura e, geralmente, não são acessíveis às pessoas; **semi-intensivo**, com camada de substrato que pode variar de 10 cm a 20 cm, representando o meio termo; e **intensivo**, que possui uma camada profunda de substrato (maior que 15 cm), que pode suportar uma grande

variedade de plantas e de maior porte, requer manutenção frequente e especializada e, geralmente, são acessíveis para pessoas (BALLARD *et al.*, 2015; TASSI *et al.*, 2014).

A Figura 2 apresenta os exemplos de cada um dos três tipos de telhados verdes supracitados.

Figura 2: Tipos de telhados verdes.



← Extensivo

Semi-intensivo →



← Intensivo

Fonte: Adaptado de Greenroofs (2019).

No Quadro 1, Ballard *et al.* (2015) descreve as vantagens e desvantagens dos telhados extensivos e intensivos.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos telhados verdes extensivo e intensivo

Telhado verde extensivo	Telhado verde intensivo
Vantagens: <ul style="list-style-type: none"> • Peso leve; 	Vantagens:

Telhado verde extensivo	Telhado verde intensivo
<ul style="list-style-type: none"> • Pouca ou nenhuma necessidade de irrigação ou sistema de drenagem especial; • Pouca manutenção da camada vegetação; • Custo de instalação relativamente baixo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Condições mais favoráveis para as plantas; • Boa contribuição para a performance térmica do edifício; • Pode ser muito atrativo devido a diversidade de plantas; • Geralmente acessível; • Boa capacidade de retenção do escoamento superficial.
<p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Provem isolamento térmico e acústico limitado; • Benefícios de retenção de escoamento superficial mais limitado; • Benefícios estéticos mais limitados. 	<p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevado peso na estrutura da cobertura; • Necessita de irrigação e sistema de drenagem que requer energia, água e materiais; • Elevados custos de instalação e manutenção.

Fonte: Adaptado de Ballard *et al.* (2015).

2.3.4 Exemplos de telhados verdes no Brasil

Os exemplos mais antigos de telhados verdes encontrados no Brasil foram projetados por arquitetos visando agregar valor estético às construções, além de criar áreas de lazer. Existem casos em que não houve nenhum planejamento para implementar um telhado verde, como por exemplo a situação encontrada no terraço do Museu de Arte Moderna localizado no Rio de Janeiro-RJ, onde foi observado que plantas estavam crescendo sobre uma fina camada de substrato, podendo ser caracterizado como um tipo de telhado verde extensivo (KÖHLER *et al.*, 2003).

Atualmente, a instalação de telhados verdes pode ser obrigatória em Recife/PE, Guarulhos/SP e João Pessoa/PB, de acordo com os alguns critérios estabelecidos (ECOTELHADO, 2019). Nas demais cidades

brasileiras, é possível encontrar estes telhados, que geralmente são projetados e implementados por empresas especializadas nesta tecnologia.

Ainda existem poucos exemplos de telhados verdes divulgados ao longo do território brasileiro. A maioria dos casos estão localizados na região sudeste e sul do país. De acordo com Sustentarqui (2013) a necessidade de mão de obra especializada e o alto investimento inicial para a instalação são desvantagens desta técnica sustentável.

Na cidade de Porto Alegre – RS, a estrutura verde foi implementada no topo do restaurante e da área de recepção do Multipalco do Theatro São Pedro. Neste projeto, o telhado verde tem como objetivo amenizar o impacto visual gerado pelo concreto e criar maior conforto térmico e urbano. O custo de sua manutenção é praticamente zero, com eventual necessidade de rega em períodos de seca no verão (ECOTELHADO, 2019). A Figura 3 apresenta o resultado deste projeto.

Figura 3: Projeto de telhado verde no Theatro São Pedro, Porto Alegre - RS.



Fonte: Ecotelhado (2019).

Quando o objetivo da instalação do telhado verde é obter uma melhoria estética ou amenizar o impacto visual, a necessidade de manutenção para manter a estrutura saudável e com boa aparência é uma desvantagem a ser considerada pelo projetista (SUSTENTARQUI, 2014; PENSAMENTOVERDE, 2013). Estes casos, são os que mais necessitam de manutenção frequente, principalmente em residências com telhado inclinado deixando a vegetação ainda mais exposta - como mostra a Figura 4 - e sendo um fator importante na estética da fachada.

Os telhados verdes também podem ser utilizados no topo de hotéis e shoppings a fim de cobrir as unidades de exaustão, sistemas de ar

condicionado, entre outros detalhes construtivos indesejados. Em Florianópolis-SC, um famoso hotel utiliza telhado verde - ilustrado na Figura 5 - para reduzir o impacto visual, cobrindo as áreas de estacionamento (KÖHLER *et al.*, 2003).

Figura 4: Telhados verdes em residências com telhados inclinados



Fonte: Adaptado de Greenroofs (2019).

Figura 5: Telhado verde extensivo sobre uma área de estacionamento.



Fonte: Köhler *et al.* (2003).

Apesar do exemplo citado, nem todas as coberturas são projetadas para suportar o peso de um telhado verde, podendo inviabilizar a instalação desta técnica (PENSAMENTO VERDE, 2014). As áreas de estacionamento, quando cobertas, geralmente possuem estruturas leves com o objetivo de fazer sombra nos carros e protegê-los da chuva.

Outro exemplo encontrado em Florianópolis-SC trata-se de uma residência que foi projetada com o objetivo de permitir a realização de estudos para tecnologias de ponta de eficiência energética e conforto ambiental. Conhecida como “Casa Eficiente”, este projeto surgiu pela parceria estabelecida entre a ELETROSUL, a ELETROBRAS, através do PROCEL, e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) (LAMBERTS *et al.*, 2010). A Figura 6 mostra a cobertura verde que cobre alguns ambientes desta casa.

Figura 6: Cobertura verde instalada na Casa Eficiente, Florianópolis-SC.



Fonte: Lamberts *et al.* (2010).

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2014), a quantidade de telhados verdes encontrados no Brasil ainda é pequena, haja vista que há um número restrito de empresas e profissionais capacitados para instalar estes telhados, e um número menor ainda de fornecedores de componentes para a sua construção. Esse aumento na demanda por profissionais e produtos, sem uma boa preparação do mercado para supri-la, certamente levaria problemas nas edificações em todo o país. Muitos usuários, após terem investido valores elevados, passariam a sofrer com telhados verdes mal projetados e construídos, e defeitos como infiltrações poderiam elevar ainda mais os custos de manutenção.

2.3.5 Benefícios ambientais

Os telhados verdes são instalados com o objetivo de alcançar benefícios para a edificação e para o ambiente ao seu redor, como por exemplo: melhoria estética do telhado, valorização ecológica, melhoria

na performance térmica do edifício e a redução no escoamento superficial. Na América do Norte e na Europa, os maiores objetivos são pela redução do volume do escoamento superficial, e melhoria da qualidade das águas pluviais (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; BALLARD *et al.*, 2015).

Melhoria na performance térmica: Para Ballard *et al.* (2015), uma melhor performance da edificação significa, principalmente, reduzir os gastos com energia elétrica fornecida aos aparelhos que regulam a temperatura interna dos ambientes. Durante o verão, as plantas e o substrato resfriam a cobertura através da evapotranspiração. Enquanto no inverno, é formado um isolamento térmico que dependerá do volume de água armazenado nestas camadas.

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2014), dependendo do projeto e da localização geográfica, o uso do telhado verde pode não oferecer melhorias significativas. Esta análise das condições específicas é incentivada pela Norma de Desempenho NBR 15.575, obrigatória em todo o país, e pela Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações do Inmetro-PROCEL, que atualmente já conta com adesão obrigatória em obras públicas.

Catuzzo (2013) analisou a temperatura e a umidade relativa do ar de um telhado verde intensivo comparado com os valores observados em uma cobertura de concreto. Foi identificado que em horários de maior radiação solar, os telhados verdes aquecem menos e posteriormente ao telhado de concreto.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2014) alerta que muitos telhados verdes exigem irrigação permanente, visto que o estoque de água na camada de solo é limitado. É através da evapotranspiração que a temperatura dos tetos verdes é regulada, pois a energia solar aquece a água antes de aquecer o edifício. Algumas coberturas utilizam plantas que não necessitam de irrigação permanente, porém deverão apresentar menor benefício térmico, pois não existe grande quantidade de água para evaporar e resfriar o edifício.

Redução no escoamento superficial: Esta redução tem início na vegetação, que é a primeira camada a ter contato direto com a água da chuva. As plantas, através da interceptação e evapotranspiração, reduzem o volume de água que entra no substrato. A camada substrato retém um certo volume e também devolve uma parte para atmosfera através da evaporação. Logo, em dias de verão, com sol e calor, o telhado é mais eficiente se comparado com o inverno (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010).

No Brasil, esta relação entre verão e inverno pode não ser tão perceptível, visto que na maior parte do país os invernos também são quentes. Além disso, as chuvas não são bem distribuídas pelo país, pois existem regiões que a seca pode durar o ano inteiro, como a região Nordeste, e regiões que mais úmidas, como a região Norte. Nas demais regiões o período chuvoso costuma ser no verão.

Savi (2018) realizou um estudo comparando diferentes espécies de vegetação em telhados verdes, e avaliou como cada uma influenciava no escoamento superficial. Durante os ensaios, observou-se que nos meses de verão os índices de precipitação são mais elevados, portanto a água em excesso apodreceu as raízes de algumas espécies, causando a morte de muitas mudas.

A redução do escoamento superficial através do armazenamento de água nas camadas do telhado verde pode se tornar um grande problema de saúde. Se a impermeabilização, e outros cuidados, não receberem a devida atenção, o acúmulo de água pode gerar infiltrações e, conseqüentemente, a proliferação de fungos nos ambientes, causando problemas cardiorrespiratórios e, até mesmo, doenças no aparelho digestivo (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2014).

Melhora na qualidade da água: Pretendendo garantir uma melhoria na qualidade da água, o material utilizado na camada substrato não deve liberar poluentes (ex. cobre), como ocorre nos telhados convencionais. Por isso, os telhados verdes reduzem a concentração de poluentes descarregados no sistema de drenagem local. (BALLARD *et al.*, 2015).

Os telhados verdes além de reterem e filtrarem a água, também equilibram a temperatura desta. As coberturas impermeáveis tradicionais costumam atingir elevadas temperaturas, principalmente nos meses de verão, que aquecem a água da chuva podendo causar efeitos negativos no corpo receptor à jusante da rede de drenagem. (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; BALLARD *et al.*, 2015).

Apesar de melhorar a qualidade da água, alguns autores constataram que o aproveitamento desta água, mesmo que seja para uso não-potável, é inviável e não atende aos parâmetros de qualidade estabelecidos pela NBR 15527 (TEIXEIRA *et al.*, 2017; TONIAL *et al.*, 2017; KLEIN, 2017).

Melhoria estética do telhado: Os benefícios estéticos são obtidos apenas se o telhado for acessível ou facilmente visto pelas pessoas. Uma

variedade de plantas e diferentes cores podem ser cultivadas para agregar ainda mais beleza ao telhado (BALLARD *et al.*, 2015).

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2014), para manter uma boa aparência, as plantas necessitam de atenção permanente e manutenção. Na prática, isto gera custos e pode sobrecarregar financeiramente cidadãos que não tenham renda prevista para terceirizar estes serviços. No caso dos edifícios públicos, estes sofrerão com a deficiência do poder público.

2.4 PROJETO E DIMENSIONAMENTO

2.4.1 Critérios de projeto

O sucesso de um telhado verde requer a colaboração de profissionais de diferentes áreas, como engenharia, arquitetura e biologia, além de contar com os profissionais responsáveis pela manutenção. O projeto deve prever fácil acesso para realização da instalação e manutenção, e a segurança deve ter alta prioridade. São alguns critérios que devem ser levados em consideração nos projetos de telhados verdes (BALLARD *et al.*, 2015):

- Acessibilidade;
- Objetivos quanto a biodiversidade;
- Objetivo estéticos e de comodidade;
- Sobrecarga do sistema quando saturado;
- Outras sobrecargas, incluindo a presença de técnicos de manutenção;
- Necessidade de instalação de outros aparelhos como tubos de ventilação, sistema de ar condicionado, painéis solares, etc;
- Membrana contra o avanço das raízes;
- Resistência ao vento;
- Gestão da drenagem das águas pluviais;
- Meio de crescimento (camada substrato);
- Adaptação das plantas;
- Habilidades, equipamentos e intervalo das manutenções.

De acordo com Department of Planning and Local Government (2010), os principais critérios a serem considerados nos projetos dos telhados verdes são:

- Estações do ano;

- Número e tipo das camadas do telhado;
- Profundidade da camada substrato;
- Ângulo de inclinação do telhado;
- Propriedades físicas da camada substrato;
- Tipo de planta incorporada no telhado;
- Intensidade de chuva;
- Clima local.

Dentre os critérios citados por estas duas referências pode-se observar que a segunda, lista critérios que realmente influenciam no desempenho do telhado, enquanto que a primeira fala também sobre segurança, acessibilidade e outras variáveis estéticas. Os critérios em comum entre as duas referências se mostram como os mais importantes para um projeto de telhado verde.

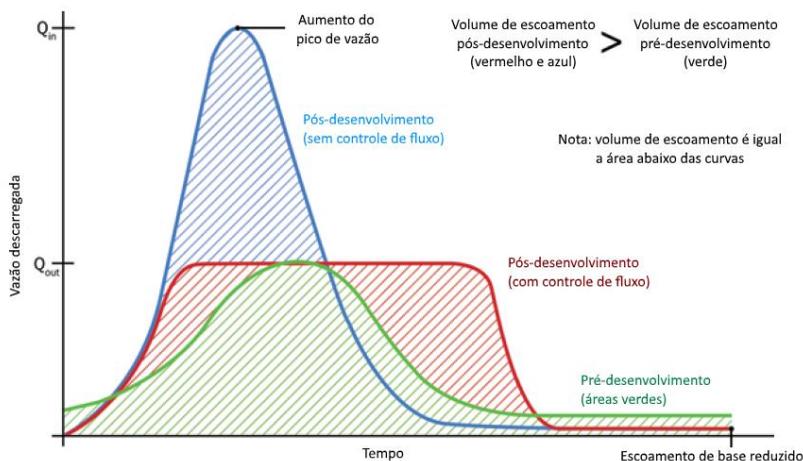
2.4.2 Abordagem hidráulica

As técnicas de drenagem sustentáveis projetadas com o objetivo de reduzir o escoamento superficial devem controlar a vazão de pico do hidrograma de escoamento superficial. A importância deste controle deve-se ao fato de que as áreas impermeáveis (pós-desenvolvimento) elevam significativamente o pico de vazão, além de fazer com que este pico ocorra em menor tempo se comparado com as áreas antes da urbanização (pré-desenvolvimento) (BALLARD *et al.*, 2015).

Então, o propósito de controlar o pico de vazão nos telhados verdes é tentar reproduzir o comportamento que o escoamento superficial teria no cenário anterior a urbanização. Tal controle é obtido com o retardo do escoamento e com o armazenamento da água pluvial nas camadas do próprio telhado verde e, posteriormente, descarregando para a rede de drenagem de forma distribuída ao longo do tempo (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; BALLARD *et al.*, 2015).

A Figura 7 apresenta um exemplo de hidrograma comparando três superfícies: pré-desenvolvimento, pós-desenvolvimento com controle no escoamento (técnicas sustentáveis) e pós-desenvolvimento sem controle no escoamento.

Figura 7: Exemplo de hidrograma para diferentes superfícies



Fonte: Adaptado de Ballard *et al.* (2015).

Então, o propósito de controlar o pico de vazão nos telhados verdes é tentar reproduzir o comportamento que o escoamento superficial teria no cenário anterior a urbanização. Tal controle é obtido com o retardo do escoamento e com o armazenamento da água pluvial nas camadas do próprio telhado verde e, posteriormente, descarregando para a rede de drenagem de forma distribuída ao longo do tempo (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; BALLARD *et al.*, 2015).

Como observado na Figura 7, as técnicas de drenagem sustentável com controle de vazão não aumentam a vazão de pico, mas ao mesmo tempo prolonga o tempo que esta vazão de pico é descarregada para a rede pública de drenagem. Além de que o volume escoado também é superior à situação pré-desenvolvimento, que em condições de solo natural, uma parte do volume escoado teria sido perdida por infiltração e/ou por evapotranspiração (BALLARD *et al.*, 2015).

Ballard *et al.* (2015) afirmam que o controle do volume do escoamento deve considerar dois cenários: eventos frequentes de chuva e eventos extremos. As chuvas consideradas frequentes são aquelas de até 5 mm de precipitação, enquanto que os eventos de chuva extremos consideram-se aqueles com tempo retorno de 100 anos. De acordo com o mesmo autor, tempo de retorno igual a 100 anos significa que este evento de chuva é igualado ou superado, em média, uma vez a cada cem anos.

- a) **Controle do volume para eventos frequentes:** Os telhados verdes, assim como as demais técnicas sustentáveis, devem ser projetados para que na maioria dos eventos (chuvas frequentes) não ocorra escoamento superficial para a rede pública. A interrupção do escoamento nestes casos é conhecida como interceptação, e a interceptação de 5 mm é normalmente possível.
- b) **Controle do volume para eventos extremos:** Os telhados verdes, assim como as demais técnicas sustentáveis, devem ser projetados para que o volume descarregado para a rede pluvial em eventos extremos (tempo de retorno de 100 anos) seja controlado. Nestes casos, o volume em excesso pode ser armazenado e utilizado no próprio local, como para regar jardins ou a própria vegetação do telhado verde. Também é possível fazer a infiltração do volume em excesso no solo, se for uma região com solo permeável.

Para identificar estes eventos extremos, é necessária uma modelagem usando séries históricas do local do projeto. Se ainda não houver uma série de dados suficiente para modelagem, é possível aplicar um método simples usando tempo de retorno de 100 anos e 6 horas de duração de chuva. Estes valores devem ser suficientes para o projeto, pois representam um evento adequado para proteger pequenos curso d'água, que são os mais afetados pela urbanização (BALLARD *et al.*, 2015). O mesmo autor ainda destaca que onde não houver como controlar o volume de escoamento, então a vazão descarregada deve ser de no máximo 2 litros/segundo/hectare.

Para Ballard *et al.* (2015), o controle da vazão de pico também deve considerar dois cenários: eventos de chuva que podem impactar na capacidade de transporte das tubulações da rede de drenagem, e eventos extremos.

- a) **Controle da vazão de pico de acordo com a capacidade dos coletores pluviais:** O projeto de telhado verde deve diminuir a vazão de pico de tal forma que não impactam nos coletores pluviais, que normalmente são dimensionados para suportarem chuvas com tempo de retorno de 1 ou 2 anos.
- b) **Controle da vazão de pico durante eventos extremos:** O projeto de telhado verde deve, no máximo, atingir uma vazão de pico equivalente ao que seria atingido pela área pré-desenvolvimento. Estes eventos extremos significam chuvas

que são igualadas ou superadas, em média, 1 vez a cada 100 anos (tempo de retorno de 100 anos).

Ao projetar um telhado verde, também é importante calcular o volume que é capaz de ficar armazenado nele, para prever coletores de volume excedente e bordas livres suficientes para que, em casos extremos (chuvas de 100 anos de tempo de retorno), a água não transborde para fora da edificação. Na Escócia, o cálculo do nível d'água deve considerar uma chuva de projeto de 200 anos de tempo retorno, e adotar as bordas livres 300 mm acima do nível calculado (BALLARD *et al.*, 2015).

2.4.3 Recomendações sobre as camadas

Segundo New York State (2015), os cinco principais critérios a serem considerados em todo projeto de todo telhado verde são: a estrutura da cobertura, impermeabilização, sistema de drenagem, camada de solo e tipo de vegetação.

Estrutura da cobertura: A estrutura deve suportar o peso do solo, plantas e de pessoas que terão acesso à cobertura para manutenção ou recreação. Como uma medida de proteção a possíveis incêndios materiais não vegetais, como pedras, devem ser instalados ao redor de todas as aberturas desta cobertura e, na base de todas as paredes que possuem abertura (BALLARD *et al.*, 2015; NEW YORK STATE, 2015).

Normalmente, os telhados verdes pesam mais de 0,8 kN/m² quando saturados (NEW YORK STATE, 2015). Ballard *et al.* (2015) dizem que o peso sobre a estrutura depende do tipo de telhado verde (extensivo ou intensivo), podendo variar de 0,7 a 5 kN/m². Telhados verdes intensivos com árvores e com acesso para várias pessoas, podem chegar a 10 kN/m².

Os carregamentos mais pesados devem ser posicionados preferencialmente em cima de colunas ou paredes, pois é onde existe uma maior preparação para suportar cargas (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; BALLARD *et al.*, 2015).

Impermeabilização: Em um telhado verde, a primeira camada acima da laje é a membrana impermeabilizante. Esta camada deve ter proteção contra as raízes das plantas, para garantir sua integridade. Após instalada, deve ser realizado um teste de estanqueidade, já que a reparação desta camada se torna muito difícil depois que o telhado verde já está completo (BALLARD *et al.*, 2015; NEW YORK STATE, 2015). De acordo com Ballard *et al.* (2015), esta membrana pode ser feita de diversos materiais incluindo borracha sintética, polietileno de alta densidade e manta asfáltica.

Sistema de drenagem: A camada drenante fica logo acima da impermeabilização e abaixo de todo o telhado verde, sendo composta por material poroso e uma manta geotêxtil que impede que materiais finos das camadas superiores passem para a camada drenante. A profundidade desta camada depende do carregamento que a estrutura suporta, e do volume que se deseja reter neste telhado. (BALLARD *et al.*, 2015; NEW YORK STATE, 2015)

Camada de solo (substrato): O substrato utilizado nos telhados verdes, geralmente, é mais leve que o solo natural, e consiste de 75% mineral e 25% material orgânico, e sem presença de partículas finas como as argilas. A porosidade deste solo deve ser igual ou superior a 15%. A profundidade e o material usado nesta camada devem ser definidos considerando a vegetação que se pretende utilizar (BALLARD *et al.*, 2015; NEW YORK STATE, 2015).

Tipo de vegetação: A seleção das plantas é governada pelo clima local e pelos benefícios ambientais que o projeto pretende obter. Um especialista em botânica deve ser consultado nesta etapa. A altura em que se localiza a cobertura, sua exposição aos ventos, a orientação em relação ao sol e o sombreamento causado pelos edifícios ao redor são fatores que influenciam na escolha da vegetação mais apropriada. As plantas devem sobreviver aos dias quentes e secos, bem como aos dias frios e com rajadas de vento (BALLARD *et al.*, 2015; NEW YORK STATE, 2015).

O plantio da vegetação pode ser feito através de pedaços retangulares de vegetação em fase de crescimento, evitando possíveis problemas com as sementes e precisando de menos manutenção, porém necessita de irrigação durante o período de estabilização. Outro método é o uso de sementes, que podem ser plantadas manualmente ou com uso de máquinas, e requer irrigação inicial e proteção contra erosão. Por fim, ainda é possível deixar que a vegetação cresça naturalmente (BALLARD *et al.*, 2015).

Nos telhados verdes extensivos, a escolha da vegetação é limitada aos diferentes tipos de grama. O tamanho das raízes também deve ser considerado, para que as plantas fiquem estáveis sobre a camada de solo superficial. Por outro lado, os telhados intensivos possuem uma variedade maior de espécies a serem escolhidas (NEW YORK STATE, 2015):

2.4.4 Manutenção

A manutenção dos telhados verdes inclui irrigação, fertilização e corte, e geralmente a maior demanda ocorre nos primeiros dois anos

enquanto a vegetação se estabelece. Os drenos do telhado devem ser limpos quando o solo do substrato ou as próprias plantas obstruem as passagens/saídas da água. Nos telhados intensivos, o custo com manutenção é maior e deve ser realizada com mais frequência, comparado com os telhados extensivos. Independentemente do tipo do telhado verde, o uso de vegetação nativa é recomendado para reduzir a necessidade de manutenção, já que estas espécies estão mais habituadas a sobreviver sobre o clima local (BALLARD *et al.*, 2015; NEW YORK STATE, 2015).

Ballard *et al.* (2015) destacam que durante a manutenção é importante verificar as medidas de proteção contra incêndio e se a impermeabilização da laje de cobertura não possui falhas. Tais manutenções também devem ser realizadas após grandes eventos de chuva.

2.5 LEGISLAÇÃO E NORMAS BRASILEIRAS

No Brasil, ainda não há uma lei nacional que disponha sobre a instalação de telhados verdes. Em 29 de junho de 2011, foi apresentado o projeto de lei PL 1.703/2011 – Dispõe sobre a instalação do denominado “Telhado Verde” e dá outras providências – que pretendia decretar a obrigatoriedade da construção de telhados verdes em condomínios verticais com mais de 3 unidades agrupadas verticalmente (Brasil, 2011). Ao longo dos anos o texto foi alterado até ser arquivado em 31 de janeiro de 2019.

Em 2015, foi apresentado o projeto de lei PL 1.794/2015 que pretendia exigir que os planos diretores urbanos contenham normas referentes à instalação de coberturas vegetadas (telhados verdes) e reservatórios de águas pluviais em edifícios (Brasil, 2015). Este projeto também foi arquivado em 31 de janeiro de 2019, porém, foi desarquivado em 20 de fevereiro e voltou a ser discutido.

No entanto, mesmo sem uma lei nacional, as coberturas verdes já são normatizadas em alguns municípios. As cidades Porto Alegre/RS, Canoas/RS e São Paulo/SP possuem normas em vigor que promovem tecnologias de infraestrutura verde como compensação ambiental em construções urbanas. Outras cidades promovem estas tecnologias por meio de incentivos fiscais, como Goiânia/GO, Guarulhos/SP, Salvador/BA e Santos/SP (ECOTELHADO, 2019). Dentre estas cidades, destaca-se Porto Alegre/RS que possui lei sobre telhados verdes desde

1999. Nas outras cidades citadas, as normas foram criadas a partir de 2010.

Rio de Janeiro/RJ e Salvador/BA possuem decretos que promovem estas tecnologias por meio de certificações/selo de sustentabilidade. A instalação de telhados verdes pode ser obrigatória em Recife/PE, Guarulhos/SP e João Pessoa/PB, de acordo com os seus critérios estabelecidos (ECOTELHADO, 2019).

No estado de Santa Catarina, a lei nº 14.243 está em vigor desde 11 de dezembro de 2007 e “Dispõe sobre a implementação de sistemas de naturezação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina.”. No artigo 2º considera-se telhado verde os jardins implantados em telhados ou terraços, adaptados à realidade biotecnológica do Estado de Santa Catarina. Esta lei autoriza o Poder Executivo a criar parcerias, incentivos fiscais e financeiros aos municípios (Santa Catarina, 2007).

Recentemente, incentivada pela lei nº 14.243/2007, a câmara municipal de Florianópolis aprovou a Lei complementar nº 651, em 23 de novembro de 2018, que “Dispõe sobre a instalação de telhado verde ou telhado branco nos locais que especifica e dá outras providências” (Florianópolis, 2018). O texto da lei diz que somente será admitido como telhado verde a cobertura composta basicamente pelas seguintes acamadas:

- Impermeabilização;
- Proteção contra raízes;
- Drenagem;
- Filtragem;
- Substrato; e
- Vegetação.

A Lei complementar nº 651 permite a instalação de telhados verdes do tipo extensivo, semi-intensivo ou intensivo. A vegetação deverá ser nativa ou com função alimentar-nutricional, devem resistir ao clima e à variação de temperatura. E ainda, define que “os materiais sintéticos que vierem a ser utilizados na construção de telhados verdes deverão ser atóxicos” (Florianópolis, 2018).

Podem ser consideradas exemplos de espécies nativas de Florianópolis: *Petunia littoralis*, *Plantago catharinaea*, *Tibouchina asperior*, *Senecio reitzianus*, *Eupatorium ulei*, *Rollinia marítima*, *Mimosa catharinensis*, *Aristolochia robertoi* (FALKENBERG, 1999).

Apesar da ausência de norma técnicas específicas para projetos de telhados verdes, caso a água ejetada destes telhados seja aproveitada para

fins não potáveis, estas devem apresentar alguns parâmetros de qualidade presentes na NBR 15527 (ABNT, 2007), como os coliformes termotolerantes, coliformes totais, cloro residual livre, turbidez, cor aparente e pH da água (TONIAL *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

Conforme citado, este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de telhados verdes para a cidade de Florianópolis, indicando possíveis metodologias de dimensionamento adequadas para o manejo de águas pluviais. Esta avaliação foi realizada através de uma pesquisa exploratória que incluiu análise de documentos como artigos científicos, teses de doutorado/mestrado, livros, guias e manuais técnicos, normas e leis.

Primeiramente, buscou-se revisar os métodos de dimensionamento dos telhados verdes indicados em manuais internacionais de drenagem urbana sustentável.

Em seguida, foram procurados e selecionados trabalhos que testaram e estudaram o desempenho dos telhados verdes, permitindo obter os critérios de dimensionamento que foram adotados em cada caso e discutir se o desempenho observado nestes trabalhos pode ser considerado para Florianópolis.

3.1 ESTUDO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE TELHADOS VERDES

Visto a falta de uma norma técnica brasileira que aborda o dimensionamento dos telhados verdes, a revisão dos métodos de dimensionamento tomou como base referências internacionais. As principais referências consultadas foram Ballard *et al.* (2015) e New York State (2015). Os resultados desta pesquisa bibliográfica estão descritos no item 4.1.

A partir dos métodos levantados no item 4.1, foi possível efetuar uma discussão sobre cada método, apresentando os pontos de vistas de referências brasileiras.

3.2 AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS MÉTODOS INTERNACIONAIS

Após a pesquisa dos métodos referente ao dimensionamento hidráulico, foi discutido como as variáveis de cada equação poderiam ser obtidas. Estas equações foram tratadas separadamente, nos itens 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4.

Conhecendo a variável de cada equação, foi possível avaliar se Florianópolis dispõe das características, dados, e informações necessárias para aplicar estes métodos, tendo como principal referência desta avaliação o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB (Florianópolis, 2009).

3.3 PROCURA, SELEÇÃO E ANÁLISE DOS TRABALHOS SOBRE TELHADOS VERDES

Com a intenção de discutir os critérios de projeto que poderiam ser recomendados para os telhados verdes de Florianópolis, foi realizada a compilação dos resultados de estudos já publicados como artigos, teses de mestrado e doutorado. Estas publicações estavam disponíveis no Portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e no portal brasileiro de publicações científicas em acesso aberto (oasisbr) do IBICT (Instituto Brasileiro de Informação e Ciência e Tecnologia).

Foram selecionados os trabalhos que estudaram o desempenho dos telhados verde, e que foram realizados no Brasil, preferencialmente na região Sul do Brasil, onde as condições climáticas são mais semelhantes às de Florianópolis.

Os telhados verdes prometem trazer benefícios ambientais que são muito valorizados nos dias atuais: melhoria na performance térmica, redução no escoamento superficial, melhoria na qualidade da água e melhoria estética do telhado (DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT, 2010; BALLARD *et al.*, 2015).

Porém, o benefício estético pode estar presente em todos os telhados verdes, independentemente do seu desempenho térmico ou hidráulico, e existem poucos, ou nenhum, trabalho nestes portais que avaliou de forma técnica o impacto estético dos telhados verdes. Logo, os estudos revisados neste trabalho abordaram os seguintes benefícios ambientais:

1. Redução no escoamento superficial;
2. Melhoria na performance térmica;
3. Melhoria na qualidade da água.

Para cada uma destas abordagens, buscou-se pelo menos três estudos diferentes, permitindo uma melhor discussão dos resultados. Com isso, nove estudos foram encontrados no total.

Nestes estudos os critérios de projeto analisados por cada autor foram aqueles que mais podem variar de um projeto para outro e afetar no desempenho do telhado verde:

- Tipo Extensivo/Intensivo;
- Profundidade do substrato (cm);
- Substrato utilizado;
- Vegetação utilizada.

No critério “**Tipo Extensivo/Intensivo**” foi registrado qual o tipo de telhado verde estudado.

No critério “**Vegetação utilizada**” foram anotadas as espécies de vegetação que cada autor adotou.

Nos critérios “**Profundidade do substrato (cm)**” e “**Substrato utilizado**”, registrou-se a profundidade e o material desta camada.

Além dos critérios acima, os dados a seguir também foram obtidos de cada estudo:

- Local de estudo;
- Clima;
- Precipitação média.

Os dados “**Local de estudo**”, “**Clima**” e “**Precipitação média anual (mm)**” foram usados como parâmetros para posterior comparação com as características de Florianópolis, permitindo identificar quais estudos terão maior importância na avaliação da aplicabilidade dos telhados verdes.

A precipitação média anual da cidade em que cada estudo foi realizado foi obtida de acordo com Climate-Data.org (2019), onde podem ser encontrados dados climáticos de cidades do mundo todo, os quais foram levantados a partir de uma série de dados observados entre 1982 e 2012.

Cada trabalho revisado teve seus resultados registrados em um quadro seguindo o modelo do Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 - Quadro modelo para registro dos resultados.

Dados	Resultados
Local de estudo	
Clima	
Precipitação média anual (mm)	
Tipo Extensivo/Intensivo	
Profundidade do substrato (cm)	

Dados	Resultados
Substrato utilizado	
Vegetação utilizada	
Benefícios avaliados	

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Os critérios de projeto adotados por cada estudo foram registrados e compilados no Quadro 12, permitindo uma melhor visualização de todos os critérios de projeto que foram adotados.

O levantamento destes critérios, permitiu que cada estudo analisado representasse uma combinação diferente de telhado verde. A discussão que avaliou se alguns critérios também podem ser recomendados para Florianópolis, fez-se através da comparação entre as combinações, observando se existe algum critério que seja mais comum entre elas, ou que foi adotado em todas as combinações. Os critérios que não foram abordados pelos autores ou que foi difícil de observar nos estudos, podem indicar que não é um critério tão relevante a ser avaliado neste trabalho.

As semelhanças e diferenças entre as combinações de telhados verdes foi discutida no item 4.5, através de uma análise geral de todos os estudos encontrados e descritos separadamente nos itens 4.2, 4.3 e 4.4.

Por fim, afim de tentar sugerir recomendações para projetos em Florianópolis, os critérios foram julgados de acordo com os requisitos determinados pela legislação municipal em vigor, a Lei complementar n° 651, em 23 de novembro de 2018, que “Dispõe sobre a instalação de telhado verde ou telhado branco nos locais que específica e dá outras providências” (Florianópolis, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O dimensionamento do telhado verde deve considerar a vazão de pico descarregada ao sistema de drenagem, e o volume total que será escoado. Em resumo, a vazão que deve escoar para a rede coletora deve ser equivalente à que seria descarregada considerando a área não urbanizada (pré-desenvolvimento).

Portanto, deve-se calcular o volume escoado superficialmente na situação pré-desenvolvimento e o volume escoado pós-desenvolvimento. A diferença entre estes dois valores, será o volume que deve ser absorvido pela edificação, através da evapotranspiração, aproveitamento para outros fins e infiltração no solo (NEW YORK STATE, 2015).

Para Ballard *et al.* (2015), primeiro deve-se encontrar as vazões que podem ser calculadas através do “método racional modificado”, definido pela Equação 1.

$$Q = 2,78 * C * i * A \quad (1)$$

onde:

Q = vazão de projeto [l/s];

C = coeficiente de escoamento superficial que depende das características do solo da área em questão, adimensional;

i = intensidade de chuva [mm/h];

A = área que está sendo drenada [ha];

Com a vazão resultante da Equação 1, o volume de escoamento superficial é calculado pela multiplicação com o tempo de duração da chuva (BALLARD *et al.*, 2015), conforme a Equação 2.

$$V = Q * t \quad (2)$$

onde:

V = Volume de escoamento superficial

Q = vazão de projeto [l/s]

t = tempo de duração [s]

Para New York State (2015), o volume de escoamento superficial é calculado pela Equação 3, sem necessidade de calcular a vazão.

$$V = \frac{P * Rv * A}{12} \quad (3)$$

onde:

V = volume escoado [acre-pé]

P = precipitação de 90% dos eventos de chuva no local [polegadas]

Rv = $0,05 + 0,009 * (I)$, onde I é o percentual impermeável, valores tabelados

A = área de contribuição [acres]

De acordo com New York State (2015), o volume de água pluvial que pode ser retido em um telhado verde é calculado usando a Equação 4. Este valor deve ser igual ou superior ao volume encontrado nas Equação 2 e 3, que é o volume de chuva considerando a área pré-urbanização.

$$Volume\ retido = V_{solo} + V_{dr} + (P_{bl} \times A_{tv}) \quad (4)$$

$$V_{solo} = A_{tv} \times P_{solo} \times n_{solo}$$

$$V_{dr} = A_{tv} \times P_{dr} \times n_{dr}$$

onde:

V_{solo} = volume da camada de solo [pés³];

V_{dr} = volume da camada drenante [pés³];

A_{tv} = área superficial do telhado verde [pés];

P_{solo} = profundidade da camada de solo [pés];

P_{dr} = profundidade da camada drenante [pés];

P_{bl} = profundidade de borda livre superficial [pés];

n_{solo} = porosidade do solo (~20%);

n_{dr} = porosidade da camada drenante (~25%);

V_{chuva} = volume de chuva [pés³].

Segundo Ballard *et al.* (2015), assumindo a precipitação constante ao longo do ano, a parcela da precipitação que pode ser perdida através da evapotranspiração em 1m² de telhado verde é calculada conforme a Equação 5.

$$P_{evap} = Ev * t \quad (5)$$

onde:

P_{evap} = Parcela da precipitação retornada para atmosfera através da evapotranspiração [mm];

Ev = Taxa de evaporação diária [mm/dia];

t = tempo [dias];

De acordo com o que foi apresentado, é preciso avaliar e discutir se as variáveis das equações indicadas pelas referências internacionais, são aplicáveis para a cidade de Florianópolis.

4.1.1 Cálculo da vazão máxima de escoamento superficial

Segundo Ballard *et al.* (2015), para calcular o volume de escoamento superficial, é necessário calcular a vazão definida pela Equação 1, conhecida como “método racional modificado”.

De acordo com o Reis (2017) o método racional é simples em ambos os sentidos, positivo e negativo. A vantagem é que permite encontrar a vazão através de uma equação do primeiro grau, e operações básicas de multiplicação e divisão. Porém, por ser simples, não considera alguns fatores importantes que poderiam influenciar no resultado:

- O método não leva em consideração as condições de permeabilidade do terreno. Não considera a umidade antecedente no solo;
- Não considera o efeito da intensidade de chuva no coeficiente “C”;
- Considera a intensidade de chuva constante tanto no tempo como no espaço, ou seja, admite uma precipitação uniforme em toda a área de contribuição;
- Não considera a forma da bacia, apenas a área total.

O método racional, definido pela Equação 1, possui as seguintes variáveis:

Área (A): Área de drenagem é a superfície em que toda água que escoar sobre essa região contribui para o mesmo leito ou o mesmo sentido de escoamento, ou seja, os escoamentos convergem para a mesma saída (CASTRO *et al.*, 2008). De acordo com Reis (2017), diversos autores concordam que o método racional é indicado para área pequenas, porém, os autores divergem quanto ao valor limite, que pode variar de 0,4 até 13 km².

A área da cobertura para calcular a vazão do telhado verde, depende de cada projeto, portanto é um valor conhecido e que pode ser facilmente medido se for necessário. As áreas de telhados inclinados, devem ser calculadas contando com a ação do vento, conforme indicado

na norma de instalações prediais de águas pluviais NBR 10844/1989 (ABNT, 1989).

Coefficiente de escoamento (C): O coeficiente de escoamento representa a parcela da precipitação que gera escoamento e varia com a magnitude do evento de precipitação, sendo definido como a relação entre a quantidade de água total escoada numa determinada seção e a quantidade total de água precipitada na bacia hidrográfica contribuinte, que neste caso é a cobertura da edificação (TUCCI, 2000).

De acordo com Tucci (2001), o coeficiente de escoamento de uma bacia de superfícies variáveis pode ser estimado pela ponderação do coeficiente de diferentes superfícies. Portanto, a área vegetada do telhado verde terá um coeficiente diferente da parcela da cobertura que não há vegetação, e o coeficiente total a ser adotado no dimensionamento, será uma média ponderada entre eles.

O valor do coeficiente de escoamento de acordo com o tipo de ocupação do solo é estimado por diversos autores brasileiros. Para jardins e gramados, segundo Ohmuna (2008), pode ser considerado de 0 a 0,25, para passeios em pedregulho o valor varia de 0,15 a 0,30. Já para Tucci (2002) o coeficiente de escoamento para áreas permeáveis deve ser considerado 0,15.

Na cidade de Florianópolis, os valores do coeficiente de escoamento para o solo em situação pré-urbanização podem ser adotados de acordo com o apresentado no Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB (Florianópolis, 2009). Ainda de acordo com o PMISB, o valor do coeficiente de escoamento superficial pode variar de 0,10 a 0,30 para fazendas, de 0,15 a 0,40 para terrenos cultivados e pomares, enquanto que florestas e matas podem variar de 0,25 a 0,60.

No cálculo da vazão no cenário pós-urbanização (com telhado verde), podem ser adotados valores recomendados por autores que fizeram estudos e estimaram os coeficientes de escoamento dos telhados verdes. Jobim (2013) realizou um estudo no Rio Grande do Sul comparando telhados verdes com diferentes tipos de substratos e observou que eles podem reduzir em até 80% do escoamento superficial, ou seja, um coeficiente de escoamento superficial de 0,20.

Intensidade de chuva (i): Para projetos em Florianópolis, o valor da intensidade de chuva pode ser obtido a partir das curvas intensidade-duração-frequência levantadas pelo Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB (Florianópolis, 2009).

As curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) necessitam da duração e do tempo de retorno, como o próprio nome sugere. O PMISB

de Florianópolis definiu a adoção do tempo de retorno de 10 anos para obras de drenagem superficial (micro drenagem), e o tempo de duração pode ser calculado de acordo com as características da área drenada (Florianópolis, 2009).

De acordo com a NBR 10844 (ABNT, 1989), nos projetos de instalações de águas pluviais, a duração da precipitação deve ser fixada em 5 minutos, enquanto que o tempo de retorno considerado deve ser fixado de acordo com as características da área a ser drenada:

- $T = 1$ ano, para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados;
- $T = 5$ anos, para coberturas e/ou terraços;
- $T = 25$ anos, para coberturas e áreas onde empoçamento ou extravasamento não possa ser tolerado.

Ainda de acordo com a NBR 10844, para os tempos de retorno 1, 5 e 25 anos, a intensidade de chuva para a cidade de Florianópolis/SC pode ser adotada como 114, 120 e 144 mm/h, respectivamente. Ainda de acordo com a mesma norma, para qualquer construção de até 100m² pode-se adotar $i = 150$ mm/h (ABNT,1898).

A NBR 10844 reforça que se forem conhecidos, com precisão, valores de tempo de concentração e houver dados de intensidade pluviométrica correspondentes, estes podem ser utilizados. Para obras especiais, outros tempos de retorno também podem ser adotados (ABNT, 1898).

Utilizando a curva IDF disponível no PMISB de Florianópolis e os valores de $T = 25$ anos e tempo de duração de 5 minutos, como recomendado na NBR 10844, a intensidade obtida seria de 375 mm/h. Enquanto que o tempo de retorno de $T = 10$ anos, como recomendado pelo PMISB, e tempo de duração de 5 minutos, a intensidade obtida seria de 305 mm/h. Ambos os valores obtidos são superiores às intensidades tabeladas para Florianópolis pela NBR 10844.

Por este motivo, a obtenção da intensidade de chuva é mais conservadora quando utilizada as equações indicadas no PMISB de Florianópolis, adotando o tempo de retorno de 10 anos.

4.1.2 Cálculo do volume de escoamento superficial

De acordo com Ballard *et al.* (2015), com o valor da vazão máxima de escoamento superficial, abordada no item 4.1.1, é possível calcular o volume escoado através da Equação 2, apresentada no item 4.1. Para os eventos extremos, com tempo de retorno de 100 anos, é recomendado considerar que a vazão escoará por 6 horas.

New York State (2015) sugere outro método de obtenção do volume escoado superficialmente, que pode ser calculado diretamente pela Equação 3, apresentada no item 4.1. As variáveis desta equação são:

Precipitação de 90% dos eventos de chuva no local (P): Este valor é obtido através de uma série histórica de precipitações no local onde será instalado o telhado verde, e significa que este valor foi igualado ou superado em 90% dos eventos observados e registrados nesta série de dados (NEW YORK STATE, 2015).

O Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP permite o acesso a dados diários de precipitação registrados a partir de 1961. Outra fonte brasileira de séries de dados históricos de precipitação é a Agência Nacional das Águas – ANA (Florianópolis, 2009; INMET, 2019).

Percentual impermeável (I): Este valor é equivalente ao uso do solo, e significa o percentual de impermeabilidade de uma determinada área. Para uma área com uso para agricultura, considera-se 2% de impermeabilidade, para área urbana aberta como parques, cemitérios, praças e campos de golf, este valor pode ser de 9% (NEW YORK STATE, 2015).

Área (A): A área drenada depende de cada projeto e pode ser medida, como já abordado no item 4.1.1.

O método apresentado por New York State (2015) é muito semelhante ao método racional, porém, este utiliza diretamente a precipitação, enquanto que o racional usa a intensidade de chuva. Uma vantagem do método racional é que não é necessária uma série histórica de dados para obter a intensidade. Porém, se esta série não estiver disponível, este segundo método é uma ótima opção.

Ambos os métodos podem ser aplicados para projetos em Florianópolis visto que é possível encontrar os valores das variáveis de cada equação.

4.1.3 Cálculo do volume retido nas camadas do telhado verde

Conforme já descrito no item 4.1 por New York State (2015), a Equação 4 permite estimar o volume de água armazenado nas camadas do telhado verde. Esta equação também pode ser utilizada para dimensionar as camadas substrato e drenagem, adotando o volume retido como sendo o volume de escoamento superficial que se deseja reduzir.

As variáveis desta equação são as características do próprio telhado verde e, portanto, pode ser aplicada universalmente. As alturas da camada

substrato, bem como o material a ser utilizado em Florianópolis, podem ser definidos com base em estudos e pesquisas.

Nos itens 4.2, 4.3 e 4.4 do presente trabalho foram listados estudos brasileiros com diferentes alturas e materiais na camada substrato.

Já a camada drenante pode ter alturas fixas se o telhado verde for comprado em módulos pré-fabricados, como os comercializados pela empresa Ecotelhado (2019), por exemplo.

4.1.4 Cálculo do volume perdido por evapotranspiração

No item 4.1, a Equação 5, sugerida por Ballard *et al.* (2015), permite calcular a precipitação que retorna a atmosfera devido ao fenômeno de evapotranspiração, reduzindo o escoamento superficial.

A aplicabilidade desta equação em outras regiões do mundo depende da variável **Taxa de evaporação (E_v)**, que será diferente em cada local devido às diferenças climáticas. No Reino Unido, este valor é adotado como sendo 3 mm/dia durante o verão (BALLARD *et al.*, 2015).

Na cidade de Florianópolis é possível adotar valores médios mensais de precipitação evaporada, como uma alternativa ao uso da Equação 5, já que o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2019), disponibiliza estas informações para diversas cidades brasileiras.

Avaliando a série histórica de 1931 a 1960, para Florianópolis, os meses com maior evaporação são os de novembro, dezembro e janeiro, ou seja, durante o verão. Enquanto que o período com menor evaporação é o inverno, nos meses de junho e julho (INMET, 2019).

Na série de dados de 1961 a 1990, o mesmo padrão é observado. Os meses de janeiro possuem uma média de evaporação de 115 mm, enquanto que o mês de junho possui uma média de 70 mm (INMET, 2019). Os dados destas séries históricas também são disponibilizados em planilhas para que sejam aplicados métodos estatísticos, se necessário.

4.2 APLICABILIDADE QUANTO A REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Os estudos 1, 2 e 3, referem-se à trabalhos publicados que tiveram como objetivo avaliar a capacidade dos telhados verdes de armazenar água, impactando no volume escoado para a rede pluvial.

Nenhum destes trabalhos revisados foi realizado em Santa Catarina, porém, dois deles foram realizados na região Sul do Brasil. O

estudo 2 teve seus experimentos aplicados no estado do Paraná, enquanto o estudo 3 ocorreu no Rio Grande do Sul. Nestes dois estados o clima também é considerado temperado como em Florianópolis.

O estudo 1 ocorreu no estado de Pernambuco, região semiárida com temperaturas elevadas. Porém, este estudo se destaca por comprovar o desempenho hídrico dos telhados verdes utilizando plantas que não precisam de muita irrigação e são mais resistentes ao calor.

4.2.1 Estudo 1: Santos *et al.* (2013)

Os critérios que mais influenciam o funcionamento das coberturas verdes são os tipos de vegetação e substrato utilizados, assim como a espessura dessas camadas (SANTOS *et al.*, 2013).

Antes de destacar os critérios que mais influenciam, Santos *et al.* (2013) obtiveram dados em campo referentes ao hidrograma em dois telhados verdes, e ainda compararam com os dados de um telhado convencional. Tais experimentos foram realizados no município de Caruaru-PE, que apresenta um clima quente e de chuvas escassas, características de regiões semiáridas.

Pensando na capacidade de sobrevivência das plantas, e no clima quente com raras chuvas, foram selecionadas as espécies *Melocactus macrodiscus* (coroa-de-frade), e *Cynodium dactylum* (grama-de-burro). Os experimentos foram realizados no verão e divididos em duas etapas, simulando chuvas artificiais com intensidades constantes de 42 mm/h e 79 mm/h em cada uma delas (SANTOS *et al.*, 2013).

Em ambas as etapas, o telhado verde com grama apresentou a maior capacidade de retenção. Com a intensidade de chuva igual a 42 mm/h, uma porção de 33,6% do volume precipitado foi retido na amostra. Enquanto que no módulo com cacto esta porção foi de 32,1% e no telhado convencional 2,1%. Em segundo momento, com intensidade igual a 79 mm/h, a opção com grama reteve 15,5%, comparado com 14,2% retido no ensaio com cacto e 2,1% no telhado tradicional (SANTOS *et al.*, 2013).

Os hidrogramas apresentados por este estudo mostraram que nos telhados verdes a vazão de pico leva mais tempo para ocorrer se comparado com o convencional. Nas duas etapas de experimento, este tempo foi de 11 minutos. Além disso, a vazão de pico do módulo convencional foi maior que as registradas nos módulos vegetados (SANTOS *et al.*, 2013).

Os critérios de projeto adotados para o telhado verde com melhor desempenho neste estudo estão registrados no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Resultados do estudo de retenção de água nos telhados verdes segundo Santos *et al.* (2013).

Dados	Resultados
Local de estudo	Caruaru-PE
Clima	Semiárido
Precipitação média anual (mm)	551
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	3
Substrato utilizado	Solo natural
Vegetação utilizada	<i>Cynodium dactylum</i>
Benefícios avaliados	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Mesmo com a constatação de que a vegetação grama-de-burro foi mais eficiente que o cacto, os dois resultados ficaram muito próximos. A partir deste estudo, Santos *et al.* (2013) concluiu que os telhados verdes apresentam capacidade de retenção de volume precipitado superior ao telhado convencional independentemente da vegetação.

Outra observação interessante, é que a intensidade de chuva pode ser um fator importante para a capacidade de retenção dos telhados verdes, já que neles os testes com chuvas mais intensas resultaram em uma menor retenção. A chuva mais intensa deixa as camadas do telhado verde saturadas mais rápido, resultando em um escoamento superficial equivalente ao telhado convencional.

4.2.2 Estudo 2: Savi (2018)

Savi (2018) observou a capacidade dos telhados verdes na retenção de água, comparando os resultados obtidos de experimentos com diferentes espécies vegetais. Esta pesquisa foi realizada na cidade de Curitiba-PR, onde o clima é considerado temperado úmido.

A única diferença entre os 5 módulos estudados era a vegetação adotada. De acordo com Savi (2018), as espécies escolhidas foram *Bulbine frutescens* (bulbine), *Tradescantia zebrina* variação *Purpusii* (trapoeraba), *Sedum mexicanum* (sedum), *Callisia repens* (dinheiro em penca) e *Zoysia tenuifolia* (grama coreana). O autor ainda destaca que as espécies bulbine e sedum foram selecionadas por serem do tipo suculentas, tendo como característica a realização da fotossíntese melhor adaptada ao estresse hídrico. As plantas deste tipo fecham os estômatos durante o dia e reduzem a transpiração, tornando-as mais indicadas para telhados verdes, devido à capacidade de armazenar água em suas folhas, o que ajuda a resistir nos períodos de estiagem.

Os resultados deste estudo confirmaram as espécies *Bulbine frutescens* e *Sedum mexicanum* como a melhor opção de vegetação para os telhados verdes, pois alcançaram 69% e 62% de retenção de água, respectivamente, se comparado com as demais espécies estudadas (Savi, 2018). Por consequência, a retenção de água no telhado verde resulta na redução no escoamento superficial que chega à rede pluvial.

Os critérios de projeto utilizados para este estudo estão dispostos no Quadro 4 abaixo.

Quadro 4 – Resultados do estudo de retenção de água nos telhados verdes segundo Savi (2018).

Dados	Resultados
Local de estudo	Curitiba-PR
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	1390
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	10
Substrato utilizado	Terra (35%), turfa (20%), casca de arroz (40%), vermiculita (5%)
Vegetação utilizada	<i>Bulbine frutescens</i>
Benefícios avaliados	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

A pesquisa realizada por Savi (2018) concluiu que a espécie *Bulbine Frutescens* possui um crescimento mais vertical do que as outras,

que são mais alastrantes, e com isso a bulbine deixa o substrato mais exposto aos raios solares, reduzindo a umidade do solo, que resulta no aumento da retenção de água de chuva nos vazios criados no substrato.

4.2.3 Estudo 3: Jobim (2013)

Jobim (2013) estudou o desempenho hidrológico dos telhados verdes através de experimentos com diferentes variações na camada substrato, vegetal e drenante. Este trabalho foi realizado em Santa Maria – RS, e concluiu que a adição de argila expandida na camada substrato proporciona uma maior eficiência na capacidade de retenção das águas pluviais.

O módulo experimental com substrato composto por uma base de argila expandida e 3 cm de solo apresentou uma redução do escoamento superficial média de 88,1%. Enquanto a opção sem argila expandida reduziu, em média, 82,8% do escoamento superficial. A capacidade de armazenamento de água também foi observada nestes substratos, sendo que a opção com argila expandida pode reter, em média, 1 mm/m² a mais do que os substratos sem argila expandida (JOBIM, 2013).

O Quadro 5 registra os critérios de projeto do tipo de telhado verde que desempenhou o melhor resultado deste estudo.

Quadro 5 - Resultados do estudo de retenção de água nos telhados verdes segundo Jobim (2013).

Dados	Resultados
Local de estudo	Santa Maria-RS
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	1688
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	4
Substrato utilizado	Argila expandida 1cm + Solo 3 cm
Vegetação utilizada	<i>Kalanchoë blossfeldiana</i> (Calanchôe)
Benefícios avaliados	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Jobim (2013) destacou que durante o estudo foi observada uma coloração na água escoada destes telhados, provavelmente devido ao carregamento do material do substrato. Portanto, é recomendado a realização de testes qualitativos destas águas.

4.3 APLICABILIDADE QUANTO A MELHORIA NA PERFORMANCE TÉRMICA

Os estudos 4, 5 e 6 referem-se à trabalhos publicados que tiveram como objetivo avaliar as temperaturas internas dos ambientes cobertos por telhados verdes. Destacam-se os estudos 4 e 5 por terem sido realizados em Florianópolis-SC, cidade de interesse do presente trabalho. Já o estudo 6, destaca-se por ter sido realizado em Caruaru-PE, região onde as elevadas temperaturas predominam, botando à prova os benefícios térmicos que os telhados verdes podem oferecer.

Nestes três estudos não foi possível levantar informações detalhadas sobre o material utilizado na camada substrato, já que os autores utilizaram termos como “terra”, “solo”, ou até mesmo nem abordaram este critério tão importante. Nestes casos, considerou-se que foi utilizado solo natural do local onde foi realizado o estudo.

4.3.1 Estudo 4: Lamberts *et al.* (2010)

Lamberts *et al.* (2010) investigou a performance térmica de um telhado verde em uma residência familiar experimental localizada em Florianópolis-SC. Os testes foram realizados durante 14 dias, sendo uma semana no verão e a outra no inverno. A temperatura interna dos cômodos foi medida, comparando os resultados entre três tipos de coberturas: verde, cerâmica e metálica.

Os resultados mostraram que no dia mais quente, que ocorreu na semana de testes do verão, o atraso térmico (intervalo de tempo entre os registros da máxima temperatura do ar externo e da máxima temperatura do ar interno) foi de 10 h e 15 min para o telhado verde, 7 h e 10 min para a cobertura de cerâmica e 6 h e 05 min para a metálica. (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Entretanto, no inverno não se observou o potencial de isolamento térmico dos telhados verdes, visto que a amplitude da temperatura interna dos ambientes ficou bem próxima com a observada para os outros três

tipos de cobertura. Ainda assim, no pico mais frio o telhado verde registrou a maior temperatura (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Os critérios de projeto e as características deste estudo estão registrados no Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 – Resultados do estudo de desempenho térmico de telhados verdes segundo Lamberts *et al.* (2010).

Dados	Resultados
Local de estudo	Florianópolis-SC
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	1462
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	14
Substrato utilizado	Solo natural
Vegetação utilizada	<i>Bulbine frutescens</i>
Benefícios avaliados	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Portanto, confirmou-se que os telhados verdes, seguindo os critérios registrados no Quadro 6, contribuem para os benefícios térmicos e eficiência energética da edificação.

4.3.2 Estudo 5: Liz (2016)

O segundo estudo revisado constitui em um experimento, dirigido por Liz (2016) na sua dissertação de mestrado, que teve como finalidade identificar elementos que compõem o sistema de telhado verde e que são capazes de contribuir no processo de transferência de calor através da cobertura.

Os ensaios foram realizados na cidade de Florianópolis-SC. A bancada experimental sobre a qual foram desenvolvidos estes ensaios consiste em uma câmara fechada e isolada termicamente. Sobre estas bancadas, foram testadas as diferentes configurações de cobertura verde analisadas, que incluíram variação da espessura do substrato e variação da camada vegetal (LIZ, 2016).

Sem a camada vegetal, os resultados acompanharam as variações de temperatura do ar externo. Já com a presença de vegetação, foram testadas duas espécies vegetais diferentes, grama Sempre Verde (*Axonopus compressus*) e grama Preta (*Ophiopogon japonicus*), sendo estas comparadas com uma cobertura com telhas de fibrocimento. Ambas as espécies de planta apresentaram redução significativa no fluxo de calor, sendo a grama Preta aquela de melhor desempenho (LIZ, 2016).

O fluxo de calor máximo registrado foi da bancada com telhas de fibrocimento (63,39 W/m²) enquanto que para a amostra de telhado verde com grama Preta o fluxo foi de 5,47 W/m², significando uma redução de 88,5%. Em relação às máximas temperaturas, o ensaio com grama Preta também apresentou os menores resultados, marcando 6,57°C a menos que a cobertura de telhas de fibrocimento (LIZ, 2016).

Os critérios de projeto e as características deste estudo estão registrados no Quadro 7 abaixo:

Quadro 7 – Resultados do estudo de desempenho térmico de telhados verdes segundo Liz (2016).

Dados	Resultados
Local de estudo	Florianópolis-SC
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	1462
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	10
Substrato utilizado	Solo natural
Vegetação utilizada	<i>Ophiopogon japonicus</i>
Benefícios avaliados	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Este estudo evidenciou que os telhados verdes, usando os critérios de projetos registrados no Quadro 7, são uma contribuição efetiva para melhorar o desempenho térmico das coberturas.

4.3.3 Estudo 6: Santos *et al.* (2019)

Santos et al. (2019) estudaram a possibilidade de usar telhados verdes para mitigar as temperaturas extremas dentro das residências, garantindo um melhor conforto térmico. Para tal, foram medidas as temperaturas dentro e fora dos ambientes de uma residência.

O trabalho foi desenvolvido na cidade de Caruaru-PE, na região semiárida, onde o clima é caracterizado por elevadas temperaturas, alto índice de evapotranspiração, e a média de precipitação anual é baixa. A temperatura média na cidade de Caruaru varia entre 22°C e 30°C. Para realizar as análises, foi instalada uma unidade experimental de telhado verde, na qual adotou-se a espécie *Melocactus bahiensis* (cacto) como vegetação (SANTOS *et al.*, 2019). A profundidade da camada substrato e o material utilizado não foram informados pelo autor.

Os resultados apresentaram que os telhados verdes refrescam os cômodos nas horas de maiores temperaturas, de 13h a 18h, e mantêm aquecidos os ambientes nas horas de baixas temperaturas, de 04h a 09h. Os telhados verdes também mostraram capacidade de reduzir a temperatura na parte externa. Nos dias quentes, chegou a marcar 2,2°C a mais nos telhados convencionais do que nos telhados verdes, enquanto que nos dias frios o telhado verde ficou 1,3°C acima do telhado convencional (SANTOS *et al.*, 2019).

Os critérios de projeto referentes ao telhado verde implementado neste estudo estão registrados no Quadro 8 abaixo.

Quadro 8 – Resultados do estudo de desempenho térmico de telhados verdes segundo Santos *et al.* (2019).

Dados	Resultados
Local de estudo	Caruaru-PE
Clima	Semiárido
Precipitação média anual (mm)	551
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	-
Substrato utilizado	Solo natural
Vegetação utilizada	<i>Melocactus bahiensis</i>
Benefícios avaliados	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: (-) Não informado. Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Segundo Santos et al. (2019) existia uma ideia de que implementar telhados verdes em locais com escassez de água é impraticável. Com os resultados deste estudo pode-se concluir que a instalação de telhados verdes em partes da cobertura das residências pode resultar em ganhos no conforto térmico.

4.4 APLICABILIDADE QUANTO A MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA

Os estudos 7, 8 e 9 referem-se à trabalhos publicados que tiveram como objetivo avaliar a qualidade da água captada pelos telhados verdes.

Os três estudos observaram que a qualidade desta água não atende aos parâmetros de uso para fins não potáveis, definidos pela NBR 15527/2007, havendo a necessidade da instalação de unidades de tratamento antes da sua utilização.

Cada autor realizou experimentos em um estado diferente da região Sul do Brasil, onde os climas foram todos classificados como temperado. O estudo 9 foi realizado em Florianópolis-SC, tendo uma importância maior em relação aos outros, visto que esta é a cidade de interesse do presente trabalho.

4.4.1 Estudo 7: Teixeira *et al.* (2017)

Teixeira *et al.* (2017) comparou a qualidade da água pluvial captada de duas residências para fins não potáveis. A primeira residência possuía telhado com telhas de concreto, já a segunda havia um telhado verde. As análises foram realizadas com base nos parâmetros da NBR 15527/2007.

O estudo foi desenvolvido na cidade de Curitiba-PR, onde o aproveitamento da água da chuva é obrigatório em novas construções desde o ano de 2007. Os resultados do estudo mostraram que a água captada no telhado com telhas de concreto apresentou menores valores de turbidez e demanda química de oxigênio em sete das oito amostras analisadas. O telhado verde contribuiu para a diminuição da acidez natural da água da chuva. Em nenhuma das amostras os parâmetros microbiológicos estabelecidos na norma utilizada neste estudo foram atendidos (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

O Quadro 9 abaixo apresenta os critérios de projeto que foram adotados para o telhado verde deste estudo.

Quadro 9 – Resultados do estudo de qualidade da água de telhados verdes segundo Teixeira *et al.* (2017).

Dados	Resultados
Local de estudo	Curitiba-PR
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	1390
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	15
Substrato utilizado	Terra comum para jardinagem
Vegetação utilizada	<i>Zoysia japonica</i> (grama-esmeralda)
Benefícios avaliados	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Teixeira *et al.* (2017) concluiu que o telhado verde em questão não atende totalmente aos parâmetros para fins não potáveis estabelecidos na NBR 15227/2007. Portanto, para o aproveitamento da água pluvial seria necessário a instalação de um sistema de tratamento.

4.4.2 Estudo 8: Tonial *et al.* (2017)

Tonial *et al.* (2017) avaliou a qualidade da água captada em protótipos de telhados verdes, considerando parâmetros físicos e químicos para usos não potáveis. Os resultados mostraram que as águas captadas nos telhados verdes devem passar por um tratamento adequado antes de serem utilizadas para fins não potáveis.

O estudo foi desenvolvido no centro tecnológico de uma universidade comunitária no norte do Rio Grande do Sul. Os parâmetros analisados foram: coliformes termotolerantes, coliformes totais, cloro residual livre, turbidez, cor aparente e pH da água, conforme estabelecidos pela NBR 15527/2007 (TONIAL *et al.*, 2017).

Os módulos experimentais foram construídos com gramas do tipo Esmeralda (*Zoysia japonica*). O material usado para a camada substrato é próprio para telhados verdes e, segundo o fabricante, é composto por turfa, casca de arroz carbonizada e calcário, aditivado com *Trichoderma* spp (0,1%), N (0,02%), P2Q5 (0,05%) e K20 (0,04%) (TONIAL *et al.*,

2017). A profundidade da camada substrato não foi informada pelo autor, porém cada módulo experimental tinha altura de 20 cm.

Os resultados obtidos mostram que a água captada do telhado verde não atende aos requisitos da norma utilizada. Porém, vale destacar que a qualidade da água bruta também não atendeu a todos os parâmetros (TONIAL *et al.*, 2017).

O Quadro 10 apresenta os critérios de projeto adotados para a construção dos módulos de telhados verdes para o estudo em questão.

Quadro 10 – Resultados do estudo de qualidade da água de telhados verdes segundo Tonial *et al.* (2017).

Dados	Resultados
Local de estudo	RS
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	-
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	-
Substrato utilizado	Turfa, casca de arroz carbonizada, calcário, e aditivos
Vegetação utilizada	<i>Zoysia japonica</i> (grama-esmeralda)
Benefícios avaliados	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: (-) Não informado. Os benefícios avaliados são (1) escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

O autor Tonial *et al.* (2017) destacou que se acreditava que os resultados iriam melhorar ao longo do tempo, porém, em três amostras coletadas em tempos diferentes, alguns parâmetros como os coliformes totais aumentaram significativamente, contradizendo a expectativa inicial. Além disso, os resultados obtidos não apresentaram correlação entre si, podendo diminuir e logo depois aumentar entre uma coleta e outra, sem apresentar uma sequência lógica.

4.4.3 Estudo 9: Klein (2017)

Klein (2017) realizou experimentos para avaliar o comportamento de diferentes tipos de coberturas verdes e de uma cobertura convencional

no controle do escoamento, tanto em âmbito quantitativo quanto qualitativo.

A bancada de protótipos deste estudo foi montada na cidade de Florianópolis-SC, onde o clima é classificado como temperado. Nesta bancada foram construídos dois sistemas modulares de telhado verde, disponíveis comercialmente, e um sistema de cobertura verde contínua. A vegetação adotada, para o protótipo de telhado verde contínuo, foi a grama São Carlos (*Axonopus compressus*) em forma de leiva que foi assentada acima de um substrato de 7 cm de profundidade. O material utilizado no substrato não foi informado, visto que foi adquirido de uma empresa especializada (KLEIN, 2017).

O Quadro 11, abaixo, registra os critérios de projetos adotados neste estudo.

Quadro 11 – Resultados do estudo de qualidade da água de telhados verdes segundo Klein (2017).

Dados	Resultados
Local de estudo	Florianópolis-SC
Clima	Temperado
Precipitação média anual (mm)	1462
Tipo Extensivo/Intensivo	Extensivo
Profundidade do substrato (cm)	7
Substrato utilizado	-
Vegetação utilizada	<i>Axonopus compressus</i>
Benefícios avaliados	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Notas: (-) Não informado. Os benefícios avaliados são (1) Escoamento superficial; (2) Temperatura interna da edificação; (3) Qualidade da água

Nas análises qualitativas, foi considerado que a água escoada e captada seria aproveitada para fins não potáveis. Os parâmetros analisados foram estabelecidos pela NBR 15527/2007. Entretanto, os resultados mostraram que, além de não atenderem todos os parâmetros, as coberturas verdes deste estudo se comportaram como fonte de ferro, nitrato, fósforo e fosfato. Entre as três coberturas verdes estudadas, a cobertura contínua foi a que apresentou os piores resultados devido à maior quantidade de substrato (KLEIN, 2017).

4.5 ESTUDOS E SEUS RESULTADOS COMPILADOS

Depois de registrar os critérios de projetos adotados para cada um dos nove estudos revisados, foi possível compilar todos estes dados em um único quadro, a fim de facilitar na visualização das informações e correlacionar os estudos. Os resultados compilados encontram-se no Quadro 12.

Entre os nove estudos, três foram realizados na cidade de Florianópolis-SC, dois deles na cidade de Caruaru-PE, outros dois em Curitiba-PR, um na cidade de Santa Maria-RS, e um que não foi informada a cidade, apenas que foi no estado do Rio grande do sul. Com isso, sete dos nove trabalhos revisados foram da região sul do Brasil, e dois na região nordeste.

Destes sete trabalhos realizados em cidades do sul, quatro não são de Florianópolis, ainda assim se destacam por terem o mesmo clima, classificado como temperado e precipitação média anual próximas. A capital catarinense possui maior proximidade com o mar, que influencia na regulação da temperatura, na precipitação média anual, e nos ventos.

De acordo com Eletrosul (2019), a precipitação anual é de 1600 mm no norte da ilha e, 1400 mm no sul, apresentando uma média de 140 dias de chuva por ano. Portanto, a variação dentro da própria cidade de Florianópolis pode ser tão grande quanto a diferença de precipitação em relação às cidades Curitiba-PR (1390 mm) e Santa Maria-RS (1688 mm).

Em relação ao tipo do telhado verde, é possível notar que todos os autores estudaram telhados verdes do tipo extensivo. Poucos trabalhos analisam o desempenho dos telhados intensivos e semi-intensivo, provavelmente por questão de praticidade e custo, já que os do tipo extensivo são muito mais simples de serem construídos e de custo mais baixo. Além disso, a carga de peso adicionada à estrutura ao instalar os telhados extensivos é muito menor, tornando uma opção mais popular e interessante de se estudar.

A profundidade da camada substrato é o critério que mais mudou de um autor para outro. Alguns trabalhos não informaram a profundidade adotada para esta camada, enquanto adotaram valores muito baixos como 3 e 4 cm. Como já citado anteriormente, para os autores Ballard *et al.* (2015) e Tassi *et al.* (2014), os telhados verdes extensivos são caracterizados por possuírem a camada substrato com profundidade de 5 a 15 cm. Entretanto, cinco dos nove estudos revisados satisfazem estes limites.

O material utilizado no substrato destes telhados foi o critério menos abordado pelos autores. Entre os nove casos, seis deles não especificaram o material adotado, utilizando termos genéricos, como camada de “solo”. Este fato pode indicar que existem poucas alternativas conhecidas para serem utilizadas como substrato, ou que estes autores não consideraram o material do substrato como sendo um critério importante de projeto.

Mesmo com esta falta de informação em relação ao tipo de solo usado no substrato, os resultados dos estudos conseguiram mostrar bons desempenhos destes telhados para a redução do escoamento superficial e o conforto térmico dentro dos ambientes. Já na avaliação da qualidade da água escoada dos telhados verdes, em que o material utilizado no substrato é importante, pois a camada funciona quase como um filtro natural, os resultados não foram tão satisfatórios para os autores.

O nome “telhado verde” já lembra a presença de vegetação na cobertura da edificação. Portanto, a vegetação foi o critério que todos os autores informaram. Na maioria destes estudos foram utilizadas diversas variações de espécies, mas foram registradas apenas aquelas que obtiveram os melhores resultados. Entre os nove estudos, sete espécies diferentes foram registradas. As espécies adotadas por mais de um autor diferente foram *Bulbine frutescens* e *Zoysia japônica*. Esta segunda espécie foi utilizada em dois estudos que avaliaram o telhado verde em relação a qualidade da água captada, em que os resultados mostraram que esta água não atende aos parâmetros de uso para fins não potáveis estabelecidos por norma.

Quadro 12 – Resultados compilados.

Autor	Santos <i>et al.</i> (2013)	Savi (2018)	Jobim (2013)	Lamberts <i>et al.</i> (2010)	Liz (2016)	Santos <i>et al.</i> (2019)	Teixeira <i>et al.</i> (2017)	Tonial <i>et al.</i> (2017)	Klein (2017)
Local	CAR	CTB	STM	FLN	FLN	CAR	CTB	RS	FLN
Clima	Semi	Temp	Temp	Temp	Temp	Semi	Temp	Temp	Temp
Pmed (mm)	551	1390	1688	1462	1462	551	1390	-	1462
Tipo	Ext	Ext	Ext	Ext	Ext	Ext	Ext	Ext	Ext
Prof sub (cm)	3	10	4	14	10	-	15	-	7
Material sub.	Sn	Sn	S1	Sn	Sn	Sn	Terra	S2	Sn
Vegetação	<i>Cy</i>	<i>Bu</i>	<i>Ka</i>	<i>Bu</i>	<i>Op</i>	<i>Me</i>	<i>Zo</i>	<i>Zo</i>	<i>Ax</i>
Benefícios	1			2			3		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: **(Pmed)** Precipitação média anual; **(Prof sub)** Profundidade do substrato ; **(CAR)** Caruaru-PE; **(FLN)** Florianópolis-SC; **(STM)** Santa Maria -RS; **(CTB)** Curitiba-PR; **(RS)** Rio Grande do Sul; **(Semi)** Semiárido; **(Temp)** Temperado; **(Ext)** Extensivo; **(Sn)** Solo natural; **(S1)** Argila expandida 1cm + Solo 3 cm; **(S2)** Turfa, casca de arroz carbonizada, calcário, e aditivos ; **(1)** Escoamento superficial; **(2)** Temperatura interna da edificação; **(3)** Qualidade da água; **(Cy)** *Cynodium dactylum*; **(Ka)** *Kalanchoë blossfeldiana*; **(Op)** *Ophiopogon japonicus*; **(Me)** *Melocactus bahiensis*; **(Bu)** *Bulbine frutescens*; **(Zo)** *Zoysia japonica*; **(Ax)** *Axonopus compressus*.

5 CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi realizada uma avaliação da aplicabilidade de telhados verdes na cidade de Florianópolis para o manejo de águas pluviais. Para tanto, foram revisados os métodos de dimensionamento dos telhados verdes indicados por referências internacionais, visto que no Brasil ainda faltam guias ou normas técnicas sobre esta técnica sustentável.

Foi verificado que todas as variáveis de projeto utilizadas no dimensionamento hidráulico dos telhados verdes possuem valores que podem ser obtidos e adotados de acordo com as características local de Florianópolis. Portanto, constatou-se a aplicabilidade dos métodos de dimensionamento dos telhados verdes para a cidade de Florianópolis.

Para avaliar a aplicabilidade dos telhados verdes na prática, foram revisados nove estudos realizados no Brasil, os quais testaram diferentes tipos de telhados verdes. Sete destes nove estudos foram realizados em cidades da região sul, ou seja, as análises experimentais foram testadas sob o mesmo clima que predomina em Florianópolis.

A partir destes estudos pode-se concluir que os telhados verdes realmente podem reduzir o escoamento superficial que escoar para a rede de drenagem pluvial. A melhor composição de telhado verde foi a adotada no estudo 3 reduzindo em 88,1% o escoamento superficial, e foi testada na cidade de Santa Maria – RS, que costuma ser mais chuvosa que Florianópolis-SC (1688 mm contra 1462 mm). As combinações dos estudos 1 e 2 apresentaram, respectivamente, 33,6% e 69,0% de redução do escoamento superficial, e foram analisadas em cidades com precipitação média anual de 551 mm e 1390 mm.

A melhoria na performance térmica também foi avaliada pelos estudos revisados, que comparam coberturas verdes com as não vegetadas. O estudo 4, realizado em Florianópolis-SC, constatou que o intervalo de tempo entre o pico de temperatura do ambiente externo e o pico de temperatura do ambiente interno, pode ser de até 10h e 15 min. A combinação de camadas adotada pelo estudo 5, realizado em Florianópolis-SC, relatou uma redução de até 6,57°C nas temperaturas máximas registradas. Enquanto que o estudo 6, realizado em Caruaru-PE, observou uma redução de 2,2°C na temperatura durante o verão, e aumento de 1,3°C no inverno. A redução observada pelo estudo 6 foi menor que do estudo 5, possivelmente, devido a performance térmica dos telhados verdes estar diretamente relacionada com a retenção de água, que dissipa a energia da radiação solar pelo fenômeno de evaporação, e a

precipitação média anual em Florianópolis é de 1462 mm, enquanto que de Caruaru-PE é de 551 mm.

O benefício ambiental que não foi alcançado nos estudos avaliados, trata-se da melhoria na qualidade da água captada pelos telhados verdes. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos estabelecidos pela NBR 15527/2007, sobre o uso desta água para fins não potáveis, foram avaliados pelos estudos 7, 8 e 9, porém não foram atendidos. Então, caso o objetivo seja aproveitar a água da chuva escoada pelos telhados verdes, será necessário prever um sistema de tratamento.

Vale destacar que a Lei complementar nº 651 (Florianópolis, 2018), comentada no item 2.5 deste trabalho, determina que as camadas necessárias para um telhado ser considerado verde são: vegetação, substrato, filtragem, drenagem, proteção contra raízes e impermeabilização. Desta maneira, cada camada que compõe o telhado verde deve ser instalada com atenção e separadas adequadamente, visto que em alguns casos a água pode carregar o material do substrato, aumentando a sua turbidez.

Sobre a avaliação quanto ao tipo de telhado verde que melhor se aplicaria em Florianópolis, os resultados não permitem escolhas, pois todos os estudos revisados analisaram telhados do tipo extensivo. Os estudos que abordam telhados verdes intensivos ou semi-intensivos ainda são raramente encontrados no Brasil. Portanto, até a data deste trabalho o tipo extensivo é a opção que mais tem sido estudada, não sendo possível, através desta revisão indicar algo diferente para Florianópolis. Para projetos de telhados verdes intensivos ou semi-intensivo, seria recomendado realizar um projeto piloto para estudar seu desempenho.

A profundidade da camada substrato e o material adotado foram os critérios de projetos que receberam menos importância pelos autores nos estudos revisados. A profundidade foi adotada de acordo com recomendações encontradas na literatura, sendo utilizados valores muito diferentes de um trabalho para outro, e nos estudos 6 e 8 o valor da altura desta camada nem foi informado, portanto não foi possível recomendar uma altura ideal.

O material utilizado também não foi explicitado em alguns estudos, e a maioria utilizou solo natural encontrado no próprio local de teste. Ao optar por materiais sintéticos, deve-se ter em mente que a Lei complementar nº 651 (Florianópolis, 2018), citada no item 2.5, define que, caso o material utilizado no substrato seja sintético, este deverá ser atóxico.

A vegetação foi um critério bem diversificado entre os estudos, pois diferentes espécies conseguiram resultados satisfatórios, bem como resistiram ao clima e à variação da temperatura. Porém, como nenhuma das espécies abordadas pelos autores estão listadas como nativas da região de acordo com o Instituto Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC, 2019), elas não são consideradas “nativas de Florianópolis”, ou com “função alimentar”, como solicitado pela Lei Complementar nº 651 (Florianópolis, 2018). Por este motivo, também não foi possível obter uma sugestão quanto a espécie vegetal a ser utilizada em Florianópolis.

Com base no que foi apresentado, este trabalho conclui que os métodos internacionais de dimensionamento dos telhados verdes podem ser aplicados para Florianópolis. O telhado verde apresenta melhor desempenho quando instalado com o objetivo de reduzir o escoamento superficial, e melhorar o conforto térmico. A partir dos 9 estudos analisados, não foi possível dar sugestões em relação aos critérios de projeto que poderiam ser adotados em Florianópolis.

6 RECOMENDAÇÕES

De acordo com as observações feitas durante estes trabalhos, para estudos futuros, realizados em território brasileiro, seria interessante analisar o desempenho dos telhados verdes do tipo intensivo e semi-intensivo.

Para os trabalhos experimentais, que forem realizados futuramente em Florianópolis, se recomenda o estudo utilizando vegetação nativa, ou com função alimentar, conforme indicado pela Lei Complementar n° 651 (Florianópolis, 2018). Também analisar qual tipo de substrato e altura desta camada apresenta melhor desempenho.

Já que foi constatado que os métodos de dimensionamento indicados pelas referências internacionais são aplicáveis em Florianópolis, seria importante realizar um projeto piloto de telhado verde aplicando as equações abordadas neste trabalho, e comparar os valores calculados com os observados experimentalmente.

Por fim, mas não menos importante, recomenda-se estudos que abordem o custo-benefício dos telhados verdes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BALLARD, B. W., *et. al.* **The SUDS Manual**. C753, Londres: CIRIA-Construction Industry Research and Information Association, 2015. 937 p.

BERTOLDI, D. **Estudo de implantação de cobertura verde associada à captação de águas pluviais**. Joinville: UFSC, 2017.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Portal da Legislação**: Leis Ordinárias. Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA. **Portal da Legislação**: Leis Ordinárias. Brasília, DF, 8 jan. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BRASIL. Câmara dos deputados. Projeto de lei n° 1.794, de 2 de junho de 2015. Altera a Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, para incluir, entre o conteúdo mínimo do plano diretor, normas de verticalização e ocupação para redução de impactos ambientais por meio da instalação de coberturas vegetadas (telhados verdes) e reservatórios de águas pluviais em edifícios. **Projetos de lei e outras proposições**. Brasília, DF, 2 jun. 2015. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1301758>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

BRASIL. Câmara dos deputados. Projeto de lei nº 1.703, de 29 de junho de 2011. Dispõe sobre a instalação do denominado "Telhado Verde" e dá outras providências. **Projetos de lei e outras proposições**. Brasília, DF, 29 jun. 2011. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=510512>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

BLOG DOS ENGENHEIROS. **Telhados verdes, uma boa opção?** Disponível em <<http://blogdosengenheiros.com.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

CASTRO, A. S *et al.* **Águas pluviais urbanas: guia da oficina de capacitação**. Porto Alegre: Nudeme, 2008.

CLIMATE-DATA.ORG. Dados climáticos para cidades mundiais. 2019. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/>>. Acesso em 16 jun. 2019.

COSTA, J. ; COSTA, A. ; POLETO, C. Telhado Verde: redução e retardo do escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, edição especial, p. 50-56, 2012.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Telhados verdes no Brasil**: Parecer sobre o Projeto de Lei nº 1.703, de 2011. 2014. Disponível em <www.cbcs.org.br>. Acesso em: 04 jun. 2019.

DEPARTMENT OF PLANNING AND LOCAL GOVERNMENT. **Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region**. Government of South Australia, Adelaide, 2010. ISBN 978-1-876702-99-1

ECOTELHADO. **Soluções em sistemas para arquitetura sustentável e bioconstrução**. Disponível em: <<https://ecotelhado.com>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

ELETROSUL. **Caracterização climática de Florianópolis**: geral. 2019. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/ampnbsp/casa->

[eficienteambiente-academico-caracterizacao-climatica-de-florianopolis-geral](#)>. Acesso em: 10 jun. 2019.

FALKENBERG, D. B. **Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, sul do Brasil**. INSULA Revista de Botânica, Florianópolis, v. 28, p. 01, jan. 1999. ISSN 2178-4574.

FLETCHER, T. D., *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, 12(7), p. 525-542, 2015. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2014.916314>

FLORIANÓPOLIS. **Plano municipal integrado de saneamento básico – PMISB: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**. Secretaria municipal de habitação e saneamento ambiental – SMHSA. Prefeitura municipal de Florianópolis – PMF/SC. 2009. Disponível em <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/19_07_2010_18.19.50.0567a4211581bde5f9fb545668984ede.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2019.

FLORIANÓPOLIS. Lei complementar nº 651, de 23 de novembro de 2018. Dispõe sobre a instalação de telhado verde ou telhado branco nos locais que especifica e dá outras providências. **Leis municipais**. Florianópolis, SC, 23 nov. 2018. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/4571/leis-de-florianopolis>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GREENROOFS. **Connecting the planet + living architecture**. Disponível em:<<https://www.greenroofs.com>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama**. 2017. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Gráficos climatológicos**. 2019. Disponível em: <
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>.
Acesso em 20 jun 2019.

INVENTÁRIO FLORÍSTICO FLORESTAL DE SANTA CATARINA. **Espécies encontradas**. 2019. Disponível em: <
<https://sites.google.com/view/iffportal/produtos/esp%C3%A9cies-encontradas?authuser=0>>. Acesso em: 15 de mai. 2019.

KÖHLER, M. *et al.* **Roof Gardens in Brazil**. RIO 3 – World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, 2003.

JOBIM, A.L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013. 75p.

KLEIN, L. B. **Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial em diferentes tipos de cobertura**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017. 181 p.

LAMBERTS, R. *et al.* (Ed). **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. 1 ed. Florianópolis: UFSC/Reitoria, 2010. 123 p. ISBN: 978-85-7426-098-3

LIZ, D.G.S. **Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2016. 113 p.

MARQUES, C.E.B. **Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado em

Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-092/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 168p, 2006. Disponível em: < <http://repositorio.unb.br/handle/10482/6621>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

NEW YORK STATE. Department of Environmental Conservation. **New York State Stormwater Management Design Manual**. New York, 2015. 578 p. Disponível em: < <https://www.dec.ny.gov>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República e IBGE, Rio de Janeiro, 1989, 421 pp. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=281099&view=detalhes>>. Acesso em 14 mai. 2019.

NOYA, M. G. et al. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs. **Ecological Engineering**, ELSEVIER, v. 102, p. 662-669, Mar. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092585741730109X?via%3Dihub>>. Acesso em: 27 Abr. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.042>

OHNUMA JR, A. A. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. 331 p. Tese (Doutorado em 57 Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008

PEDRO, J. **Telhado verde, uma ótima iniciativa**. 2011. Disponível em: <<https://mundoecologia.wordpress.com/2011/02/17/teilhado-verde-uma-otima-iniciativa/>> Acesso em: 02 abr de 2019.

PENSAMENTO VERDE. **Quais as vantagens e desvantagens do telhado verde?**. Arquitetura verde, 2013. Disponível em: < <https://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/quais-as-vantagens-e-desvantagens-do-telhado-verde/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

PINTO, L. H ; PINHEIRO, S. A;. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006. 30 p.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 5(1), p. 15-23, 2000. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=46&SUMARIO=656>>. Acesso em: 26 Mar. 2019.

REIS, Flávio. **Método racional**. HidroMundo. 2017. Disponível em <<http://www.hidromundo.com.br/metodo-racional/>>. Acesso em 16 jun. 2019.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a implementação de sistemas de naturezação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina. **Legislação estadual**. Disponível em: <http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2007/14243_2007_lei.html>. Acesso em: 15 abr. 2019.

SANTOS, P. T. S. *et al.* Green roof: performance of the constructive system in the reduction of runoff. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, Mar. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212013000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 mar. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000100011>.

SANTOS, S. M. *et al.* **Desempenho térmico de telhados verdes no semiárido brasileiro**. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 13., 2017, Porto. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/319649804>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

SANTOS, S. M. *et al.* Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban areas. **Journal of Cleaner Production**, ELSEVIER, v. 219, p. 639-648, Jan. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619300794>>. Acesso em: 11 Mai. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.068>

SAVI, A. C.; TAVARES, S. F. Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais na retenção de água de chuva. **Revista de**

Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 50-67, out. 2018. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2647>. Acesso em: 11 abr. 2019. doi:<https://doi.org/10.18256/2318-1109.2018.v7i1.2647>.

SUSTENTARQUI. **Vantagens e desvantagens de um telhado verde**. Construção sustentável, 2014. Disponível em <<https://sustentarqui.com.br/vantagens-e-desvantagens-de-um-telhado-verde/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

TASSI, R. *et al.* Green roof: a sustainable alternative for stormwater management. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, Mar. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000100012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 Mar. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212014000100012>.

TEIXEIRA, C. A. *et al.* Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, abr./jun. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000200150>. Acesso em: 11 de Mai. 2019.

TOMAZ, P. “**BMP’s (Best Management Practices)**”, São Paulo: Livro Digital. Capítulo 10-Telhado verde, 2005, 185 p.

TONIAL, M. *et al.* Telhados Verdes: Uma Perspectiva Contemporânea. **Revista CIATEC-UPF**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 46–57, 2017. Disponível em :<<http://search-ebsohost-com.ez46.periodicos.capes.gov.br/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=123945621&lang=pt-br&site=ehost-live>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar., 2000.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15, pp. 9-19. 2001.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.7, n.1, p. 5-27, 2002

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2013. 943 p.