



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS DE CERRO LARGO  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**JOÃO CARLOS MACHADO DUARTE**

**APLICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE PARA A  
AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E APROVEITAMENTO DA  
ÁGUA PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

**CERRO LARGO**

**2018**

**JOÃO CARLOS MACHADO DUARTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção de grau  
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária  
da Universidade Federal da Fronteira Sul

Orientadora: Juliana Marques Schöntag

**CERRO LARGO**

**2018**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Duarte, João Carlos M.

APLICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE PARA A  
AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E APROVEITAMENTO DA  
ÁGUA PARA FINS NÃO POTÁVEIS / João Carlos M. Duarte. --  
2018.

46 f.:il.

Orientadora: Doutora Juliana Marques Schöntag.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro Largo, RS ,  
2018.

1. Telhados Verdes. I. Schöntag, Juliana Marques,  
orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III.  
Título.

JOÃO CARLOS MACHADO DUARTE

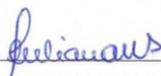
APLICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE PARA A  
AVALIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E APROVEITAMENTO DA  
ÁGUA PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Trabalho de conclusão de curso de  
graduação apresentado como requisito  
para obtenção de grau de Bacharel em  
Engenharia Ambiental e Sanitária da  
Universidade Federal da Fronteira Sul

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

12 / 12 / 2018

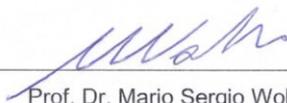
BANCA EXAMINADORA



\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Juliana Marques Schöntag – UFFS  
Orientadora



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Márcio Antônio Vendrusculo – UFFS



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mario Sergio Wolski - UFFS

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a minha mãe, não só pelo apoio financeiro durante todo tempo que estive na Universidade, mas também por sempre me aconselhar a melhorar e não desistir.

A minha irmã Larissa, que por muitas vezes fez papel de mãe, levando-me para Cerro Largo, buscando em rodoviárias, entre outros tantos esforços.

Ao meu querido sobrinho Otávio, por me dar a oportunidade de ser uma pessoa mais responsável.

A minha namorada e melhor amiga Mariana, pelo companheirismo, amor, por sempre acreditar no meu potencial, e me apoiar nos momentos difíceis.

A minha orientadora professora Dra. Juliana Marques Schöntag por todos os ensinamentos, dicas e sempre estar disponível ao esclarecimento de dúvidas.

A todos meus amigos e amigas com quem convivi, que além de me ajudarem, fizeram esta jornada muito mais prazerosa.

Aos meus cachorros que sempre me esperam com muita felicidade em casa.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram neste trabalho.

## RESUMO

Devido à grande expansão urbana no Brasil, as áreas de vegetação estão sendo removidas para a construção de estradas, prédios, indústrias entre outros. Isto acaba diminuindo as áreas permeáveis nas cidades, o que pode tornar as mesmas mais vulneráveis a enchentes, principalmente em períodos de chuvas intensas. Uma alternativa sustentável para a mitigação dos impactos causados pela impermeabilização dos solos, é a implementação de telhados verdes. Essa técnica além de atuar no amortecimento do escoamento das águas pluviais, pode melhorar o conforto térmico no local, reduzir a poluição sonora, reter poluentes atmosféricos, entre outros benefícios. Sendo assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a eficiência na retenção da água da chuva de um protótipo de telhado verde, comparando-o com um protótipo de telhado convencional, ambos localizados em Cerro Largo – RS. Além disso, foram analisados no laboratório da UFFS, alguns parâmetros de qualidade da água escoada nos protótipos, para avaliar o possível reuso não potável dessas águas. Foram monitorados 16 eventos chuvosos entre 17 de setembro e 4 de novembro de 2018. Os dados referentes às chuvas foram obtidos através da estação meteorológica localizada no campus da UFFS de Cerro Largo. A capacidade de retenção do telhado verde mostrou-se satisfatória, com um valor médio de 51% de escoamento das águas pluviais.

Palavras chave: telhado verde, águas pluviais, retenção da água.

## **ABSTRACT**

Due to the great urban expansion in Brazil, the areas of vegetation are being removed for the construction of roads, buildings, industries among others. This ends up decreasing the permeable areas in the cities, which can make them more vulnerable to flooding, especially in periods of intense rains. A sustainable alternative for the mitigation of the impacts caused by the waterproofing of the soils, is the implementation of green roofs. This technique, beyond acting in the cushioning of rainwater flow, can better the thermal comfort in the place, reduce noise pollution, retain atmospheric pollutants, among other benefits. Therefore, the objective of this work was to evaluate the rainwater retention efficiency of a green roof prototype, comparing it with a conventional roof prototype, both located in Cerro Largo - RS. Besides that, were analyzed in the laboratory of the UFFS, some parameters of quality of the water drained in the prototypes, to evaluate the possible non-potable reuse of these waters. 16 rainy events were monitored between September 17 and November 4, 2018. The rainfall data were obtained through the meteorological station located on the UFFS campus of Cerro Largo. The retention capacity of the green roof was satisfactory, with an average value of 51% rainwater runoff.

Key words: green roof, rainwater, water retention

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impactos da urbanização no escoamento superficial.....	16
Figura 2 - Diferença de escoamento superficial entre área urbanizada e não urbanizada.....	17
Figura 3 - Composição de um telhado verde.....	20
Figura 4 - Aplicação de manta asfáltica sobre um telhado.....	21
Figura 5 - Seixos para jardins.....	22
Figura 6 - Aplicação de argila expandida sobre um telhado.....	22
Figura 7 - Aplicação de grama amendoim para telhado verde.....	24
Figura 8 - Localização da Estação Meteorológica.....	29
Figura 9 - Instalação dos drenos e da camada impermeabilizante (parte interna). .....	30
Figura 10 - Instalação dos drenos (parte externa).....	31
Figura 11 - Camada de pedra brita para drenagem. ....	31
Figura 12 - Manta geotêxtil utilizada como filtro no telhado verde.....	32
Figura 13 - Aplicação do substrato.....	32
Figura 14 - Camada vegetal do telhado verde. ....	33
Figura 15 - Sistema de captação de água para o telhado verde.....	33
Figura 16 - Instalação da calha para o telhado convencional. ....	34
Figura 17 - Sistema de captação da água da chuva do telhado convencional. ....	35
Figura 18 - Volumes de água precipitados e escoados nos telhados. ....	40
Figura 19 – Relações de volume escoado/volume precipitado nos telhados. ...	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos para implantação do telhado verde. ....	36
Tabela 2 - Custos para implantação do telhado convencional. ....	36
Tabela 3 - Resultados quantitativos das precipitações nos telhados. ....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.....	27
Quadro 2 - Classificação e parâmetros de reuso de efluentes.....	28
Quadro 3 - Parâmetros de qualidade das águas pluviais.....	43

## **LISTA DE ABREVIações E SIGLAS**

°C Graus Celsius

µS Microsiemens

ABNT Agência Brasileira de Normas Técnicas

C Coeficiente de Escoamento

cm centímetro

CO<sub>2</sub> Dióxido de Carbono

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

L Litros

mm milímetro

NBR Norma Brasileira

nm Nanômetros

NMP Número Mais Provável

NTU Nephelometric Turbidity Unity

pH potencial hidrogeniônico

PVC Policloreto de vinila

RS Rio Grande do Sul

TC Telhado Convencional

TV Telhado Verde

uC Unidade de Cor

UFC Unidade de Formação de Colônias

UFFS Universidade Federal da Fronteira Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ...	16
2.2 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DOS TELHADOS VERDES.....	17
2.3 TIPOS DE COBERTURAS DE TELhado VERDE .....	19
<b>2.3.1 Cobertura Extensiva</b> .....	19
<b>2.3.2 Cobertura Intensiva</b> .....	19
2.4 COMPOSIÇÃO DOS TELHADOS VERDES .....	19
<b>2.4.1 Composição Geral</b> .....	19
<b>2.4.2 Camada de Impermeabilização</b> .....	20
<b>2.4.3 Camada Drenante</b> .....	21
<b>2.4.4 Camada Filtrante</b> .....	22
<b>2.4.5 Substrato</b> .....	23
<b>2.4.6 Vegetação</b> .....	23
<b>2.5 MONITORAMENTO METEOROLÓGICO</b> .....	24
2.6 FATORES CLIMATOLÓGICOS .....	25
<b>2.6.1 Intensidade Pluviométrica</b> .....	25
<b>2.6.2 Tempo de Recorrência</b> .....	25
2.7 QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	26
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	28
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	28
3.2 DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS .....	29
<b>3.2.1 Telhado Verde</b> .....	30
<b>3.2.2 Telhado Convencional</b> .....	33
3.3 CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS.....	35
3.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	37

3.4.1 Determinação dos volumes precipitados em cada protótipo .....	37
3.4.2 Determinação dos volumes escoados .....	37
3.4.3 Determinação do Coeficiente de Escoamento .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
4.1 ANÁLISE DA RETENÇÃO DAS ÁGUAS .....	39
4.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS .....	42
4.3 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DAS ÁGUAS ESCOADAS .....	44
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Impulsionada pelo desenvolvimento econômico, a urbanização no Brasil intensificou-se drasticamente nas últimas décadas. A população brasileira que até a década de 1950 residia predominantemente na área rural, atualmente possui aproximadamente 85% vivendo em áreas urbanas, de acordo com o CENSO 2010 do IBGE. Nesse contexto, várias obras de infraestrutura foram construídas para suprir as necessidades da população como edifícios, pavimentações, indústrias, usinas, entre outros. Entretanto, tais obras foram executadas muitas vezes sem o devido planejamento, o que acaba acarretando em diversos impactos ambientais e socioeconômicos (OLIVEN, 2010).

Uma das mudanças mais perceptíveis da urbanização é a grande remoção da cobertura vegetal pelas atividades antropogênicas, e que conseqüentemente, ocasiona a impermeabilização dos solos e a redução da infiltração dos mesmos (LIMA, 2013). Este processo causa várias conseqüências que dentre as principais está o aumento das vazões médias de cheia, pela necessidade do escoamento de altas vazões em curtos períodos, agravando assim o risco de enchentes.

Há também a diminuição do nível dos lençóis freáticos por falta de recarga, redução da qualidade da água superficial e subterrânea devido ao maior transporte de materiais sólidos, aumento da temperatura superficial, produzindo assim ilhas de calor (TUCCI, 2002). Isso também facilita o movimento ascendente de ar quente, o que pode contribuir para o aumento das precipitações.

Tendo em vista a necessidade de solucionar esse problema, algumas técnicas para a minimização do escoamento superficial estão sendo empregadas, dentre elas destaca-se a implantação de telhados verdes em edifícios e residências. Conhecidos também como telhados ecológicos, essa técnica pode reter de 10 a 35% de água em épocas chuvosas e de 65 a 100% em épocas secas (LIPTAN e STRECKER, 2003). Além disso, há outros benefícios como: maior conforto térmico, reduzindo a formação de ilhas de calor em zonas urbanas e auxiliando na economia de energia elétrica em épocas quentes; retenção de poluentes atmosféricos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

melhorando assim a qualidade do ar; redução da poluição sonora, entre outros benefícios (JOBIM, 2013).

No Brasil, os telhados verdes ainda são pouco difundidos, seja pela falta de informação sobre a técnica, ou pelos custos de implantação, que geralmente são mais caros que os telhados tradicionais (LIMA, 2013). Com esse cenário, o presente trabalho pretende analisar a eficiência de um protótipo de telhado verde na retenção das águas pluviais e ainda verificar os possíveis usos da mesma para fins não potáveis como lavagem de calçadas e veículos, para que no futuro essa técnica seja mais difundida e viável.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência na retenção das águas pluviais em um protótipo de telhado verde do tipo extensivo, com cobertura de grama em relação ao telhado convencional.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

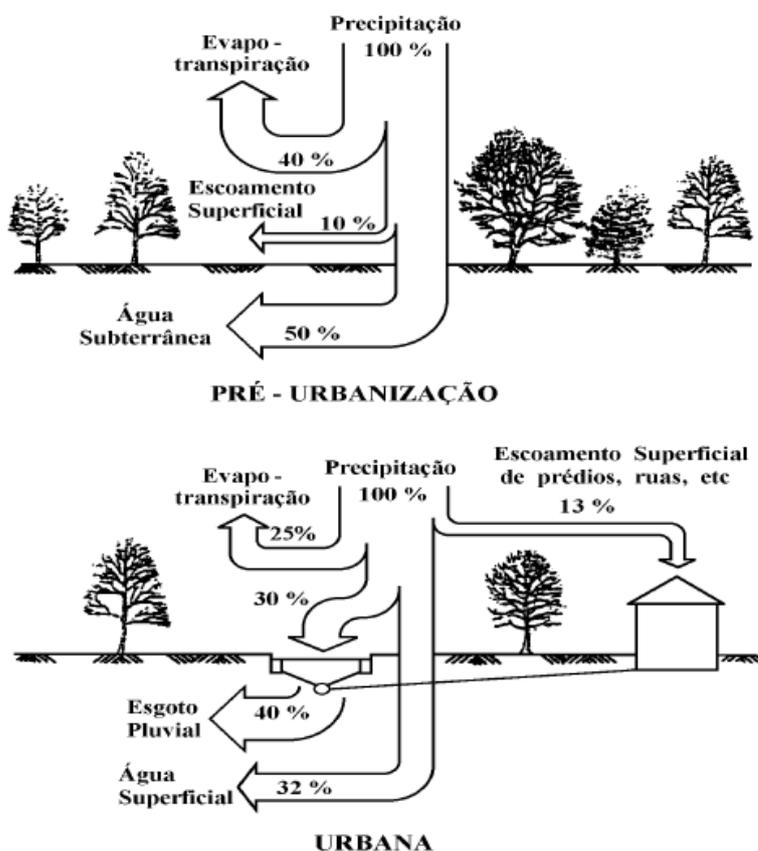
- Determinar o volume de água retido no telhado verde, comparando-o com um telhado convencional;
- Avaliar a qualidade da água da chuva através da análise de parâmetros físico-químicos como pH, turbidez, condutividade, absorvância (254 nm), e coliformes termotolerantes;
- Direcionar os possíveis usos das águas conforme os padrões de qualidade da mesma.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A expansão urbana no Brasil ocorre em grande parte sem ou com pouca obediência de regulamentações relacionadas com o Plano Diretor dos municípios e normas específicas de loteamentos, como por exemplo a expansão irregular das periferias pela população de baixa renda. Esta prática dificulta o planejamento das ações não estruturais do controle ambiental urbano (TUCCI, 2001). O processo de urbanização provoca a redução da cobertura vegetal modifica o ciclo hidrológico nas cidades, através da diminuição das taxas de infiltração da água para os aquíferos (figura 1), assim como a evapotranspiração (CASTRO e GOLDENFUM, 2008).

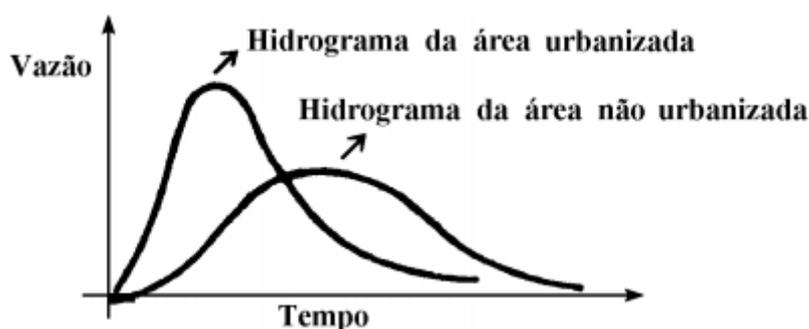
**Figura 1 - Impactos da urbanização no escoamento superficial.**



Fonte: Tucci, 2002.

Uma das principais consequências deste processo são as inundações, que ocorrem principalmente em grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Brasília e que causam grandes prejuízos à população (COSTA, 2013). Isto ocorre principalmente em chuvas intensas, devido a necessidade de escoamento de grandes vazões em um curto período de tempo, como pode ser observado na figura 2.

**Figura 2 - Diferença de escoamento superficial entre área urbanizada e não urbanizada.**



Fonte: Tucci (2007).

## 2.2 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DOS TELHADOS VERDES.

No início, a finalidade dos telhados verdes era basicamente a estética. O Jardim Suspenso da Babilônia (atualmente no Iraque) talvez seja o mais antigo registro dessa técnica na história, sendo construídos entre 600 a.C. e 450 a.C. (ARAUJO, 2007).

Já na Escandinávia, uma mistura de terra e grama era usada nos telhados como isolante térmico, devido as baixas temperaturas da região. Abaixo dessa camada eram colocadas pesadas vigas de madeira intercaladas com cascas de árvores para a impermeabilização (apud WILLES, 2014).

Á partir da década de 1960, foram desenvolvidas várias técnicas de telhados verdes, principalmente na Alemanha. Com a intensificação da pesquisa, foram abordados vários tipos de materiais influentes no método como camadas drenantes, membranas impermeabilizantes, substratos e espécies de plantas apropriadas para o cultivo (ARAUJO, 2007). Nos anos 80, a aplicação dos telhados verdes em maior escala foi estimulada por leis municipais,

estaduais e federais que subsidiavam de 35 a 40 marcos alemães por metro quadrado de cobertura verde a ser construída.

Em 2010, a cidade de Toronto no Canadá tornou-se a primeira na América do Norte a adotar os telhados verdes como medida pública. Tal medida resultou em aproximadamente 1,2 milhões de metros quadrados verdes na cidade e 1,5 milhões de kWh de energia. Recentemente, Copenhague, capital da Dinamarca, também adotou essa prática com o objetivo de acabar com as emissões de carbono até 2025 (MIWA, 2014).

No Brasil, a implantação de telhados verdes ainda é pouco difundida, porém algumas cidades estão dando passos importantes para melhorar esse panorama. Em Blumenau, no Estado de Santa Catarina, foi sancionada em fevereiro a Lei Complementar nº 1174/2018 que tem como finalidade promover o uso de coberturas vegetais sobre lajes e edificações na cidade catarinense. Atualmente, o Código de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo (Lei Complementar nº. 751/ 2010) prevê que 20% da área do terreno sejam permeáveis, ou seja, que permita a infiltração das águas no solo. Com a nova lei, no entanto, essa área poderá ser reduzida pela metade, desde que a edificação utilize o telhado verde em igual proporção e vinculado a uma caixa de retenção das águas pluviais.

Já na capital de Pernambuco, Recife, foi sancionada em 2015 a Lei nº 18.112 que torna obrigatório prédios residenciais com mais de quatro pavimentos a implantarem telhados ecológicos. Além disso o projeto de lei prevê a construção de reservatórios para captação de água da chuva em novos imóveis, residenciais ou comerciais, que possuam área de solo com mais de 500 metros quadrados e com 25% do terreno impermeabilizado.

Em 2014, foi sancionada em Porto Alegre – RS, a Lei Complementar Nº 794 na qual altera o Código de Edificações do município (Lei Complementar 284/1992), e que autoriza o uso de telhado verde sobre lajes e outras coberturas. De acordo com a lei, o telhado verde deverá ser do tipo extensivo e não possuirá pavimento utilizável, sendo esse reservado para a circulação de acesso ao equipamento.

## 2.3 TIPOS DE COBERTURAS DE TELHADO VERDE

Os telhados verdes podem ser classificados por dois tipos principais de cobertura vegetal: a extensiva e a intensiva.

### 2.3.1 Cobertura Extensiva

Para esse tipo de cobertura, necessita-se de uma camada mais fina de substrato, variando de 15 a 25 centímetros de espessura, pelo fato das plantas que compõem esse tipo de cobertura geralmente se desenvolverem espontaneamente. Sua carga fica entre 70 e 170 quilos por metro quadrado, sendo indicadas para grandes áreas, com declividade de até 20° (JOBIM, 2013). Por não requerer grande manutenção, é mais viável financeiramente, entretanto, suporta menos carga de águas pluviais que as coberturas intensivas (LOHMANN, 2008).

### 2.3.2 Cobertura Intensiva

Estes tipos de coberturas possuem uma espessura maior de substrato, geralmente acima de 20 centímetros, desse modo, suportam espécies de plantas de maior porte e, conseqüentemente maior carga de águas pluviais. Porém, requerem maiores cuidados como podas mais regulares e uso de fertilizantes, resultando em maiores custos que nos telhados extensivos. Além disso, necessitam de uma estrutura que suporte aproximadamente 300 kg/m<sup>2</sup> de carga e preferencialmente não devem ser aplicadas em áreas inclinadas (KLEIN, 2017).

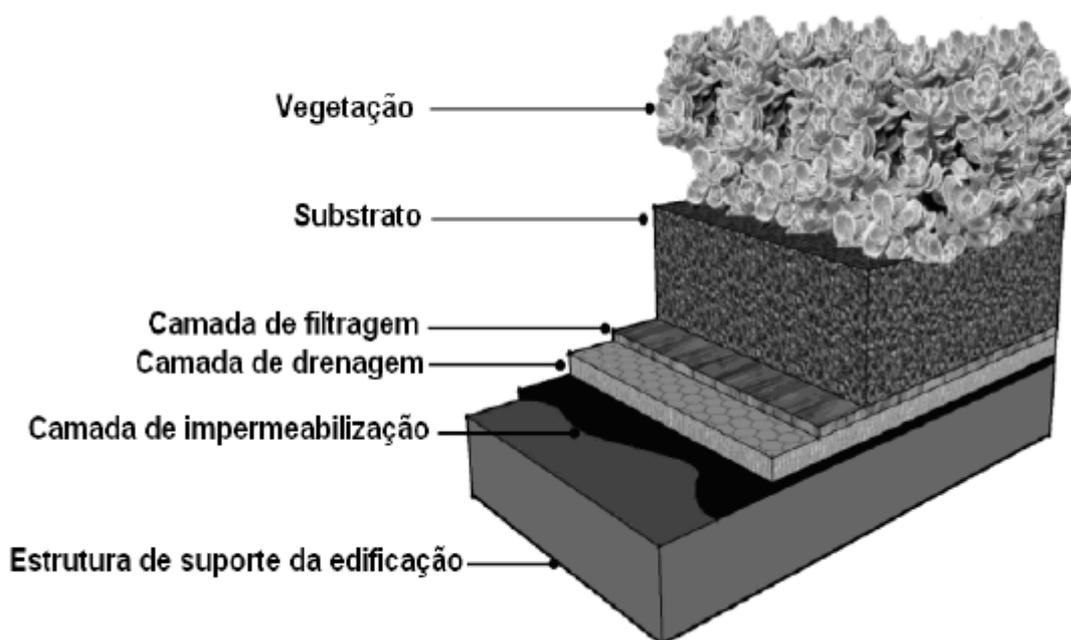
## 2.4 COMPOSIÇÃO DOS TELHADOS VERDES

### 2.4.1 Composição Geral

As coberturas vegetais podem ser empregadas sobre vários sistemas estruturais, construídos em madeira, perfis e chapas metálicas, concreto,

plásticas e entre outros (LOHMANN,2008). O modelo de telhado ecológico mais simples e comum é do tipo extensivo, sendo composto basicamente por cinco camadas: vegetação, substrato, camada de filtragem, de drenagem e de impermeabilização (figura 3). Pode-se ainda utilizar outras camadas como manta anti raiz ou camada de substrato rígido (JOBIM, 2013). A caracterização de cada camada será apresentada a seguir.

**Figura 3 - Composição de um telhado verde.**



Fonte: Adaptado de Martin (2008).

#### **2.4.2 Camada de Impermeabilização**

A camada impermeabilizante tem como finalidade evitar que a água penetre a base do telhado verde, e deteriore a estrutura. Elas podem ser divididas em sistemas rígidos e flexíveis (LOHMANN, 2008). Dentre os sistemas rígidos destacam-se a argamassa polimérica e a argamassa impermeável. Já as flexíveis, as mantas asfálticas, as geomembranas de PVC e as membranas de poliuretano são as mais utilizadas. Os sistemas flexíveis caracterizam-se pela melhor adaptação às contrações e dilatações térmicas que as estruturas podem sofrer.

**Figura 4 - Aplicação de manta asfáltica sobre um telhado.**



Fonte: <http://diarquitecto.blogspot.com/2012/10/telhado-verde.html>.

### **2.4.3 Camada Drenante**

Tem como função drenar o excesso de água e funciona também como filtro. A boa drenagem pode servir para estabilização do sistema, separando a parte do substrato da captação de águas. A remoção do excesso de água previne que o solo fique saturado e que haja escoamento de água sobre o substrato, sem sua captação (LOHMANN, 2008). Ela também pode armazenar determinada quantidade de água que poderá ser utilizada pela vegetação em períodos mais secos (JOBIM, 2013).

Se a drenagem não for adequada, ela pode comprometer a atuação das membranas impermeabilizantes. Em coberturas planas, o contato com água ou solo úmido, faz com que se armazene água, ocorrendo dessa forma a percolação da mesma, o que pode gerar problemas para a estrutura do telhado verde, reduzindo assim a vida útil do mesmo. A camada drenante pode ser composta por britas, cascalho, seixos, módulos de plástico ou poliestireno, argila expandida, tecidos porosos, entre outros materiais (LOHMANN, 2008).

**Figura 5 - Seixos para jardins.**



Fonte: <http://hmjardins.com.br/produtos/pedra-terra-adubo/seixo-parana/>.

**Figura 6 - Aplicação de argila expandida sobre um telhado.**



Fonte: <https://www.cinexpan.com.br/enchimento-leve-para-laje.html>.

#### **2.4.4 Camada Filtrante**

Serve para a retenção de partículas provenientes da poluição atmosférica, que seriam levadas pela água das chuvas, evitando também que partículas finas passem para as camadas inferiores, evitando o entupimento do sistema (KLEIN,

2017). O material mais utilizado para essa camada é a manta geotêxtil, feita de poliéster ou polipropileno, cujo material é bastante resistente à degradação química e biológica, possui alta permeabilidade e resistência mecânica (JOBIM, 2013).

#### **2.4.5 Substrato**

A função da camada de substrato é servir água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas, assim como suporte para as raízes desta. A escolha do substrato é de extrema importância, pois, este componente pode influenciar diretamente na capacidade de retenção e qualidade das águas da chuva, e também no fluxo de calor na cobertura (KLEIN, 2017). Isto pode ser obtido por meio da mistura de minerais granulares que absorvem água e ao mesmo tempo são porosos para a drenagem. Por se tratar de um composto orgânico, o substrato deverá ter uma grande durabilidade e fertilidade, proporcionando assim, boas condições para o enraizamento e desenvolvimento da camada vegetal (JOBIM, 2013).

A composição deve ser de preferência de materiais leves e resistentes, com o objetivo de reduzir o peso sobre a estrutura. A porcentagem ideal é entre 30% a 40% de substrato e 60% a 70% de poros, tendo uma boa retenção de umidade e capacidade de aeração nas raízes das plantas (LOHMANN, 2008).

#### **2.4.6 Vegetação**

Para a escolha da camada vegetal a ser plantada na cobertura, devem ser considerados alguns fatores como: as condições climáticas locais, espessura e tipo do substrato empregado, capacidade de transpiração e de auto reparação. Para coberturas verdes extensivas é favorável que a vegetação seja resistente a períodos secos, exija pouca manutenção, tenha raízes curtas, se multiplique rapidamente e ofereça boa cobertura de folhas (KLEIN, 2017).

As espécies de vegetação mais adequadas para coberturas extensivas são vegetações rasteiras (LOHMANN, 2008). Elas podem ser aplicadas através da plantação de sementes ou serem cultivadas em mantas ou módulos, para posteriormente serem transferidas e fixadas na cobertura.

Na região Sul, para os telhados extensivos destacam-se as espécies Capim-chorão (*Eragrotis Curvula*), Grama-amendoim (*Arachis Repens*), Vedélia (*Sphagneticolarilobata*), Grama-batatais (*Paspalum Notatum*), entre outras (JOBIM, 2013).

**Figura 7 - Aplicação de grama amendoim para telhado verde.**



Fonte: <https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/>.

## 2.5 MONITORAMENTO METEOROLÓGICO

O estudo das condições climáticas de cada região é fundamental no planejamento dos telhados verdes, pois estas variam dentro de cada zona bioclimática (KLAIN, 2017). Como visto anteriormente, a evapotranspiração corresponde a aproximadamente 40 % do balanço hídrico nas áreas verdes, e vários fatores influenciam na mesma como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar velocidade do vento, chuva e pressão de vapor, entre outros (MEDEIROS, 2012).

Como as condições climáticas que afetam na retenção de água das coberturas vegetais poderem variar drasticamente, o monitoramento das precipitações a curto prazo pode não oferecer informações suficientes para a execução dos projetos (MARTIN, 2008).

## 2.6 FATORES CLIMATOLÓGICOS

### 2.6.1 Intensidade Pluviométrica

É definido como o quociente entre a altura pluviométrica precipitada num intervalo de tempo e este intervalo (ABNT, 1989), geralmente expressa em mm/h.

Sua determinação é obtida através de equações empíricas, denominadas equações de intensidade-duração-frequência (IDF), provenientes de dados pluviométricos de estações locais, ao longo de longos períodos de observações (Cecílio *et al.*, 2009). A equação de intensidade de chuva poder ser expressa da seguinte forma:

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

Onde:

I: intensidade pluviométrica (mm/h)

a, b, c e d são parâmetros característicos da IDF local

t é o tempo de duração da chuva (min)

T<sub>R</sub> é o tempo de recorrência em anos

Como Cerro Largo não possui estação meteorológica credenciada pelo INMET, os parâmetros a, b, c e d não podem ser obtidos. Para se calcular a intensidade pluviométrica, pode-se utilizar dados da estação de São Luiz Gonzaga, que é a estação mais próxima credenciada pelo INMET.

### 2.6.2 Tempo de Recorrência

Conhecido também como Período de Retorno, é o tempo médio em anos que, para uma mesma duração de precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada pelo menos uma vez (ABNT, 1989). Esse parâmetro é dado pela equação a seguir.

$$T_R = \frac{1}{p}$$

Onde:

$T_R$  é o tempo de recorrência em anos

$P$  é a probabilidade de o evento ser igualado ou ultrapassado.

## 2.7 QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Como citado anteriormente, um dos objetivos desse trabalho é analisar a qualidade das águas da chuva, para indicar seus possíveis usos, de acordo com parâmetros físico-químicos. As características das águas pluviais variam de uma região para outra. Alguns fatores influenciam sua qualidade como a vegetação local, poluição atmosférica, condições meteorológicas, entre outros (TEIXEIRA et al., 2017). Para o reaproveitamento dessas águas em edificações no Brasil, a NBR 15527 de 2007 estabelece alguns parâmetros de qualidade da água para fins não potáveis mais restritivos, porém, a mesma cita que os padrões podem ser definidos pelo projetista de acordo com o tipo de reuso necessitado. O Quadro 1 mostra os parâmetros de qualidade da água para usos mais restritivos.

**Quadro 1 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Análise</b>	<b>Valor</b>
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre <sup>a</sup>	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT <sup>b</sup> , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH <sup>c</sup>
Deve prever ajuste do pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Fonte: Adaptado da NBR 15527 (2007).

**Notas:** <sup>a</sup> No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

<sup>b</sup> uT é a unidade de turbidez.

<sup>c</sup> uH é a unidade de cor.

Como essa norma não especifica o uso de telhados verdes para o reaproveitamento da água, outra norma pode ser abordada para a avaliação da qualidade dessas águas, como a NBR 13969 de 1997 que estabelece parâmetros de qualidade para o reuso de efluentes domésticos, com o reuso dividido em quatro classes, como mostra o Quadro 2.

**Quadro 2 - Classificação e parâmetros de reuso de efluentes.**

Classe	Reuso	Parâmetros
1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	turbidez < 5 NTU; coliformes fecais < 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais < 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
2	lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	turbidez < 5 NTU; coliforme fecal < 500 NMP/100 mL; cloro residual > 0,5 mg/L.
3	reuso nas descargas dos vasos sanitários	turbidez < 10 NTU, coliformes fecais < 500 NMP/100 mL
4	reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliforme fecal < 5 000 NMP/100 mL; oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L; As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: Adaptado da NBR 13969 (1997).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os protótipos foram implantados no campus da UFFS de Cerro Largo, mais precisamente, na área em que está localizada a Estação Meteorológica da universidade, utilizada para a busca dos dados pluviométricos presentes nesse

trabalho. De acordo com dados do IBGE, o município de Cerro Largo possui uma população de 14.074 habitantes, com uma área de 177,675 km<sup>2</sup>, localizado na região Noroeste do Rio Grande do Sul e seu clima é o subtropical úmido (WREGE, 2012). A localização da estação meteorológica da UFFS campus Cerro Largo pode ser visto na figura abaixo.

**Figura 8 - Localização da Estação Meteorológica**



Fonte: Google Maps.

### 3.2 DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS

Foram construídos dois telhados para a comparação dos volumes de escoamento das águas pluviais e a qualidade das mesmas: um telhado verde do tipo extensivo e um telhado convencional de fibrocimento.

As estruturas que serviram de suporte para o telhado verde e o telhado convencional foram construídas em madeira de *pinus* autoclavado, em uma marcenaria de Cerro Largo e ambas possuíam cerca de 12° de inclinação. Para o telhado verde, uma caixa de madeira, também de *pinus*, com aproximadamente 1 m<sup>2</sup> de área e com 30 cm de altura, na qual as camadas, impermeabilizante, drenante, filtrante, de substrato e vegetação foram arranjadas, e que serão descritas detalhadamente em seguida.

### 3.2.1 Telhado Verde

A primeira etapa de montagem do telhado ecológico consistiu na instalação dos drenos na parte inferior da caixa de madeira e a impermeabilização da mesma. Para a impermeabilização, uma lona de poliuretano foi colocada em duas camadas, de modo a cobrir toda a área interna da caixa. Em seguida, foram feitos pequenos cortes na lona na parte em que os três orifícios estavam, nos quais foram colocados e colados, com auxílio de cola de silicone, os adaptadores com flange de PVC de 25mm de diâmetro, que serviram de drenos para a passagem da água da chuva até os reservatórios. Essas etapas podem ser vistas nas figuras 9 e 10.

**Figura 9 - Instalação dos drenos e da camada impermeabilizante (parte interna).**



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 10 - Instalação dos drenos (parte externa).**



Fonte: Elaborada pelo autor.

O próximo passo foi o assentamento de aproximadamente 7 centímetros de pedra brita para exercer a função de drenagem da água (figura 11). Outra opção para essa função seria a utilização de argila expandida, pelo seu peso ser mais reduzido, porém, optou-se a pedra brita pelo seu baixo custo. Acima da camada drenante, foi colocada uma camada de manta geotêxtil que serviu de camada filtrante (figura 12). Em seguida, foi colocada a camada de substrato orgânico com cerca de 15 centímetros de altura (figura 13).

**Figura 11 - Camada de pedra brita para drenagem.**



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 12 - Manta geotêxtil utilizada como filtro no telhado verde.**



Fonte: <https://dalagro.com.br/produto/manta-bidim/>.

**Figura 13 - Aplicação do substrato.**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a camada vegetal, foi utilizada grama-esmeralda (*Zoysia japonica*), que foi retirada dos arredores da estação meteorológica. A figura 14 mostra o telhado após essa etapa.

**Figura 14 - Camada vegetal do telhado verde.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a captação das águas pluviais, foi construído um sistema com tubo de PVC de 100 mm, que saiam dos drenos e eram interligados até uma saída para uma bombona, que foi utilizada como reservatório (figura 15).

**Figura 15 - Sistema de captação de água para o telhado verde.**



Fonte: Elaborada pelo autor.

### **3.2.2 Telhado Convencional**

Para esse telhado foi utilizado telha de fibrocimento de 4mm de espessura, que foram parafusadas diretamente na estrutura de madeira mencionada anteriormente. Para a captação da água, foi construída uma calha

através do corte longitudinal na metade de um tubo de PVC de 100 mm. Numa extremidade foi acoplado um CAP e na outra uma curva de 90°, com uma redução de 100 para 75 mm na saída, na qual foi colocado um funil de cozinha no diâmetro menor. Por fim, na saída do funil foi ligada uma mangueira de silicone que foi direcionada para o reservatório, idêntico ao do telhado verde. Essas etapas são mostradas nas figuras 16 e 17.

**Figura 16 - Instalação da calha para o telhado convencional.**



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 17 - Sistema de captação da água da chuva do telhado convencional.**



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3 CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Para a implantação dos dois protótipos, foi necessária a compra de vários materiais. O telhado verde obteve maior custo se comparado ao telhado convencional. As duas estruturas de suporte para os telhados custaram R\$ 485,00. A Tabela 1 mostra a relação de materiais empregados no telhado verde e os custos aproximados. A grama utilizada no protótipo foi doada pela universidade, sendo assim, não houve custos com essa etapa.

**Tabela 1 - Custos para implantação do telhado verde.**

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo aproximado (R\$)</b>
Lona impermeabilizante	8 m <sup>2</sup>	15
Pedra brita	0,08 m <sup>3</sup>	17
Manta geotêxtil	2 x 2,20 m	24
Substrato orgânico	40 quilos	40
Adaptadores com flange (PVC – 25 mm)	3 unidades	21
Tubo PVC – 25 mm	3 metros	7
Joelhos, tês e adaptadores (PVC – 25 mm)	6	6
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 130</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a Tabela 2 mostra os materiais e os respectivos custos para a implantação do telhado convencional.

**Tabela 2 - Custos para implantação do telhado convencional.**

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo aproximado (R\$)</b>
Telha de fibrocimento	2 (1,22 x 0,5 m)	26
Tubo PVC – 100 mm	3 metros	14
Joelho 90° PVC – 100 mm	1	6
Redução PVC – 100 para 70 mm	1	14
Funil	1	4
<b>Total</b>		<b>R\$ 64</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como podem ser observados nas Tabelas 1 e 2, foram gastos no telhado verde e no telhado convencional aproximadamente 130 e 64 reais, respectivamente. Considerando o custo da estrutura, o telhado verde apresentou um custo de R\$ 371,00 e o telhado convencional apresentou um custo de R\$ 305,00. Assim, evidenciou-se que o telhado verde necessita de um investimento inicial maior se comparado ao telhado convencional.

### 3.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS ÁGUAS PLUVIAIS

#### 3.4.1 Determinação dos volumes precipitados em cada protótipo

Os volumes de água precipitados nos telhados foram obtidos através da altura pluviométrica (em milímetros) de cada evento chuvoso, cujos valores foram extraídos da estação meteorológica da UFFS, e da área de captação dos protótipos. A obtenção dos volumes do telhado verde e do convencional são obtidos pela equação 1.

$$V = P * A_c$$

Onde:

V é o volume de água precipitado (L)

P é a altura pluviométrica (mm)

$A_c$  é a área de captação do telhado ( $m^2$ )

#### 3.4.2 Determinação dos volumes escoados

Os volumes escoados em cada reservatório eram medidos sempre após um evento chuvoso, através de um recipiente graduado com capacidade de dois litros. Os reservatórios possuíam capacidade de 60 litros, assim, se em algum caso os volumes escoados excedessem esse valor, a medida deveria ser descartada, porém, em nenhum caso isso ocorreu.

### 3.4.3 Determinação do Coeficiente de Escoamento

O coeficiente de escoamento foi determinado para analisar a eficiência na retenção da água da chuva em cada sistema. Esse parâmetro adimensional tem valores que variam de 0 a 1, e representam a porcentagem da água que foi escoada. Quanto mais próximo de 1 for o resultado, maior será a porcentagem de escoamento da água. Este coeficiente foi obtido pela equação abaixo.

$$C = \frac{V_e}{V_p}$$

Onde:

C é o coeficiente de escoamento (adimensional)

$V_e$  é o volume escoado em cada sistema (L)

$V_p$  é o volume precipitado em cada sistema (L)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE DA RETENÇÃO DAS ÁGUAS

Foram analisados 16 eventos de precipitação, no período de 17 de setembro a 04 de novembro de 2018. Os volumes foram medidos com o auxílio de um recipiente graduado com capacidade de dois litros. A tabela mostra as datas das coletas, com os respectivos volumes coletados nos telhados referentes a cada volume de chuva precipitado.

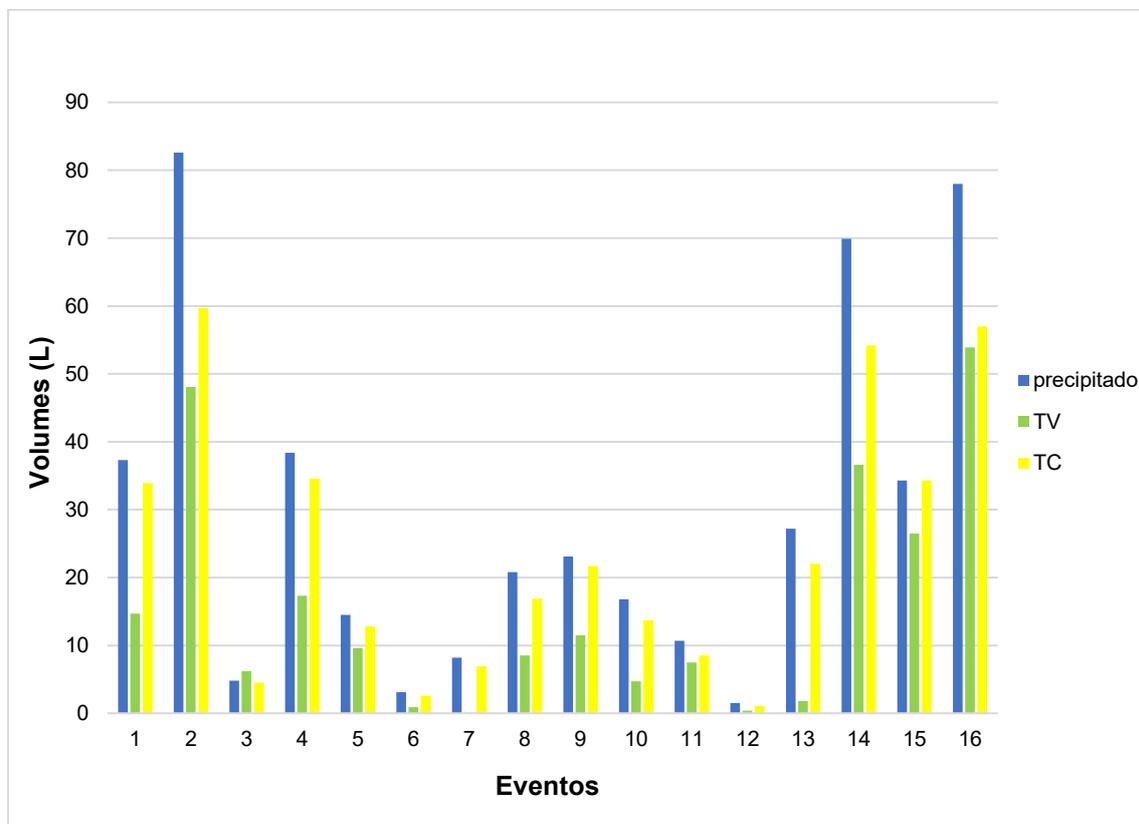
**Tabela 3 - Resultados quantitativos das precipitações nos telhados.**

Evento	Data das coletas	Precipitação (L)	Volumes Escoados (L)		Vol. escoado/Vol. precipitado	
			TV	TC	TV	TC
1	17/09/2018 - 14:00	37,3	14,7	33,9	0,39	0,91
2	25/09/2018 - 14:20	82,6	48,1	59,7	0,58	0,72
3	26/09/2018 - 15:50	4,8	6,2	4,5	1,29	0,94
4	01/10/2018 - 10:20	38,4	17,3	34,6	0,45	0,90
5	02/10/2018 - 10:20	14,5	9,6	12,8	0,66	0,88
6	03/10/2018 - 14:00	3,1	0,9	2,6	0,29	0,84
7	08/10/2018 - 14:00	8,2	0,025	6,9	0,003	0,84
8	10/10/2018 - 14:40	20,8	8,5	16,9	0,41	0,81
9	13/10/2018 - 15:30	23,1	11,5	21,7	0,50	0,94
10	17/10/2018 - 18:30	16,8	4,7	13,7	0,28	0,82
11	18/10/2018 - 15:40	10,7	7,5	8,5	0,70	0,79
12	23/10/2018 - 13:40	1,5	0,4	1,1	0,27	0,73
13	26/10/2018 - 22:30	27,2	1,8	22	0,07	0,81
14	31/10/2018 - 15:40	69,9	36,6	54,2	0,52	0,78
15	01/11/2018 - 08:20	34,3	26,5	34,1	0,77	0,99
16	04/11/2018 - 20:00	78	53,9	57	0,69	0,73

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como pode ser observado na Tabela 1, os volumes escoados nos dois telhados foram menores que o volume precipitado, como era esperado, pois há perdas no sistema, decorrentes de evapotranspiração, estanqueidade do sistema, entre outros. Entretanto, nota-se que na coleta do dia 26 de setembro, o volume escoado no telhado verde foi maior que o precipitado, resultando em uma relação escoado/precipitado maior que 1, ou seja, fora do intervalo de 0 a 1 que deveria resultar. Este volume superior ao que foi precipitado é resultante do excedente do volume escoado nos dias anteriores a essa coleta. Dos 6,2 litros escoados do telhado verde no dia 26 de setembro, uma parcela é referente a chuva desse mesmo dia e outra é referente aos dias anteriores. Isto acontece devido ao retardamento do escoamento do telhado verde, principal motivador de aplicação dessa técnica que atenua os picos de vazão de escoamento superficial. Ou seja, na segunda coleta foi contabilizado 48,1 litros de água nesse telhado, porém, a água dessa chuva continuou a escoar e parte dela foi contabilizada na terceira coleta, como pode ser visto também na figura abaixo.

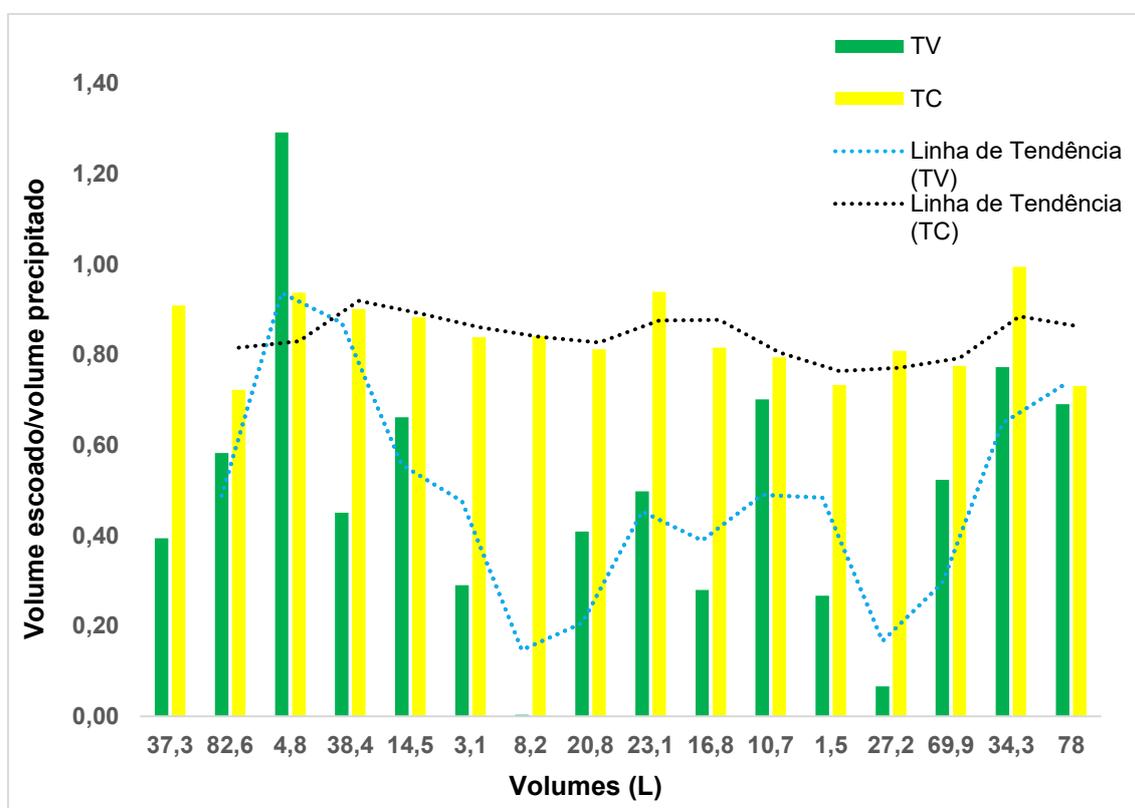
**Figura 18 - Volumes de água precipitados e escoados nos telhados.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a figura 19 mostra os coeficientes de escoamento dos dois protótipos em cada evento chuvoso. Nota-se que no telhado verde há uma grande variação desse coeficiente, onde não há uma tendência definida, diferentemente do telhado convencional. Isto possivelmente ocorre devido as parcelas de água “perdida” na evapotranspiração da camada vegetal, entre outros fatores. As médias de retenção das águas pluviais no telhado verde e no telhado convencional foram de 51 e 19% respectivamente.

**Figura 19 – Relações de volume escoado/volume precipitado nos telhados.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que no sistema de captação de água no telhado convencional, em chuvas intensas poderiam haver perdas dessa água, pois, há uma redução brusca do diâmetro, da calha até a mangueira de silicone, o que poderia causar o transbordamento da água na calha. Porém, como pode ser observado no gráfico acima, os volumes de água escoados nesse protótipo foram superiores ao protótipo verde (com exceção no evento 3).

## 4.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS

Como citado anteriormente, a NBR 15527/2007 determina alguns parâmetros de qualidade da água de chuva para fins não potáveis e seus respectivos limites. Desses parâmetros, foram analisados coliformes totais e termotolerantes, turbidez, cor aparente e pH. Condutividade, absorvância e temperatura também foram analisados. Dos 16 eventos chuvosos monitorados, em cinco não houve análise microbiológica de coliformes totais e coliformes termotolerantes, pela falta de material para a análises dos mesmos.

Com relação aos coliformes, foram detectados coliformes totais e *E. coli* em ambos telhados, porém, no telhado convencional, cinco das onze análises não resultaram em coliformes totais e termotolerantes. Já no telhado verde, todas as amostras apresentaram valores significativos desses parâmetros, conforme mostra o Quadro 3.

Nas análises de turbidez, os dois protótipos apresentaram valores maiores que 2 NTU (limite máximo) em todas amostras, sendo que no telhado verde todos os valores foram maiores que 5 NTU (limite para usos menos restritivos), logo, as águas desse telhado não se enquadram nessa norma. Os valores elevados de turbidez podem ser em decorrência da presença de matéria orgânica do substrato utilizado no telhado verde.

Já no parâmetro de cor aparente, todas as amostras do telhado verde resultaram em valores superiores ao limite determinado pela norma ( $< 15$  uC). Nas amostras do telhado convencional, 9 delas apresentaram valores menores que 15 uC.

Os valores de pH não tiveram grandes variações em ambos protótipos, com o telhado verde tendo uma média de pH de 6,6 e o telhado convencional uma média de 7,9.

Para a melhor compreensão dos resultados, o Quadro 3 apresenta todos os valores dos parâmetros analisados nos 16 eventos monitorados nos respectivos telhados.

**Quadro 3 - Parâmetros de qualidade das águas pluviais.**

Evento	Parâmetros de qualidade da água															
	Temp. (°C)		pH		Turbidez (NTU)		Cor (uC)		Condutividade (µS/cm)		Absorbância - 254 nm		Coli. Termot. (UFC/100g)		Coli. Totais (UFC/100g)	
	TV	TC	TV	TC	TV	TC	TV	TC	TV	TC	TV	TC	TV	TC	TV	TC
1	21,2	20,7	6,08	8,95	46	15,5	97	0	3,441	85,96	0,186	0,033	5040	360	5040	360
2	20,5	20,2	6,12	8,42	16,7	14,2	59,8	13	5,227	87,32	0,125	0,059	400	1840	400	1841
3	21,5	21,2	5,95	7,48	52	10,7	131,6	0	1261,9	130,55	0,233	0,084	-	-	-	-
4	23	22,9	5,99	7,37	75	4,8	928,4	51,8	1055,9	89,75	0,239	0,007	3760	160	3760	160
5	19,5	20,1	6,51	7,53	90	4,2	1056	0	850,5	51,33	0,154	0,012	4960	80	4960	80
6	20,3	20,2	6,81	7,66	20,3	5,7	589,8	32,7	895,9	126,28	0,119	0,09	160	240	160	240
7	24,9	26,5	6,31	7,87	114	6,4	1186,2	36,6	1638,3	106,77	0,282	0,022	3600	0	3600	0
8	24,1	24,3	6,54	7,55	40	3,8	726,6	37,5	921,2	67,78	0,102	0,008	2000	80	2000	80
9	20,4	20,5	6,69	7,9	74	5,1	797	9,6	766,8	73,66	0,173	0,033	2400	0	2400	0
10	22,2	22,1	6,61	7,85	61	8,5	978	52,4	726,6	83,15	2,314	0,028	720	0	720	0
11	28,3	28,3	6,73	7,8	46	8,4	816,2	30,4	858,2	94,61	2,122	0,033	160	0	160	0
12	26,4	27,8	6,74	7,53	27	12,3	638,4	65,8	1356,1	211,8	2,741	0,151	-	-	-	-
13	18,1	18,7	7,28	9,53	54	6,3	778	4,6	343,9	97,78	2,7	0,039	-	-	-	-
14	21,3	21	7,03	7,52	50	7,4	720,4	5,9	394,5	54,23	1,692	0,025	5400	720	5400	720
15	21,2	21,2	7,18	7,67	51	1,7	848,8	0	343,4	59,12	1,733	0,013	-	-	-	-
16	24,4	23,5	7,34	7,86	89	2,4	1153,8	6,9	406	41,73	1,761	0,018	400	0	400	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como abordado anteriormente, os telhados verdes não se enquadram na NBR 15527/2007, pois esta não especifica o uso dessa técnica ou outra similar. Nesse contexto, a água do telhado verde pode ser considerada como um efluente doméstico e, portanto, se enquadrando na NBR 13969/1997.

Nessa resolução, as classes 1, 2 e 3 definem valores máximos de turbidez para o reuso de efluentes, com as duas primeiras devendo ter valores menores que 5 NTU e 10 NTU respectivamente. Porém, todas as análises da água do telhado verde apresentaram valores superiores que 10 NTU, portanto, não podendo ser reaproveitadas nessas classes.

Já em relação aos coliformes fecais, os efluentes que apresentarem valores menores que 5000 NMP/100mL, podem ser enquadradas na classe 4, cujos padrões de qualidade são mais amplos. Assim, das 16 análises desse parâmetro nas águas do telhado verde, nove delas estariam dentro da classe 4, com a possibilidade de seu reuso em pomares, áreas de pastagem para gado entre outros fins menos nobres (NBR 13969/1997).

Os elevados valores de turbidez e coliformes são decorrentes provavelmente pela matéria orgânica presente no substrato e na camada vegetal do telhado verde, além disso, dejetos de pássaros entre outros fatores também podem estar presentes.

Caso exista a necessidade de uma boa qualidade das águas escoadas, tanto no telhado verde como no convencional, são necessários algum tipo de tratamento, na qual alguns deles serão apresentados a seguir.

### 4.3 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DAS ÁGUAS ESCOADAS

Visto que nem todas as análises de qualidade das águas pluviais escoadas nos protótipos foram satisfatórias, as mesmas necessitam passar por tratamento para serem reaproveitadas ou, devem ser descartadas de maneira correta.

Uma técnica para a melhoria da qualidade de água é o emprego dos filtros lentos de areia, cujo o efluente é tratado através de processos físicos, químicos e biológicos. São construídos em tanques de fibra, utilizando camadas montadas a partir da base: a primeira camada é camada suporte, constituída de pedra brita

2, pedra brita 1 e a última é de areia fina (PIZZOLATTI, 2014). Os filtros lentos funcionam a baixas taxas de filtração e não necessitam da adição de coagulantes.

Por consistir basicamente de controle de vazão e limpeza do meio filtrante, esta técnica é simples e com custos de manutenção e operação baixos, pois, geralmente, não se utiliza energia elétrica, pois a alimentação pode ser realizada pela gravidade (PIZZOLATTI, 2010).

Segundo Murtha e Heller (2003), a filtração lenta é uma ótima alternativa para a redução e muitas vezes até a eliminação de *E.coli*, que é o principal indicativo de contaminação fecal. Outra vantagem é que como não são usados produtos químicos no processo de filtração, não há geração de subprodutos, possibilitando dessa maneira a aplicação do efluente tratado na agricultura e piscicultura (MURTHA et al, 1997).

As limitações dessa técnica mencionadas por Hymno (2013), é a demanda por áreas maiores em relação aos filtros rápidos, para tratamento da mesma quantidade de água. Outro item é a demanda de mão de obra para a limpeza, grandes variações de qualidade da água, como aumento de turbidez e presença de alguns tipos de algas. Além disso, há limitação na remoção de partículas coloidais e compostos orgânicos, cujo estes podem causar elevadas concentrações de trihalometanos na água filtrada após a cloração. Contudo, essa limitação pode ser amenizada com a aplicação de coagulante orgânico ou inorgânico (PIZZOLATTI, 2014).

A filtração lenta é eficiente na remoção de vários contaminantes físicos, químicos e biológicos. Contudo, Pizzolatti (2014) cita que para uma aplicação bem sucedida, alguns limites devem ser respeitados como: Turbidez (<25 uT), cor verdadeira (<10 uT), sólidos suspensos totais (25 mg/L), concentração de ferro (<1,5 mg/L), concentração de algas (500 UPA/mL), coliformes totais (1000 NMP/100mL) e termotolerantes (500 NMP/100mL).

Já para as águas escoadas do telhado convencional, a NBR 15527 menciona que os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista do sistema de reaproveitamento, de acordo com a utilização prevista. Deste modo, como essas águas apresentaram resultados relativamente satisfatórios de qualidade, poderiam ser aplicadas em diversos tipos de reuso como em vasos

sanitários, irrigação, lavagem de pisos e calçadas, entre outros (PEREIRA, 2014).

Havendo a necessidade de qualidades superiores, uma alternativa para seu tratamento é a desinfecção, que pode ser obtida através da aplicação de cloro, ozônio e radiação ultravioleta, na qual a primeira opção é a mais economicamente viável.

Caso nenhum tratamento atenda a qualidade necessitada, ou que não seja viável por altos custos e disponibilidade de materiais, as águas devem ser descartadas de maneira correta, e uma opção para esse descarte é o despejo dessas águas em valas (ou trincheiras) de infiltração, na qual a água será percolada no solo. Elas devem ser construídas com material granular como britas e seixos e é necessário que o solo tenha grande permeabilidade ou que o nível do lençol freático não seja elevado (NBR 15527, 2007). Em último caso, as águas excedentes de telhados verdes devem ser dispostas nas redes públicas pluviais.

## 5 CONCLUSÃO

Com relação a retenção das águas pluviais, o protótipo de telhado verde apresentou resultados satisfatórios neste quesito, na qual obteve-se uma média de retenção de 51%, assim, esta técnica se bem planejada pode ser aplicada em edifícios e residências, atenuando os grandes picos de vazão, e conseqüentemente as inundações em grandes cidades principalmente, se essa técnica for adotada em larga escala. Cidades brasileiras como Blumenau-SC e Recife-PE já criaram leis para o incentivo de coberturas verdes em edificações.

Apesar de o telhado verde apresentar um custo de investimento inicial maior em relação ao telhado convencional, essa técnica pode trazer a longo prazo, vários benefícios referentes a retenção das águas pluviais e grande impacto no escoamento superficial de ambientes urbanos, se utilizada em larga escala.

No aspecto qualitativo, as águas escoadas no protótipo de telhado verde apresentaram valores elevados de coliformes, turbidez e cor e, desta maneira, seu reaproveitamento seria mais restrito a fins menos nobres. Para a necessidade de águas com melhor qualidade, deve-se adotar algum tipo de tratamento físico, químico ou biológico, o que pode tornar o reuso inviável em alguns casos, assim caso contrário, teriam que ser descartadas em valas de infiltração por exemplo.

Já as águas escoadas do protótipo de telhado convencional, teriam uma gama de aplicações para fins não potáveis, como irrigação, lavagem de pisos, calçadas e carros, reuso em vasos sanitários entre outros, pois, resultaram em valores baixos de coliformes, turbidez e cor aparente.

Apesar de haver vários estudos sobre essa técnica, para que a mesma seja mais acessível e que possa ser aplicada em larga escala, é preciso a conscientização de alguns projetistas que visam o rápido escoamento das águas pluviais, o que acaba por transferir os problemas de inundações de um lugar para outro. Também são necessárias políticas públicas que incentivem o emprego dessa técnica, cedendo vantagens aos habitantes que a adotarem, como redução de IPTU por exemplo, assim como a criação de mais normas e resoluções regulamentadoras referentes aos telhados verdes e outras tecnologias sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Sidney Rocha de. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos.** 2007

BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BRASIL. ABNT NBR 10844 de 1989. **Instalações prediais de águas pluviais.**

BRASIL. ABNT NBR 15527 de 2007. **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.**

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cerro-largo/panorama>> Acesso em 18 de abril de 2018.

CASTRO, Andréa Souza; GOLDENFUM, J. A. Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. **ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS e VI ENCONTRO FRANCO-BRASILEIRO EM HIDROLOGIA URBANA, VIII**, 2008.

CECÍLIO, Roberto Avelino et al. **Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo.** Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 3, 2009.

COSTA, A. H. A. **Simulação dos impactos da Urbanização Sobre as Inundações Urbanas na Bacia Hidrológica do Rio Cuiá [dissertation].** Paraíba: Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental/UFPB, 2013.

DA SILVA SANTOS, Pedro Tyaquiçã et al. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial**. Ambiente Construído, v. 13, n. 1, p. 161-174, 2013.

FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. Encontro nacional, v. 4, 2007.

JOBIM, Alan Lamberti. **Diferentes Tipos de Telhado Verde no Controle Quantitativo da Água Pluvial**. 2013.

KLEIN, Lais de Bortoli. **Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial em diferentes tipos de coberturas**. 2017.

LIMA, Glenda Cordeiro de Oliveira. **Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada**. 2013.

LIPTAN, Tom; STRECKER, Eric. **Ecoroofs (Greenroofs)—A more sustainable infrastructure**. In: **National Conference on Urban Stormwater: Enhancing Programs at the Local Level**. 2003.

LOHMANN, Alberto. **Desempenho higrotérmico de cobertura vegetal inclinada em dois protótipos construídos na região de Florianópolis**. 2008.

MARTIN, Bruce. **The Dynamic Stormwater Reponse of a Green Roof**. 2008. Tese de Doutorado.

MIWA, Jéssica. **Telhado verde é obrigatório em Copenhague e Toronto**. Disponível em: <<http://thegreenestpost.com/telhado-verde-e-obrigatorio-em-copenhague-e-toronto-2/>> Acesso em abril de 2018.

MURTHA, Ney Albert; HELLER, Léo; LIBÂNIO, Marcelo. **A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil**. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental–Foz do Iguaçu. 1997.

OLIVEN, Ruben George. **Urbanização e mudança social no Brasil**. 2010.

PEREIRA, Alini Patricia. **Avaliação da qualidade da água da chuva**. Centro Universitário Univates. Lageado, 2014.

PERNAMBUCO. **Lei nº 18112 de 2015**. Dispõe sobre a melhoria da qualidade das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação de “Telhado Verde”, e construção de reservatórios de acúmulo ou retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências.

PIZZOLATTI, Bruno Segalla et al. **Influência da técnica de limpeza de filtros lentos e diâmetro dos grãos sobre a qualidade da água produzida, com destaque para remoção de carbamatos e oocistos de *Cryptosporidium* (simulados por microesferas)**. 2014.

PIZZOLATTI, Bruno Segalla. **Estudos de Limpeza de Filtro Lento por Raspagem e Retrolavagem**. Florianópolis, 2010.

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar nº 784 de 2014**. Inclui art. 222-A na Lei Complementar nº 284, de 27 de outubro de 1992 – que institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências –, e alterações posteriores, permitindo o uso de telhado verde sobre lajes e demais coberturas do último pavimento de edificações.

SANTA CATARINA. **Lei Complementar nº 1174 de 2018**. Acrescenta seção XXI com artigos 63-A, 63-B, 63-C, 63-D e 63-E ao capítulo VI da Lei Complementar nº 1030, de 18 de dezembro de 2015, para regular a utilização de “Telhado Verde” nas edificações.

SOUZA, Fernando Hymnô de et al. **Influência do diâmetro efetivo do meio filtrante em filtros lentos retrolaváveis**. 2012.

TEIXEIRA, Celimar Azambuja 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, v. 17, n. 2, p. 135-155, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da Variabilidade Climática e do Uso do Solo nos Recursos Hídricos**, 150 p. Câmara Temática de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasil, 2002.

TUCCI, Carlos EM. Inundações urbanas. **Porto Alegre: ABRH/RHAMA**, v. 11, 2007.

TUCCI, Carlos EM; SILVEIRA, André. **Gerenciamento da drenagem urbana**. Porto Alegre, 2001.

WREGGE, Marcos Silveira et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2011.