

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Jonas Onis Pessoa

**QUALIDADE E QUANTIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS ESCOADAS A
PARTIR DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS EM
SANTA MARIA-RS**

Santa Maria, RS
2016

Jonas Onis Pessoa

**QUALIDADE E QUANTIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS ESCOADAS A PARTIR DE
TELHADOS VERDES EXTENSIVOS EM SANTA MARIA-RS**

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Rutinéia Tassi

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pessoa, Jonas Onis
Qualidade e quantidade de águas pluviais escoadas a partir de telhados verdes extensivos em Santa Maria-RS / Jonas Onis Pessoa.- 2016.
159 p.; 30 cm

Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Coorientadora: Rutinéia Tassi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, RS, 2016

1. Telhados verdes extensivos 2. Qualidade da água 3. Substrato 4. Reúso da água I. Piccilli, Daniel Gustavo Allasia II. Tassi, Rutinéia III. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Jonas Onis Pessoa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.


E-mail: jonasonis@gmail.com

Jonas Onis Pessoa

**QUALIDADE E QUANTIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS ESCOADAS A PARTIR
DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS EM SANTA MARIA-RS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 20 de julho de 2016:



Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Rutinéia Tassi, Dr.^a (UFSM)
(Co-orientadora)



Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, Dr.^a (UFSM)



Rodrigo Braga Moruzzi, Dr. (UNESP)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Jecilene e Paulo como demonstração de reconhecimento ao apoio incondicional recebido durante toda minha vida, ao meu amado irmão Daniel Onis Pessoa (in memoriam) pelas inúmeras lições de vida e ao meu irmão gêmeo Jonatan Onis Pessoa, cuja saudade do mesmo foi latente durante esse período de mestrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por todos os subsídios necessários para alcançar meus objetivos.

À minha família pelo carinho, educação, conselhos, incentivo e compreensão.

Aos professores Daniel Allasia e Rutineia Tassi pela oportunidade, amizade, confiança e orientações durante a realização deste trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa em Modelagem Hidroambiental e Ecotecnologia e aos colegas do mestrado em Engenharia Ambiental e mestrado e doutorado em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pelo apoio e contribuições.

Ao corpo técnico, docente e terceirizados da UFSM por contribuir para uma educação pública de qualidade.

Ao PPGEAmb, em especial, por oferecer aos candidatos condições para a realização das provas de seleção em suas cidades de origem. Obrigado pela oportunidade. PARABÉNS pela iniciativa PPGEAmb!

À FAPEAM pela concessão da bolsa de mestrado.

A CAPES e à FAPERGS pelo auxílio financeiro para a execução da pesquisa.

À UFAM por conceder o afastamento para qualificação.

Ao Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogenio (LABCEN)/ Departamento de Solo, na pessoa do Prof.º Sandro Giacomini e do Pós-graduando Alan pela cortesia nas análises de nitrogênio e carbono dos substratos dos telhados verdes.

Aos colegas de apartamento pelo convívio, momentos de descontrações e incentivo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

QUALIDADE E QUANTIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS ESCOADAS A PARTIR DE TELHADOS VERDES EXTENSIVOS EM SANTA MARIA-RS

AUTOR: Jonas Onis Pessoa

ORIENTADOR: Daniel Gustavo Allasia Picilli

CO-ORIENTADORA: Rutinéia Tassi

Os telhados verdes (TVs) têm cada vez mais se tornado parte integrante dos ambientes urbanos devido, principalmente, aos seus benefícios estéticos, conforto térmico e diminuição do escoamento superficial de águas pluviais. Contudo, os efeitos dessa emergente tecnologia nas características qualitativas de águas de chuva ainda é pouco compreendido. Neste trabalho foi avaliada a qualidade de águas de pluviais escoadas a partir de dois telhados verdes extensivos e de um telhado de fibrocimento (telhado controle) instalados em Santa Maria-RS. Complementarmente, analisou-se o desempenho de ambos os tipos de coberturas no controle quantitativo do escoamento pluvial. Para a caracterização qualitativa da água, foram determinados os parâmetros físicos (turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e temperatura), químicos (pH, fosfato, nitrogênio total, nitrato, nitrito, cloretos, sulfatos, DBO, e dureza), metais (cobre, ferro, zinco, chumbo e cromo) e microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*). As diferenças na qualidade da água de chuva obtidas nos diferentes pontos de coleta foram avaliadas utilizando teste paramétrico (Test t) e testes não paramétricos (Mann-Whitney e Kruskal-Wallis), com um nível de significância de 5% de probabilidade. O controle do escoamento pluvial foi analisado a partir do coeficiente de escoamento (C) e da parcela de água armazenada nos dois tipos de coberturas. Os resultados apontaram que, em geral, os TVs não melhoraram a qualidade da água, como indicado por alguns autores. Ambos telhados verdes atuaram como fonte de cloretos, condutividade elétrica, cor, DBO, dureza total, coliformes totais, *E. coli*, fosfato, sulfato e turbidez. Contudo, observou-se que os TVs foram capazes de converter o caráter ligeiramente ácido da água pluvial para básico, confirmando o seu potencial na neutralização de deposições ácidas. Com exceção de alguns parâmetros, a qualidade da água coletada do telhado controle não se diferiu significativamente em comparação às dos TVs. A partir da comparação dos resultados com as legislações ambientais consultadas, observou-se que as águas escoadas dos dois tipos de telhados apresentam características com potencial para usos não potáveis, tais como lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, descargas de bacias sanitárias, dentre outros. Com relação ao desempenho dos telhados no controle do escoamento pluvial, constatou-se uma significativa eficiência das coberturas verdes comparativamente ao telhado de fibrocimento. Esse resultado ficou tipificado pelos valores médios do coeficiente de escoamento, cerca de 0,43 para os TVs e de aproximadamente 0,83 para o telhado controle. Para melhor investigar a atuação e interação dos diversos fatores que podem influenciar na qualidade da água dos telhados verdes e também na sua eficiência quanto ao controle do escoamento pluvial, sugere-se estudos de longo prazo e com diferentes tipos de substratos, espécies vegetais e a instalação dessas estruturas em locais com diferentes tipos de ocupações e outras condicionantes ambientais distintas das verificadas neste trabalho.

Palavras chave: Telhados verdes extensivos. Qualidade da água. Substrato. Reúso da água.

ABSTRACT

STORMWATER QUALITY AND QUANTITY FROM EXTENSIVE GREEN ROOFS IN SANTA MARIA-RS

AUTHOR: JONAS ONIS PESSOA
ADVISOR: DANIEL GUSTAVO ALLASIA PICCILLI
CO-ADVISOR: RUTINÉIA TASSI

Green roofs have increasingly become an integral part of urban environments, mainly due to their aesthetic benefits, thermal comfort and efficiency in controlling excess runoff. However, the effects of this emerging technology in the qualitative characteristics of rainwater is still poorly understood. In this study, we evaluated the quality of rain water runoff from two extensive green roofs and a roof built with corrugated fiber cement sheets (control roof) installed in Santa Maria - RS. In addition, we analyzed the performance of both types of roof for controlling storm water runoff. For qualitative analysis of water, were determined physical (turbidity, apparent color, true color, electrical conductivity, total solids, dissolved solids, suspended solids and temperature), chemical (pH, phosphate, total nitrogen, nitrate, nitrite, chloride, sulfates, BOD, and hardness), metal (copper, iron, zinc, lead and chromium) and microbiological parameters (total coliforms and *E. coli*). Differences in rain water quality obtained at collection points were assessed using parametric test (Test t) and non-parametric tests (Mann-Whitney and Kruskal-Wallis test) with a significance level of 5% probability. The control of storm water runoff was analyzed from the runoff coefficient (C) and the water portion stored in both types of coverage. The results showed that, in general, GRs have not improved water quality, as indicated by some authors. On both green roofs occurred an increase of chloride, electrical conductivity, color, BOD, hardness, total coliforms, *E. coli*, phosphate, sulfate and turbidity. However, it was observed that GRs are able to convert the slightly acidic rainfall into basic water, which confirms its potential to neutralize acid deposition. Except for a few parameters, the quality of the collected water from the control roof did not differ significantly compared to GRs' water. By comparing the results with the Brazilian environmental legislation, we noted that the runoff from all three roofs have potential for non-potable uses, such as floor and sidewalks washing, garden irrigation, toilet flushing, among others. About the performance of roofs in controlling storm water runoff, there was a significant efficiency of green roofs compared to the roof built with corrugated fiber cement sheets. This result was typified by the average values of flow coefficient, about 0.43 for GRs and 0.83 for control roof. However, the efficiency of green roofs' controlling runoff proved to be very sensitive to weather conditions and antecedent soil moisture. To a future study about performance and interaction of various factors that could influence green roofs' water quality and in its efficiency and controlling storm water runoff, we suggest long-term studies with different types of substrates, plant species and installation of the structures in locations with other types of occupation and environmental conditions, different from those verified in this work.

Key words: Extensive green roofs. Water quality. Substrate. Water reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais camadas de um telhado verde sobre a estrutura de superfície	29
Figura 2 – Telhado verde extensivo em Malmö, Suécia	31
Figura 3 – Telhado verde intensivo em Fukuoka, Japão.....	32
Figura 4 – Exemplo de um telhado verde semi-intensivo.....	33
Figura 5 – Representação dos Jardins Suspensos da Babilônia	34
Figura 6 – Localização geográfica da área de estudo	49
Figura 7 – Normais climatológicas da precipitação média mensal em Santa Maria-RS	50
Figura 8 – Normais climatológicas da precipitação média mensal em Santa Maria-RS	51
Figura 9 – Vista geral da área do experimento	51
Figura 10 – Representação esquemática do experimento: a) Coletores suspensos para coleta de água diretamente da atmosfera; b) TV1: telhado verde extensivo com a espécie vegetal <i>Sedum rupestre</i> ; c) TC: telhado convencional de fibrocimento; d) TV2: telhado verde extensivo com as espécies vegetais <i>Plectranthus barbatus</i> e <i>Sedum dendroideum</i>	53
Figura 11 – Sistema modular hexagonal com (a) galocha do telhado verde, (b) esquema vertical e (c) vista superior	53
Figura 12 – Sistema modular retangular com (a) galocha do telhado verde, (b) esquema vertical e (c) vista superior	54
Figura 13 – Desenho esquemático da vista superior dos telhados estudados (TV1, TC e TV2).....	54
Figura 14 – Desenho esquemático da visão geral do experimento	55
Figura 15 – Materiais empregados para obtenção dos dados pluviométricos a) Pluviômetro b) proveta graduada de 10 mm	56
Figura 16 – Fluxograma da análise estatística	62
Figura 17 – Comparativo entre as precipitações mensais totais monitoradas (fevereiro/2015 a abril/2016) e as precipitações mensais totais normais (1961 a 1990), em Santa Maria-RS.....	63
Figura 18 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante o verão	64
Figura 19 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante o outono	64
Figura 20 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante o inverno	65
Figura 21 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante a primavera	65
Figura 22 – Comparativo entre as temperaturas médias mensais monitoradas (fevereiro/2015 a abril/2016) e as temperaturas médias mensais normais (1961 a 1990), em Santa Maria-RS.....	66
Figura 23 – Avaliação do controle quantitativo do escoamento superficial no telhado verde e do telhado convencional.....	68
Figura 24 – Coeficiente de escoamento superficial médio observados nas quatro estações do ano no TV1	72
Figura 25 – Coeficiente de escoamento superficial médio observados nas quatro estações do ano no TV2	72
Figura 26 – <i>Matrix plot</i> coeficiente de escoamento (C) vs precipitação (mm) e P5 dias (mm) do TV1 no a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera, com a indicação dos eventos 1, 17, 22, 30, 38 e 41	74

Figura 27 – <i>Matrix plot</i> coeficiente de escoamento (C) vs precipitação (mm) e P5 dias (mm) do TV2 no a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera, com a indicação dos eventos 1, 17, 22, 30, 38 e 41	75
Figura 28 – Retenção do escoamento nos telhados verdes e telhado controle nos eventos de chuva monitorados	77
Figura 29 – Boxplot dos valores de nitrogênio total Kjeldahl observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	82
Figura 30 – Boxplot dos valores de nitrato observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	84
Figura 31 – Boxplot dos valores de DBO observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.....	89
Figura 32 – Boxplot dos valores de pH observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.....	91
Figura 33 – Boxplot dos valores de cloretos observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/0/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS	93
Figura 34 – Boxplot dos valores de sulfato observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/0/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS	95
Figura 35 – Boxplot dos valores de turbidez observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.....	96
Figura 36 – Boxplot dos valores de sólidos suspensos totais (SST) observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	99
Figura 37 – Boxplot dos valores de sólidos totais observados nas amostras de águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	100
Figura 38 – Boxplot dos valores de sólidos dissolvidos totais observados nas amostras de águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	102
Figura 39 – Boxplot dos valores de cor aparente observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	104
Figura 40 – Boxplot dos valores de cor verdadeira observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 08/10/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	105
Figura 41 – Boxplot dos valores de condutividade elétrica observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	106
Figura 42 – Boxplot dos valores temperaturas observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS	108

Figura 43 – Boxplot dos valores de E. coli observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS 114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características qualitativas das águas escoadas de telhado verde e telhado de fibrocimento.....	47
Quadro 2 – Comparação da qualidade da água dos telhados verdes e do telhado controle em relação aos padrões de qualidade de água brasileiros.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de espessura do solo de telhados verdes extensivos e intensivos de acordo com vários autores	32
Tabela 2 – Parâmetros e metodologias analíticas empregadas para análises da qualidade da água	59
Tabela 3 – Composição granulométrica (%) dos substratos empregados nos telhados verdes extensivos	66
Tabela 4 – Resultados das análises químicas dos substratos do telhados verdes e sua interpretação, de acordo com a CFQS RS/SC (2004).....	67
Tabela 5 – Características dos eventos de chuvas, UAS e suas relações com o escoamento pluvial nos telhados verdes	70
Tabela 6 – Características dos eventos de chuva analisados monitorados para a avaliação da qualidade da água.....	78
Tabela 7 – Valores de fosfato nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	79
Tabela 8 – Valores de nitrito nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	83
Tabela 9 – Valores de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito e nitrato nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1 e TV2 no dia 30/01/2016 (verão), em Santa Maria-RS.....	87
Tabela 10 – Valores de dureza total nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no dia 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	92
Tabela 11 – Valores de ferro nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	109
Tabela 12 – Valores de chumbo nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	110
Tabela 13 – Valores de cobre nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	111
Tabela 14 – Valores de cromo nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	111
Tabela 15 – Valores de zinco nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.....	111
Tabela 16 – Valores de coliformes totais nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 21/03/2016, em Santa Maria-RS.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

µm	– Micrômetro
µS	– Microsiemens
a.C.	– Antes de Cristo
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	– Alumínio
ANA	– Agência Nacional de Águas
APHA	– American Public Health Association
C	– Coeficiente de escoamento
Ca	– Cálcio
Cd	– Cádmiio
cm	– Centrímetro
CO ₃ ⁻²	– Carbonato
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
CQFS	– Comissão de Química e Fertilidade do Solo
Cr	– Cromo
CT	– Coliformes totais
Cu	– Cobre
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	– Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	– <i>Escherichia coli</i>
EAA	– Espectrometria de Absorção Atômica
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	– Ferro
FIESP	– Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FLL	– Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau – Sociedade de Pesquisa em Desenvolvimento e Construção da Paisagem
h	– hora
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
K	– Potássio
L	– Litro
LABCEN	– Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio
LABFLOR	– Laboratório de Ecologia Florestal
LACHEM	– Laboratório de Análises Químicas
LID	– <i>Low Impact Development</i>
m	– Metro
m ²	– Metro quadrado
Mg	– Magnésio
mg	– Miligramas

mL	– Mililitro
mm	– Milímetro
MS	– Ministério da Saúde
Na	– Sódio
NBR	– Norma Brasileira
NH ₄	– Amônio
Ni	– Níquel
NMP	– Número mais provável
NO ₂	– Nitrito
NO ₃	– Nitrato
NTK	– Nitrogênio Total Kjeldahl
°C	– Grau Celsius
P5	– Volume de chuva ocorrido nos cinco dias que antecederam cada evento chuvoso monitorado
Pb	– Chumbo
PE	– Pernambuco
pH	– Potencial Hidrogeniônico
PO ₄	– Fosfato
RS	– Rio Grande do Sul
SCS	– <i>Soil Conservation Service</i>
SDT	– Sólidos Totais Dissolvidos
SindusCon-SP	– Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SO ₄	– Sulfato
SP	– São Paulo
SST	– Sólidos suspensos totais
ST	– Sólidos totais
SuDS	– <i>Sustainable Drainage Systems</i>
TC	– Telhado controle; Telhado convencional de fibrocimento
TV	– Telhado verde
TV1	– Telhado verde extensivo com a espécie vegetal <i>Sedum rupestre</i>
TV2	– Telhado verde extensivo com as espécies vegetais <i>Plectranthus barbatus</i> e <i>Sedum dendroideum</i> .
TVs	– Telhados verdes
UAS	– Umidade Antecedente do Solo
uC	– Unidade de Cor
UFSM	– Universidade Federal de Santa Maria
UNT	– Unidade de Turbidez
Vchuva	– Volume de chuva total incidente na área de captação do telhado
Vesc	– Volume escoado superficial
WSUD	– <i>Water Sensitive Urban Design</i>
Zn	– Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	OBJETIVOS	27
2.1	OBJETIVO GERAL.....	27
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
3.1	CONCEITO E COMPOSIÇÃO GERAL DOS TELHADOS VERDES	29
3.2	TIPOLOGIA DE TELHADOS VERDES.....	30
3.3	BREVE HISTÓRICO SOBRE OS TELHADOS VERDES.....	33
3.4	CONTROLE QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL EM TELHADOS VERDES	36
3.5	PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	37
3.6	QUALIDADE DE ÁGUAS ESCOADAS A PARTIR DE TELHADOS VERDES .	39
4	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	49
4.2	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	52
4.3	OBTENÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS	56
4.4	AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL NOS TELHADOS VERDES E NO TELHADO DE FIBROCIMENTO.....	57
4.5	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	58
4.6	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SUBSTRATO DOS TELHADOS VERDES	60
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
5.1	DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MONITORADOS.....	63
5.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICA E QUÍMICA DOS SUBSTRATO DOS TELHADOS VERDES	66
5.3	AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL.....	68
5.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	78
5.4.1	Eventos de chuva monitorados.....	78
5.4.2	Parâmetros químicos de qualidade da água	79
5.4.2.1	<i>Fosfato.....</i>	79
5.4.2.2	<i>Nitrogênio.....</i>	81
5.4.2.3	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....</i>	88
5.4.2.4	<i>pH e Dureza total</i>	90
5.4.2.5	<i>Cloretos</i>	93
5.4.2.6	<i>Sulfato.....</i>	94
5.4.3	Parâmetros físicos de qualidade da água	96
5.4.3.1	<i>Turbidez e Sólidos Suspensos Totais (SST).....</i>	96
5.4.3.2	<i>Sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, cor aparente, cor verdadeira e condutividade elétrica</i>	100
5.4.3.3	<i>Temperatura</i>	107
5.4.4	Metais	108
5.4.5	Parâmetros microbiológicos	112

5.5	POTENCIAIS USOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS COLETADAS NOS TELHADOS VERDES E NO TELHADO DE FIBROCIMENTO	114
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	121
	REFERÊNCIAS	123
	APÊNDICES	131
	APÊNDICE A – TESTES ESTATÍSTICOS DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	133
	APÊNDICE B – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	136
	APÊNDICE C – DADOS BRUTOS DAS ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	140

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo da população urbana em todo o mundo. No Brasil, por exemplo, dados do IBGE (2010) apontam que mais de 84% (oitenta e quatro por cento) dos habitantes estão concentrados no território urbano, sobretudo nas regiões sudeste, centro-oeste e sul do país.

Embora a urbanização seja comumente associada ao progresso, sabe-se que a mesma pode resultar em uma série de efeitos adversos ao meio ambiente. Dentre eles, destaca-se o comprometimento da qualidade dos corpos hídricos e a mudança no ciclo hidrológico urbano, decorrente, principalmente da redução de áreas verdes e impermeabilização do solo, sendo esse último responsável pelo aumento do escoamento superficial e agravamento de enchentes (TUCCI, 2005).

Assim, diversas estratégias passaram a ser engendradas no sentido de atenuar os impactos ambientais negativos decorrentes da urbanização, especialmente no cenário internacional. Entre elas, tem emergido a abordagem americana de *Low Impact Development* (LID), denominado no Brasil por Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), a abordagem australiana de *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) e a abordagem britânica de *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) (SOUZA et al., 2012).

A estratégia LID, em particular, visa contribuir para a conservação de áreas verdes em meio urbano bem como para o controle quali-quantitativo das águas pluviais (CRUZ et al., 2007). Um dos seus princípios é a preservação e a recriação dos elementos paisagísticos naturais, minimizando áreas impermeabilizadas e tratando a água como um recurso e não como um resíduo (EPA, 2000). No âmbito da LID, as águas de chuvas são redirecionadas para aproveitamento, infiltração ou evapotranspiração de modo a mitigar os efeitos adversos associados a urbanização desordenada (CRUZ et al., 2007).

Atualmente, uma variedade de técnicas se inserem no contexto dos LIDs, dentre as quais enfatiza-se os telhados verdes (TVs), objeto de estudo da presente pesquisa, além de outras como as pequenas biorretenções, paisagismo com água da chuva, aproveitamento de água da chuva, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis

Segundo FLL (2002), os telhados verdes, também conhecidos como ecotelhados e telhado vivos, são telhados cobertos com solo e vegetação. Os principais benefícios da implantação desse tipo de cobertura são o conforto térmico, mitigação do efeito das “ilhas de calor”, melhoria da qualidade do ar, redução da poluição sonora, aspecto estético agradável,

atenuação do escoamento de águas pluviais e minimização dos riscos de inundações, dentre vários outros (MENTENS et al., 2006; NIU et al., 2010; ROWE, 2011; TASSI et al., 2014).

Em geral, os estudos sobre os telhados verdes têm se concentrado em investigar seus aspectos estéticos, hidrológicos e balanço energético. Em função disso, as bases de dados sobre esses assuntos são relativamente amplas e representativas na literatura científica.

Por outro lado, as pesquisas referentes à influência dos telhados verdes na qualidade da água escoada a partir de tais coberturas são limitadas e bastante incipientes. Como consequência, esse tema ainda é pouco compreendido e os dados disponíveis são controversos, configurando-se em uma das grandes lacunas a respeito das coberturas verdes (BERNDTSSON et al., 2009).

Recentemente, alguns autores, tais como Razzaghmanesh et al. (2014) e Beecham e Razzaghmanesh (2015), reportaram a melhoria das águas pluviais ao passar pelos telhados com vegetação. Com base em análises qualitativas, sugeriram o seu aproveitamento, especialmente, para fins não potáveis, como por exemplo, para a irrigação, uso em descarga sanitária e paisagismos urbano.

Indubitavelmente, estudos dessa natureza assumem grande importância no atual cenário de crescente escassez hídrica e contínua disseminação da tecnologia dos telhados verdes. Contudo, é importante ressaltar também que vários pesquisadores verificaram efeitos adversos dos telhados verdes sobre as características de águas escoadas (MORAN et al., 2004; VIJAYARAGHAVAN et al., 2012).

De acordo com a literatura, a qualidade das águas escoadas das coberturas verdes é influenciada por uma gama de fatores intrínsecos às características dos próprios telhados verdes como o substrato; bem como por fatores externos, tais como a sazonalidade, fontes de poluição local, dinâmica da precipitação, direção do vento, dentre vários outros (ROWE, 2011; BERDNTSSON, 2009, BUFFAM et al., 2016). Portanto, estudos mais detalhados sobre a qualidade de água escoada a partir de telhados verdes são de suma importância e contribuirão na melhor adaptação desta tecnologia às diferentes condições ambientais brasileiras.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a quantidade e a qualidade da água de chuva escoada a partir de telhados verdes comparando com resultados em um telhado convencional de fibrocimento e água da chuva coletada diretamente da atmosfera em Santa Maria-RS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade de águas pluviais escoadas em telhados verdes extensivos, telhado convencional de fibrocimento e água coletada diretamente da atmosfera;
- Comparar os resultados das análises da qualidade da água coletada diretamente da chuva e dos diferentes tipos de telhados;
- Com base nas análises qualitativas, indicar potenciais usos das águas pluviais coletadas nos telhados verdes e telhado convencional;
- Avaliar o controle quantitativo do escoamento pluvial em telhados verdes e em telhado de fibrocimento.

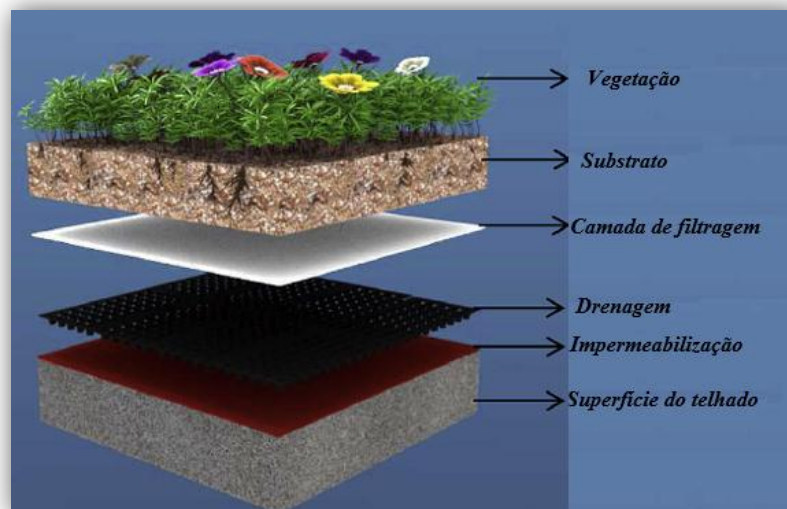
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCEITO E COMPOSIÇÃO GERAL DOS TELHADOS VERDES

Os telhados verdes, também conhecidos como telhados vivos, ecotelhados, cobertura vegetal, dentre outros sinônimos, são telhados ou coberturas que agregam solo e vegetação em sua composição, visto que seu processo construtivo é baseado em uma técnica de aplicação de camadas (PECK et al., 1999).

Na figura 1 estão representadas as principais camadas dos telhados verdes bem como a sua estrutura de superfície. Conforme pode ser observado, as coberturas verdes são constituídas basicamente por cinco camadas, a saber: vegetação, substrato, camada de filtração, drenagem e impermeabilização.

Figura 1 – Principais camadas de um telhado verde sobre a estrutura de superfície



Fonte: Adaptado de Vijayaraghavan e Joshi (2014).

A vegetação corresponde à parcela vegetal propriamente dita do telhado verde e encontra-se localizada na sua parte superficial da cobertura. De acordo com Mentens et al. (2003), ela potencializa a retenção de água no substrato, e realiza as funções de evapotranspiração e interceptação.

A adequada seleção das espécies vegetais é um fator de grande importância para o bom desempenho das coberturas verdes. Essa escolha deve ser realizada em função do uso

previsto para o telhado verde e o tipo de manutenção requerida/possível, por exemplo. Além disso, deve-se considerar outras condicionantes, tais como as características climáticas, tipo e profundidade do substrato, disponibilidade e perenidade das espécies (POUEY, 1998).

Observadas as considerações mencionadas, algumas das espécies de pequeno porte recomendadas para a instalação de telhados verdes extensivos na região sul do Brasil são: Gravatinha (*Chlorophytum Comosum*), Capim-chorão (*Eragrotis Curvula*), Falso-íris (*Neomarica Caerulea*), Gramabatatais (*Paspalum Notatum*), Boldo (*Plectranthus barbatus*), Ruélia-azul (*Ruellia Coerulea*), Vedélia (*Sphagneticolatrilobata*), Bálsamo (*Sedum dendroideum*), *Sedum* – Dourado (*Sedum Acre L.*), Estrela-gorda (*Sedum Multiceps*), dentre outras (ECOTELHADO, 2010; SILVA, 2010; PERSCH et al., 2011).

O substrato é a camada do telhado verde composta pelo solo. A partir dele a vegetação obtém nutrientes e água necessária ao seu desenvolvimento. Além de meio suporte para as espécies vegetais, o substrato armazena uma parcela da água que atinge o telhado verde e, assim contribui para atenuar os efeitos do escoamento superficial (BRITTO CORREA; NEILA GONZÁLEZ, 2002), retendo uma parcela de água precipitada sobre ele.

A camada filtrante, por sua vez, tem a função de filtrar a água e concomitantemente segregar a camada de drenagem do substrato, impedindo-o de migrar para o sistema de drenagem juntamente com os nutrientes, causando a perda excessiva deste e a obstrução do sistema. O material mais comumente empregado para a formação da camada filtrante é um geotêxtil por ser um material resistente à degradação química e biológica, possui alta permeabilidade, elevada resistência mecânica e grande durabilidade (MACCAFERRI, 2010).

Imediatamente abaixo da camada filtrante, está a camada de drenagem. Sua principal função é esgotar o excesso de água do substrato advinda da chuva ou da irrigação (POUEY, 1998). A aplicação dessa camada é requerida em telhados com baixa declividade a fim de evitar encharcamentos e estresse da camada vegetal (MENTENS, 2003).

Por outro lado, para a proteção da base do telhado, é aplicada a camada de impermeabilização. Ela evita o contato direto da água e umidade com a estrutura da cobertura e, assim proporciona a maior efetividade e durabilidade do telhado verde (LOHMANN, 2008). Os materiais mais indicados para esse fim são alguns tipos de mantas ou membranas (asfálticas, termoplásticas, elastoméricas, betume polímeros).

3.2 TIPOLOGIA DE TELHADOS VERDES

Os componentes dos telhados verdes, especialmente no que se refere à profundidade do substrato e à vegetação, podem variar consideravelmente entre um telhado e outro. Em

função dessas variações, as coberturas verdes são geralmente divididas em dois tipos: extensivos e intensivos (HYDROTEC MEMBRANE CORPORATION, 2007).

Segundo FLL (2002), os telhados verdes extensivos são mais simples e resistentes, apresentam aspecto mais natural e implicam em baixo custo de manutenção. O abastecimento de água e substâncias nutritivas dá-se prioritariamente por processos naturais e a natureza da sua composição sobrecarrega menos a estrutura das edificações. A vegetação utilizada é de pequeno porte, geralmente autóctone, com capacidade de alta regeneração e adaptação a locais e condições severas, como por exemplo, musgos, suculentas, ervas, gramíneas e ervas. A profundidade do substrato varia em torno de entre 4 a 9 cm.

Figura 2 – Telhado verde extensivo em Malmö, Suécia



Fonte: Berndtsson et al. (2009).

Os telhados verdes intensivos apresentam uma camada de substrato mais espessa (15 a 90 cm), o que lhe permite abrigar espécies vegetais de médio a grande porte. Devido a isso, em alguns casos, podem se destinar a prática de atividades desportivas, recreativas e de lazer. Comparativamente ao telhado verde extensivo, possui uma camada de drenagem ou retenção mais profunda. Geralmente requerem um sistema de irrigação, e a água retida na drenagem pode ser empregada para irrigar a vegetação cultivada (TASSI et al., 2014).

Os telhados verdes intensivos exigem fortes elementos estruturais para suportar seu peso, necessitando de manutenção de custos relativamente elevados. Devido às características especiais necessárias para mantê-los são menos comuns do que os telhados verdes extensivos (KREBS, 2005; OLIVEIRA, 2009).

Figura 3 – Telhado verde intensivo em Fukuoka, Japão



Fonte: Berndtsson et al. (2009).

Berndtsson (2010) destaca que não há um consenso entre as diferentes fontes da literatura a respeito da espessura dos tipos de telhados, conforme Tabela 1. Um telhado verde com uma profundidade de substrato de 110-150 mm, pode ser considerados por diferentes autores como intensivo ou extensivo. Dessa forma, é preciso cuidado ao comparar o desempenho de telhados verdes para obtenção de benefícios que dependem da espessura da camada do solo.

Tabela 1 – Exemplo de espessura do solo de telhados verdes extensivos e intensivos de acordo com vários autores

Intensivo (mm)	Extensivo (mm)	Referência
150-1200	50-150	Kosareo e Ries (2007)
> 500	-	Köhler et al. (2002)
150-350	30-140	Mentens et al. (2006)
>100	<100	Wong et al. (2007)
>300	-	Bengtsson et al. (2005)
>100	20-100	Graham e Kim (2005)

Fonte: Berndtsson (2010).

Apesar de menos reportado na literatura, há um terceiro tipo de telhado verde, o semi-intensivo. São coberturas intermediárias entre os telhados verdes extensivo e o telhado verde intensivo, abrigando gramíneas, árvores e arbustos de pequeno porte. Com espessura entre

12 - 20 cm, em função das plantas utilizadas necessitam de alguns cuidados com relação à água e nutrientes, e são pouco onerosas em relação aos gastos com manutenção (FLL, 2002).

Figura 4 – Exemplo de um telhado verde semi-intensivo



Fonte: Teufel (2011).

3.3 BREVE HISTÓRICO SOBRE OS TELHADOS VERDES

Diferentemente do que muitos possam imaginar, a origem dos telhados verdes não é recente. Um dos primeiros registros acerca desse tipo de cobertura remete aos séculos 800 a.C. a 600 a.C. Neste período, com objetivos basicamente estéticos, foram construídos os Jardins Suspensos da Babilônia (Figura 5), cujo advento é considerado uma das sete maravilhas do mundo antigo, e um dos pontos de partida sobre o surgimento dos telhados verdes (GRANT et al., 2003; RODRIGUEZ, 2006).

Figura 5 – Representação dos Jardins Suspensos da Babilônia



Fonte: Edukalife (2013).

Na idade antiga, em Roma, foram construídos o Mausoléu de Augusto (32-28 a.C.) e o Mausoléu de Adriano (135-139 d.C.), bem como outras edificações com vegetação acima das construções. No primeiro mausoléu citado, era possível observar inclusive viveiros de peixes, fato que aponta o avanço da cultura de terraços-jardim.

Segundo Osmundson (1999), naquela época, a crescente tendência de jardins suspensos, além do caráter estético, era atribuída ao seu ótimo desempenho térmico. Percebeu-se, por exemplo, que a camada combinada de solo e vegetação em ambientes de climas quentes impediam a passagem de calor para dentro das edificações. Igualmente em locais de climas frios, o calor era retido por mais tempo nas construções, contribuindo para conforto térmico.

Os Vikings, por sua vez, utilizavam na construção de suas casas, camadas de gramado nas paredes e telhados para se protegerem das chuvas e dos ventos (OSMUNDSON, 1999). No período renascentista, na cidade italiana de Genova, eram comuns tetos com vegetação nas casas (PECK, 1999). Semelhante prática também foi observada no México durante o período pré-colombiano.

Na Índia, nos séculos XVI e XVII, e em algumas cidades espanholas também já era possível encontrar exemplares de coberturas com vegetação. A partir deste momento, os telhados verdes se disseminaram em algumas cidades francesas, e por toda a Escandinávia. Atualmente, segundo Hinman (2005), em determinados países europeus, com destaque para a

Alemanha e a Suíça, o conceito de telhado verde já é amplamente difundido, tendo inclusive empresas especializadas no assunto.

Contudo, é interessante observar que, mesmo em nações onde os telhados verdes encontram-se bastante presentes e consolidados, a sua implementação, em um primeiro momento, foi realizada com uma certa resistência. Neste sentido, vale a pena destacar, por exemplo, os projetos em Berlim, na Alemanha onde várias dessas edificações datam dos anos 1920 e estão intactas até os dias atuais, porém durante a sua construção foram alvos de rejeições.

Um dos obstáculos para a disseminação inicial dessa tecnologia residia nos custos adicionais e o receio de danos estruturais significativos. No entanto, sabe-se que hoje tais deficiências já foram consideravelmente atenuadas. Esse fato, aliado às exigências legais, incentivos fiscais e efeito positivo sobre o meio ambiente, tem estimulado a difusão dos telhados verdes em todo o mundo. Evidentemente que, devido às diferentes realidades regionais, esse processo de expansão ocorre de forma heterogênea em cada país.

No Brasil, o surgimento dos telhados verdes teve início a partir do Movimento Modernista verificado nos anos de 1930, tendo como marco principal, o prédio conhecido por Palácio Gustavo Capanema, construído no Rio de Janeiro (ROLA, 2008). Desde então, paulatinamente, tem-se notado a maior presença de edifícios com coberturas verdes em várias outras cidades do país, tais como São Paulo, Florianópolis e Campina Grande (KÖHLER, SCHMIDT; LAAR, 2003).

Recentemente, com o objetivo de aumentar as áreas verdes e diminuir os efeitos das “ilhas de calor”, foi aprovada a Lei Municipal Nº 18112, de 12 de janeiro de 2015. A partir disso, novos prédios residenciais inserido no município de Recife (PE), com mais de quatro pavimentos e com área coberta acima de 400 m², são obrigados a implantarem telhados verdes (RECIFE, 2015). Com base nos diversos benefícios dos telhados verdes, tais como, o conforto térmico e acústico, redução dos efeitos das “ilhas de calor”, por exemplo, está em tramitação na Câmara Municipal de Porto Alegre o Projeto de Lei 011/14, que obriga os projetos de construção e de reforma de edificações públicas municipais a prever a instalação de telhado verde, ou ecotelhado (PORTO ALEGRE, 2014).

A promulgação do instrumento legal em Recife e a tramitação do Projeto de Lei 011/14 em Porto Alegre, a exemplo do observado em países da Europa, sugere que está sendo definitivamente revista a antiga percepção de que os telhados verdes proporcionam apenas benefícios estéticos. A gradativa quebra desse paradigma pode contribuir para a expansão das coberturas verdes, especialmente no ambiente urbano.

3.4 CONTROLE QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL EM TELHADOS VERDES

O controle quantitativo do escoamento pluvial é uma das principais vantagens dos telhados verdes e pode contribuir para a mitigação dos riscos de enchentes. Em geral, as coberturas verdes podem reter, em média, de 30 a 86% de todo o volume de chuva incidida em sua área de captação (LI; BABCOCK, 2014). Contudo, esse percentual pode ser bastante variável ao considerar os eventos de chuva de forma isolada. No estudo conduzido em Santa Maria-RS, Tassi et al. (2014) avaliaram 43 eventos chuvosos e reportaram que o telhado verde extensivo foi capaz de reduzir, em média, 62% do escoamento superficial enquanto o telhado controle composto por telhas de fibrocimento reteve apenas 13%, em média. Porém, os autores citaram que a eficiência da cobertura verde no controle quantitativo do escoamento superficial apresentou grande flutuações devido, dentre outros fatores, às condições climáticas e de umidade do solo que antecederam cada evento chuvoso.

Com relação ao efeito da umidade antecedente do solo, Tassi et al. (2014) destacaram que, embora o volume de chuva de 2 mm ocorrido em um dado evento tenha sido pouco significativo, a alta umidade do solo foi suficiente para reduzir totalmente a capacidade de armazenamento de água no telhado verde, fazendo com que todo volume precipitado escoasse. Por outro lado, de acordo com os autores, apesar de apresentem volumes de chuva e umidade antecedente do solo semelhantes, alguns eventos de chuva resultaram em coeficiente de escoamento bastante distinto em função das diferentes condições climáticas. As distintas características climáticas nesses eventos influenciaram de forma diferente nas taxas de evapotranspiração dos telhados verdes e, por conseguinte na sua capacidade de armazenamento de água, aumentando ou reduzindo a capacidade de retenção de água durante eventos subsequentes.

Além dos fatores supracitados, a eficiência das coberturas verdes no controle quantitativo dos escoamento pluvial pode ser diretamente influenciada pelas suas características construtivas, tais como tipo de telhado (extensivo, semiextensivo, intensivo), inclinação, tipo de vegetação, espessura e composição do substrato, por exemplo (MORAN, 2004; VANWOERT et al., 2005; FERREIRA; MORUZZI, 2007; JOBIM, 2013; MORUZZI et al., 2014, TASSI et al., 2014).

De um modo geral, as coberturas verdes com substratos mais profundos e de menor inclinação tendem a apresentar maior potencial de redução do escoamento pluvial, conforme foi observado por Vanwoert et al. (2005) ao avaliarem o desempenho de telhados verdes com

diferentes inclinações (2% a 6,45%) e diferentes espessuras (2,5, 4,0 e 6,0 cm). No supracitado estudo, o telhado verde com inclinação de 2% e 4 cm de espessura reteve, em média, 87% do escoamento superficial enquanto valores ligeiramente mais baixos foram verificados para as demais coberturas verdes. Neste mesmo sentido, Moruzzi et al. (2014) observaram que o telhado verde com 10% de inclinação, construído em escala piloto, apresentou melhor eficiência no controle do escoamento superficial em relação aos demais telhados verdes extensivos com 20% e 30% de inclinação. Para os telhados verdes com inclinação de 10%, 20% e 30%, o coeficiente de escoamento superficial médio foi $1,01\% \pm 0,7\%$, $34,7\% \pm 13,2\%$ e $39\% \pm 15,2\%$, nesta ordem.

Em função da maior profundidade do seu substrato, os telhados verdes intensivos podem ser mais eficientes no controle do escoamento pluvial comparativamente aos telhados verdes extensivos. Essa tendência foi constatada por Mentis et al. (2006), os quais relataram que a capacidade anual de retenção de águas pluviais para o telhado verde intensivo com substrato de 15 cm e o telhado verde extensivo com profundidade média do substrato igual a 10 cm foi aproximadamente 75% e 45%, respectivamente.

Em Santa Maria-RS, Jobim (2013) analisou cinco configurações de telhados verdes extensivos, montados com duas composições de substratos (sem argila e com argila expandida). O autor utilizou sistemas comerciais conhecidos como alveolar simples, alveolar grelhado, hexagonal e modular com galocha, além do sistema produzido com elementos recicláveis. Segundo Jobim (2013), foi notada uma diferença significativa na retenção do escoamento pluvial entre os módulos e entre os substratos, sendo que o sistema de maior eficiência foi o modular com galocha, que apresentou os valores de capacidade de retenção de 13,3 mm/m² sem argila expandida, e de 14,2 L/m² com argila expandida. Portanto, o desempenho dos telhados verdes no controle quantitativo do escoamento pluvial está condicionado à adequada escolha dos materiais e composição dos substratos empregados na sua construção.

3.5 PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para avaliar a destinação mais adequada da água deve-se observar os padrões de qualidade correspondente ao uso requerido. Essa medida visa garantir que os corpos d'água direcionados a um determinado fim apresentem as características físicas, químicas e biológicas em conformidade com uso da mesma.

Na esfera federal, dentre as principais diretrizes brasileiras relativas aos padrões de qualidade da água, destacam-se a Resolução CONAMA Nº 357/05 e a Portaria MS 2914/2011 (BRASIL, 2005; 2011).

Além dos instrumentos legais supracitados, comumente tem-se consultado outros padrões de qualidade a fim de definir o uso mais indicado para as águas. Dentre eles, pode-se citar a NBR 13.969/97 (ABNT, 1997), a publicação “Conservação e Reúso da Água em Edificações” (ANA, FIESP e SindusCon-SP, 2005) – Padrão de Reúso e a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007). A seguir, serão apresentados, de forma sucinta, os principais pontos da legislação mencionada sem entrar em detalhe nos valores de parâmetros que serão analisados em detalhe no Capítulo 5.

A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 discorre sobre os padrões de qualidade para corpos d’água. Essa resolução classifica as águas doces, salobras e salgadas em treze classes, segundo seus usos preponderantes. As cinco primeiras classes se referem às águas doces, quais sejam: Classe Especial, Classe I, Classe II, Classe III e Classe IV. Cada uma delas destina-se a um determinado uso, conforme especificado abaixo:

- Classe especial: Abastecimento para consumo humano, após desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

- Classe I – Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças;

- Classe II – Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças, aquicultura e atividades de pesca;

- Classe III – Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, pesca, recreação de contato secundário, dessedentação de animais;

- Classe IV – Navegação e harmonia paisagística.

A Portaria MS Nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 revogou a antiga Portaria MS Nº 518 de 25 de março de 2004 e dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A NBR 13.969/97 – Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – refere-se ao reúso de esgoto doméstico tratado. Essa norma, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), norteia o uso dos

efluentes domésticos tratados para fins que exigem qualidade de água não potável, porém segura do ponto de vista sanitário.

De acordo com a NBR 13.969/97, as águas podem ser classificadas nas Classe 1, 2, 3 e 4, cada uma destinada a usos específicos, conforme apresentado a seguir.

- Classe 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;
- Classe 2 – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3 – Reúso nas descargas dos vasos sanitários;
- Classe 4 – Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Assim como a norma NBR 13.969/97, o manual “Conservação e Reúso da Água em Edificações” também determina padrões de reúso para quatro tipos de classes. Os usos indicados para cada classe de água de reúso são os observados abaixo.

- Água de Reúso Classe 1 – Destinadas a descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.) e lavagem de roupas e de veículos;
- Água de Reúso Classe 2 – Os usos preponderantes nesta classe são associados às fases de construção da edificação, como a lavagem de agregados, a preparação de concreto, a compactação do solo e o controle de poeira;
- Água de Reúso Classe 3 – Irrigação de áreas verdes e rega de jardins;
- Água de Reúso Classe 4 – Resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

A NBR 15.527/2007, da ABNT, por sua vez, estabelece os requisitos para aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

3.6 QUALIDADE DE ÁGUAS ESCOADAS A PARTIR DE TELHADOS VERDES

No âmbito dos estudos sobre os telhados verdes, a avaliação da qualidade das águas escoadas a partir dessas coberturas tem ganhado cada vez mais interesse e destaque. Atualmente, no Brasil e em diversos outros países, é crescente o número de trabalhos desenvolvidos nesta vertente (KÖHLER; SCHIMIDT, 2003; MORAN et al., 2004; MORAN et al., 2005; BERNDTSSON et al., 2006; TEEMUSK; MANDER, 2007; HATHAWAY et al., 2008; BERNDTSSON, 2009; NICHOLSON et al., 2010; TEEMUSK; MANDER, 2011; FARIAS, 2012; VIJAYARAGHAVAN et al., 2012; TEIXEIRA, 2013; RAZZAGHMANESH

et al., 2014; BEECHAM; RAZZAGHMANESH, 2015; BUFFAM; MITCHELL, 2015; BUFFAM et al., 2016).

Os estudos iniciais e recentes têm permitido importantes avanços no que concerne ao entendimento da influência dos telhados verdes sobre as características da água. Contudo, ainda existem grandes lacunas sobre esse assunto que necessitam ser melhor elucidados (BERNDTSSON et al., 2009).

Sabe-se que diversos são os fatores que podem interferir nos aspectos qualitativos das águas drenadas dos TVs: composição e espessura do substrato, vazão do escoamento, inclinação do telhado, tipo de vegetação, tempo de estabelecimento da vegetação, sazonalidade, fontes de poluição local, propriedades físico-químicas dos poluentes, produtos químicos utilizados no substrato, dinâmica da precipitação, direção do vento, dentre vários outros (FERREIRA; MORUZZI, 2007; BERNDTSSON, 2009).

Os resultados das pesquisas apontam que, dependendo das condicionantes mencionadas acima, a qualidade da água está passível à melhoria ou à deterioração ao passar pelas coberturas verdes. Em um estudo conduzido no estado americano da Carolina do Norte, Moran et al. (2004) compararam as características da água de dois telhados verdes extensivos, uma cobertura de referência (superfície de concreto) e a água captada diretamente da atmosfera (água de chuva).

De acordo com Moran et al. (2004), um dos telhados verdes apresentava área de 27 m², substrato com 0,10 m de espessura, comportava as espécies vegetais *Sedum album*, *Sedum album murale*, *Sedum floriferum*, *Sedum reflexum*, e *Sedum sexangulare*. No segundo telhado verde de 70m², formado por substratos com duas espessuras diferentes (0,05 m e 0,10 m), a vegetação era composta por *Delosperma cooperi*, *Delosperma nubigenum*, *Sedum album*, *Sedum album chloroticum*, *Sedum album murale*, *Sedum grisebachil*, *Sedum reflexum*, *Sedum sexangulare*, e *Sedum spurium fuldaglut*. Os autores analisaram diferentes formas do nitrogênio (Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, nitrogênio total) e do fósforo (fósforo total e ortofosfato) na água.

Ao contrário da hipótese inicial, Moran et al. (2004) afirmaram que, em geral, não foi observado uma melhora nas variáveis das águas escoadas dos telhados verdes quando comparadas às águas coletadas diretamente da atmosfera e do telhado controle. Nos efluentes das coberturas com vegetação houve um significativo incremento, especialmente, do teor de nitrogênio total e fósforo total em relação aos demais tratamentos, o que denota uma redução da qualidade das águas das coberturas verdes, segundo os autores. Ainda de acordo com os mesmos, a concentração do nitrogênio total tendeu a diminuir ao decorrer do tempo. Esse fato

sugere que o período de estabelecimento do substrato e da vegetação são dois fatores que podem influenciar na qualidade de águas drenadas de telhados verdes e, portanto merecem atenção nos trabalhos dessa natureza.

De modo análogo ao constatado no estudo de Moran et al. (2004), ao analisar dados de cinco eventos de chuva MacMillan (2004) observou superioridade dos valores de fósforo total nas águas do telhado verde em relação ao telhado controle. Comportamento semelhante foi verificado para o fosfato, alguns metais, cátions e ânions. Por outro lado, os autores afirmaram que a cobertura verde, mostrou-se capaz de reduzir as cargas de sólidos suspensos, complexos nitrogenados (amônio, amônia, nitrato e nitrito), alumínio, cobre, DBO e manganês. Assim, sob esse aspecto, houve uma relativa melhoria da água drenada pela cobertura com vegetação. O telhado verde investigado era do tipo extensivo, com aproximadamente de 10% (5,7°) de inclinação, substrato de 0,14 m de espessura com flores silvestres e área de 131 m².

Em contraposição ao verificado por Moran et al. (2004) na Carolina do Norte, Gregoire e Clausen (2011) reportaram que, de um modo genérico, o telhado verde extensivo instalado em 2009, em Connecticut, Estados Unidos, contendo dez espécies vegetais de *Sedum sp.*, contribuiu para o decréscimo da maioria dos contaminantes da água. Dentre os principais benefícios proporcionados pela cobertura verde relatados na pesquisa, os autores destacaram a redução dos teores de amônia, zinco e chumbo da água de chuva. Gregoire e Clausen (2011) reportaram que, comparativamente ao telhado controle (superfície de concreto), evidenciou-se uma redução do fósforo total e fosfato no efluente da cobertura verde. Por outro lado, a passagem da água da chuva pelo telhado verde implicou no aumento do fósforo total, fosfato e cobre devido, possivelmente, a fertilização do substrato, segundo os autores.

Nos estudos realizados por Teemusk e Mander (2007), em Tartu (Estônia), verificou-se que as características do escoamento superficial podem influenciar na dinâmica de liberação de poluentes presentes nos telhados verdes. Neste sentido, os autores assinalaram, por exemplo, que uma vez depositados no substrato das coberturas verdes, os contaminantes tendem a ser lixiviados conforme o grau de escoamento das precipitações, dentre outros fatores. Teemusk e Mander (2007) assinalaram também que em eventos de chuvas com escoamento moderado, observou-se que as concentrações de fósforo e nitrogênio bem como de DBO e DQO foram maiores no telhado de referência com superfície de concreto do que nos telhados verdes extensivos. Sob essas mesmas condições de escoamento superficial, foi notada, em todos os tipos de coberturas, a maior elevação do pH.

Contudo, Teemusk e Mander (2007) destacaram que as concentrações de sulfatos e dureza total (Ca-Mg), independentemente do tipo de escoamento (moderado ou intensivo), sempre foram mais pronunciadas nos efluentes das coberturas verdes, o que fora atribuído à presença dessas substâncias nos substratos dos telhados com vegetação. Com base na análise holística dos dados, os autores concluíram que, apesar de constatado efeitos positivos e efeitos negativos, os telhados verdes, em termos de qualidade da água, definitivamente apresentam mais benefícios do que desvantagens. Para os pesquisadores, os futuros trabalhos devem se concentrar nos materiais usados para a construção dos telhados verdes, principalmente a camada do substrato, devido ao seu potencial em liberar substâncias para a água escoada. Pelos mesmos motivos, os autores sugeriram que igual atenção fosse dispendida aos problemas de manutenção das coberturas com vegetação, como por exemplo, a fertilização das plantas.

Em dissonância com os pesquisadores supracitados, Berndtsson et al. (2009) preconizaram que os telhados verdes não devem ser vistos como uma ferramenta para melhorar a qualidade da água de escoamento, reduzindo concentração de poluentes presentes na precipitação. Diferentemente disso, os autores apregoaram que a instalação das coberturas verdes pode ser justificada por uma ampla série de outros benefícios, incluindo a contribuição para a redução do volume de escoamento superficial. Contudo, a preocupação com os materiais e substâncias a ser empregadas nas instalações dos telhados verdes também foi ratificada.

As considerações de Berndtsson et al. (2009) foram embasadas em um estudo no qual investigaram a influência de um telhado verde extensivo na Suécia e de um telhado verde intensivo no Japão na qualidade da água escoada. O objetivo principal foi analisar se esses telhados verdes se comportavam como fonte ou sumidouro de substâncias químicas. No contexto desta pesquisa, as coberturas verdes foram consideradas como sumidouro de substâncias químicas quando as concentrações de elementos e compostos químicos na água de entrada (água da chuva) foram maiores do que na água de saída (efluente do telhado). Em outros termos, os telhados verdes seriam capazes de reter poluentes. Na situação oposta, ou seja, quando as concentrações de elementos e compostos químicos na água de saída (efluente do telhado) foram maiores do que na água de entrada (água da chuva), as coberturas verdes foram tidas como fonte de substâncias químicas. Neste caso, os telhados verdes liberariam poluentes para a água escoada.

Berndtsson et al. (2009) afirmaram que os dois tipos de telhados verdes estudados, o extensivo e intensivo, se comportaram como sumidouro de nitrato e nitrogênio amoniacal,

ambos com desempenho semelhante. O telhado verde intensivo também reteve nitrogênio total, em contraste com o telhado verde extensivo. Em relação ao fósforo, os autores verificaram que sua liberação foi observada apenas no telhado verde extensivo. Para os pesquisadores, a provável fonte de fósforo no telhado verde extensivo foram os fertilizantes e o solo do substrato. Berndtsson et al. (2009) explicaram também que o telhado verde intensivo suporta plantas maiores, enquanto o extensivo, composto pela espécie vegetal *sedum*, tem baixo requerimento de nutrientes. Assim, mais nitrogênio é potencialmente usado e retido pela vegetação sobre o telhado vegetação intensivo, o que justifica seu papel de sumidouro em relação ao nitrogênio total e não liberação do fósforo total.

Ainda de acordo Berndtsson et al. (2009), em comparação à água da chuva, as concentrações médias de Fe e Zn no telhado verde intensivo foram menores, indicando o seu potencial de funcionamento como um sumidouro para estes metais. No telhado verde extensivo, o valor médio do zinco aumentou e manteve-se praticamente inalterado para o Fe, em relação a água de chuva. A respeito do pH, os autores verificaram seu aumento durante a passagem da água da chuva pelo telhado verde intensivo, sugerindo que esse telhado pode proporcionar a neutralização rápida das deposições ácidas.

Corroborando com o estudo de Berndtsson et al. (2009), Nicholson et al. (2010) ao analisar a qualidade de águas drenadas de três telhados verdes extensivos, construídos em escala piloto, também observaram aumento do pH. Esse resultado foi associado ao potencial das coberturas verdes de adsorver íons de hidrogênio e, assim neutralizar águas de chuvas ligeiramente ácidas. De modo similar, Vijayaraghavan et al. (2012) notaram elevação do pH de águas escoadas em telhados verdes semi-extensivos, assim como em telhado convencional composto por telhas de policarbonato. No tocante a outros parâmetros analisados, tais como, o cálcio, cobre, magnésio, alumínio, salinidade e condutividade elétrica, os autores relataram que os maiores valores foram verificados nos telhados verdes, em relação ao telhado convencional e água de chuva.

Adicionalmente, Vijayaraghavan et al. (2012) destacaram que os dados de sua pesquisa apontaram liberação de alguns nutrientes, tais como o fosfato e o nitrato, a partir dos telhados verdes. Os autores destacaram que a concentração dos componentes químicos nas águas escoadas nos telhados depende fortemente da natureza dos substratos utilizados no telhado verde e o volume de chuva. Diante disso, conforme já reportado em vários outros trabalhos, sugeriram que os telhados verdes sejam construídos com materiais adequados para evitar efeitos adversos à qualidade da água escoada.

Baseado na capacidade dos telhados verdes em neutralizar a acidez das águas pluviais, alguns pesquisadores sugerem que essa tecnologia sustentável poderia atenuar os problemas relacionados ao escoamento da chuva ácida em áreas urbanas. Neste sentido, os telhados verdes poderiam, por exemplo, contribuir para reduzir o grau de acidificação de águas naturais, proteção de edifícios históricos, monumentos, e materiais de construção (BERNDTSSON, 2010; LI; BABCOCK, 2014).

A partir de uma ampla revisão de literatura sobre o papel dos telhados verdes na redução da poluição, Rowe (2011) concluiu que, em geral, as coberturas verdes podem (também) ter um efeito positivo sobre qualidade da água. O autor verificou que os telhados verdes com baixo tempo de estabelecimento (telhados verdes jovens) tendem a ser uma fonte de poluentes. Em contraste, esse efeito parece ser atenuado em coberturas com vegetação mais antiga (telhados verdes maduros). Contudo, Rowe (2011) ressaltou que a qualidade do efluente dos telhados verdes é dependente de vários outros fatores, tais como a composição e profundidade do substrato, a seleção das plantas, o volume de chuva e as propriedades químicas dos poluentes. Complementarmente, o autor destacou que a utilização de fertilizantes convencionais solúveis deve ser evitada, devido ao impacto negativo sobre as águas escoadas.

Na cidade de Madra (Índia), Vijayaraghavan e Joshi (2014) realizaram um experimento para avaliar se os telhados verdes se comportavam como fonte ou sumidouro de contaminantes. Nesse trabalho, o desempenho dos substratos dos telhados verdes composto por perlita, vermiculita, areia, tijolo moído e coco-turfa foram comparados com o solo de jardim local. A espécie *Portulaca grandiflora* foi empregada como vegetação no telhado verde. No total, quatro diferentes configurações de telhado verde, com sistemas vegetados e não vegetados, foram examinados durante vários eventos de chuva artificial.

Os resultados das análises apontaram potencialidade dos telhados verdes em agirem como um sumidouro para vários metais (Ca, Mg, Al, Fe, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd e) e neutralizar a natureza da água da chuva, ou seja elevar o pH. Os efluentes das coberturas sem vegetação apresentaram concentrações mais elevadas em relação àquelas com *Portulaca grandiflor*, indicando que a espécie vegetal foi capaz de reter uma parcela de contaminantes. De maneira semelhante ao aludido em outros estudos, Vijayaraghavan e Joshi (2014) ressaltaram que na fase inicial dos telhados verdes é observada a maior contribuição dessas coberturas para a elevação da concentração de íons nas águas escoadas. Contudo, os autores afirmaram que a ocorrência de chuvas contínuas, retenção pelas plantas e outras atividades biológicas tendem a retirar os contaminantes do sistema.

Em face das observações citadas acima, Vijayaraghavan e Joshi (2014) concluíram que os telhados verdes podem melhorar a qualidade da água. No entanto, ressaltaram que para alcançar este objetivo, a escolha do substrato também deve ser baseada na sua habilidade de sorção de elementos e compostos químicos. Além disso, destacaram que a seleção de espécies de plantas em telhados verdes não deve ser inteiramente ditada pela estética e potencial de tolerância à seca, mas deve-se considerar também o seu potencial de fitorremediação.

Em uma pesquisa realizada na cidade de Adelaide, no sul da Austrália, Razzaghmanesh et al. (2014) analisaram os efeitos de telhados verdes extensivos e telhados verdes intensivos sobre a qualidade de águas pluviais. No estudo em questão, dentre outros resultados, os autores evidenciaram que, exceto por alguns eventos para condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e cloreto, os valores dos parâmetros, tais como pH, turbidez, nitrato, fosfato e potássio maiores em águas escoadas no telhado verde intensivo do que nos efluentes do telhado verde extensivo.

Além disso, tendo por base uma comparação dos valores dos parâmetros analisados com as diretrizes local, estadual, nacional e internacional de qualidade da água, Razzaghmanesh et al. (2014) sugeriram que as águas drenadas dos telhados verdes poderiam ser empregadas para fins não potáveis, tais como, na paisagem urbana, irrigação e descarga de vaso sanitário. Esse fato demonstra que, mesmo sem prévio tratamento, as águas escoadas das coberturas verdes podem representar uma potencial fonte alternativa para usos menos restritivos da água, uma linha de pesquisa ainda pouco explorada nos estudos atuais.

Neste mesmo sentido, Beecham e Razzaghmanesh (2015) estudando os aspectos qualitativos e quantitativos de águas em telhados verdes (intensivo e extensivo) em clima seco, também indicaram que as águas drenadas das coberturas verdes apresentavam potencial para usos não potáveis, como por exemplo, paisagismo e irrigação. No referido estudo, para fins de avaliação da qualidade da água, foram determinados e comparados os parâmetros NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, Na, Ca, Mg e K de águas de chuva, telhados verdes extensivos e telhados verdes intensivos, com vegetação e sem vegetação. Conforme os autores, de modo geral, apesar da não aplicação de fertilizantes nos substratos, ambos os tipos de telhados verdes, com presença e ausência de vegetação, atuaram como fonte de poluentes.

Ainda de acordo com Beecham e Razzaghmanesh (2015), verificaram que, geralmente, as concentrações de poluentes nos efluentes dos telhados verdes sem vegetação foram maiores do que nos efluentes dos telhados verdes com vegetação. Os autores explicaram que esse comportamento se deu em parte, devido à lixiviação dos suportes de

cultura e, em parte, devido à absorção dos poluentes pelas plantas. A partir disso, destaca-se a importância da vegetação na remoção de elementos e substâncias poluidoras e melhoria da capacidade de retenção de água em sistemas de telhado verde (VIJAYARAGHAVAN; JOSHI, 2014; BEECHAM; RAZZAGHMANESH, 2015).

No cenário nacional, Farias (2012) também investigou o desempenho qualitativo de telhados verdes em região de clima seco. O estudo conduzido na cidade de Caruaru-PE contemplou dois telhados verdes extensivos e um telhado com telhas cerâmicas (telhado controle). Em uma das coberturas verdes foi empregada a espécie vegetal *Cynodium dactylum* e na outra o *Melocactus macrodiscus*. A análise da qualidade das águas captadas dos três telhados foi realizada a partir da determinação dos parâmetros pH, ferro, dureza, turbidez, cor, temperatura, alcalinidade, cloretos, nitrogênio, oxigênio dissolvido. No tocante aos aspectos qualitativos, a autora constatou que a cor e a turbidez, assim como o nitrato e o fosfato das águas captadas das coberturas verdes, em geral, apresentaram maiores valores em relação ao telhado controle. Esse fato foi atribuído à presença do substrato e à decomposição da vegetação (fonte de matéria orgânica), observados nos telhados verdes.

Com relação ao desempenho das espécies vegetais empregadas nas coberturas verdes, Farias (2012) verificou que o telhado com *Melocactus macrodiscus*, embora tenha demonstrado melhor desempenho na retenção da água, apresentou efluente com aspectos qualitativos mais adversos comparativamente ao telhado de referência. Esse resultado foi associado à morfologia desta espécie (cacto), cujo sistema radicular pouco ramificado não oferece uma boa resistência ao arraste de partículas do solo e, assim contribui para alterar as características das águas do telhado verde contendo essa espécie vegetal. No que se refere aos potenciais usos das águas escoadas dos telhados verdes, a autora afirma que as mesmas poderiam ser empregada em usos menos nobres, como lavagem de pisos e irrigação de jardins.

Na região sul do Brasil, Persch et al. (2011) avaliaram o comportamento de um telhado verde sob condições climáticas subtropicais. Consoante às características das águas drenadas no telhado verde, os valores referentes à cor e à matéria orgânica dissolvida apresentaram-se mais elevados em comparação ao verificado no telhado convencional de fibrocimento. Segundo os autores, essa tendência pode estar associada, principalmente, a distribuição temporal dos eventos chuvosos. Os níveis de turbidez observados nos dois tipos de telhados, por sua vez, mostraram-se praticamente iguais. Estes e os demais dados alusivos às características qualitativas da águas escoadas de ambas as coberturas estudadas estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características qualitativas das águas escoadas de telhado verde e telhado de fibrocimento

Parâmetro	Telhado verde	Telhado de Fibrocimento
pH	6,9	7,8
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	377	69,6
Turbidez (NTU)	1,8	1,7
Sólidos suspensos (mg/L)	3,5	6,9
Sólidos suspensão voláteis (mg/L)	30,7	2,2
Sólidos totais (mg/L)	352,8	100,9
Cloretos (mg Cl/L)	2,5	1,25

Fonte: Persch et al. (2011).

Com vista a analisar o efeito de telhados verdes na qualidade da água de chuva, Teixeira (2013) determinou e comparou diversos parâmetros dos efluentes drenados de uma cobertura cerâmica e de oito coberturas verdes instaladas em Campinas, no estado de São Paulo. Em síntese, a autora constatou que grande parte dos parâmetros de qualidade de água dos telhados verdes não atenderam aos padrões estabelecidos nas diretrizes consultados para água de reúso ou aproveitamento na edificação. Assim, foi sugerido prévio tratamento dessas águas antes do seu aproveitamento. Contudo, tendo em vista as exigências para a água não potável dos documentos consultados, a autora assinalou não haver necessidades diferenciadas de tratamento em relação à água captada pelo telhado cerâmica.

A partir da presente revisão de literatura, observa-se que os telhados verdes, indubitavelmente, exercem influência direta sobre a qualidade da água. Conforme discutido em diversos estudos, a passagem das águas pelas coberturas verdes pode melhorar ou piorar os seus parâmetros qualitativos. Dessa forma, para o adequado aproveitamento da água, em termos de qualidade, faz-se necessário entender como os telhados verdes e os outros fatores externos atuam sobre os seus parâmetros qualitativos.

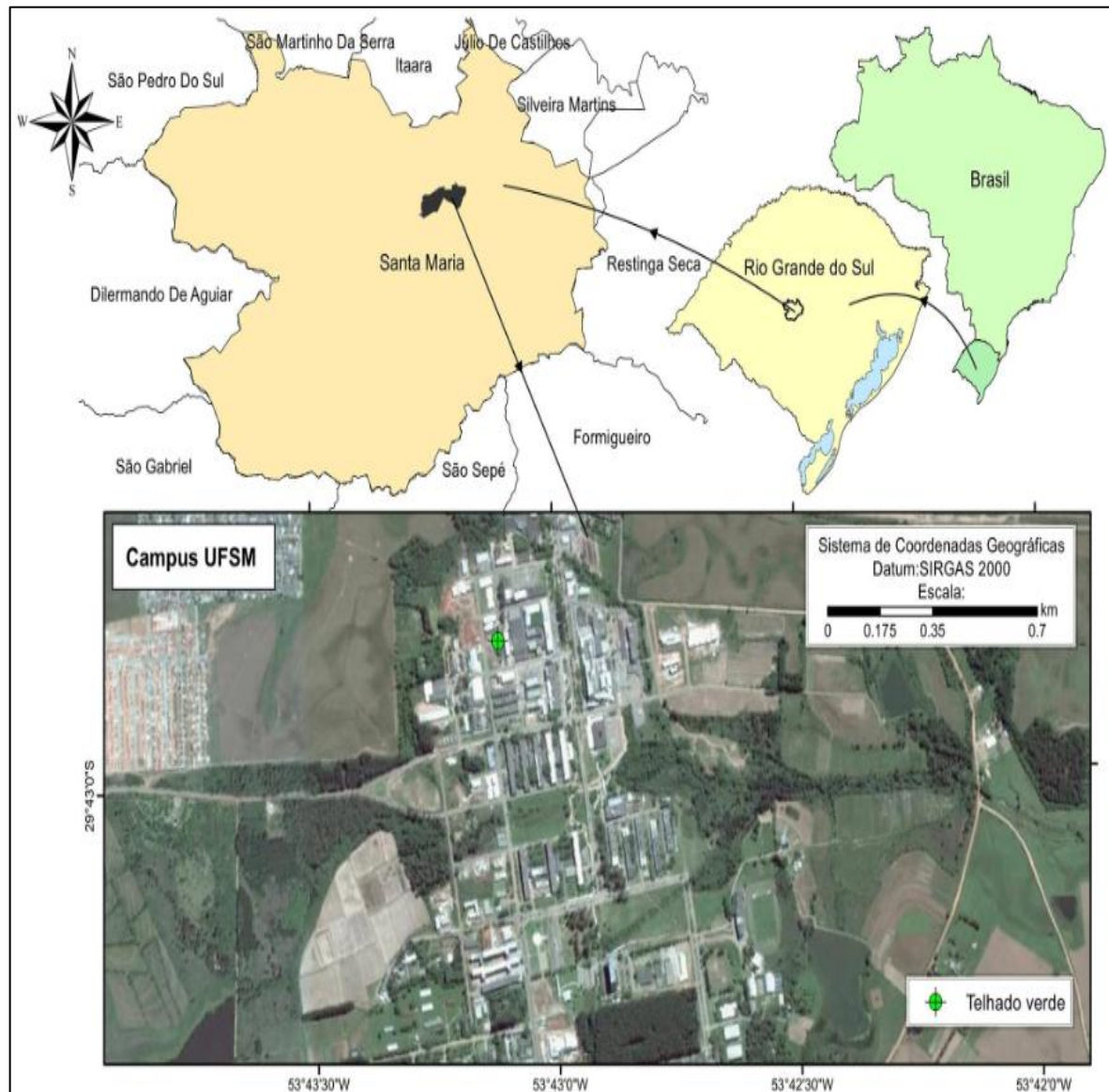
Sabe-se que, dado o potencial em liberar poluentes, o substrato dos telhados verdes e a fertilização de plantas são apontados como os principais fatores que podem exercer efeito adverso à qualidade da água. Porém, é propagado também que as condições climáticas e da qualidade do ar pode interferir sobremaneira na dinâmica de liberação de contaminantes. Sendo assim, e considerando o fato que a tecnologia do telhado verde foi desenvolvida em países com clima e outras características bastante diferentes do Brasil, torna-se de grande importância estudos que investiguem sua adequação à realidade brasileira (PERSCH et al., 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na área experimental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situada sob as coordenadas geográficas $29^{\circ}42'48,7''$ S e $53^{\circ}43'07,4''$ W e altitude de 89 metros, no bairro Camobi, em Santa Maria-RS (Figura 6).

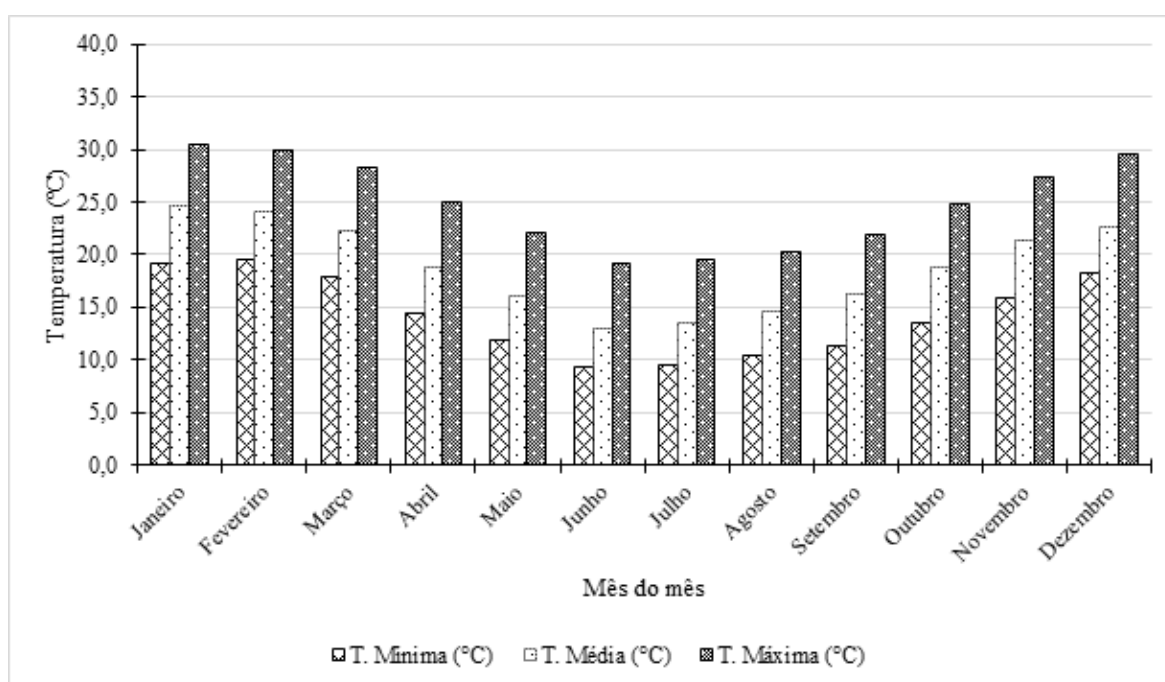
Figura 6 – Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com cerca de 261.031 habitantes e localizado na parte central do Rio Grande do Sul, Santa Maria é o quinto município mais populoso do estado (IBGE, 2010). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (subtropical úmido), com temperatura média anual de 18°C. As temperaturas médias do mês mais quente (janeiro) geralmente ultrapassam os 22 °C e as do mês mais frio (julho) variam entre -3 a 18 °C. Na Figura 7 é representado graficamente as normais climatológicas da temperatura média mensal em Santa Maria-RS no período de 1961 a 1990.

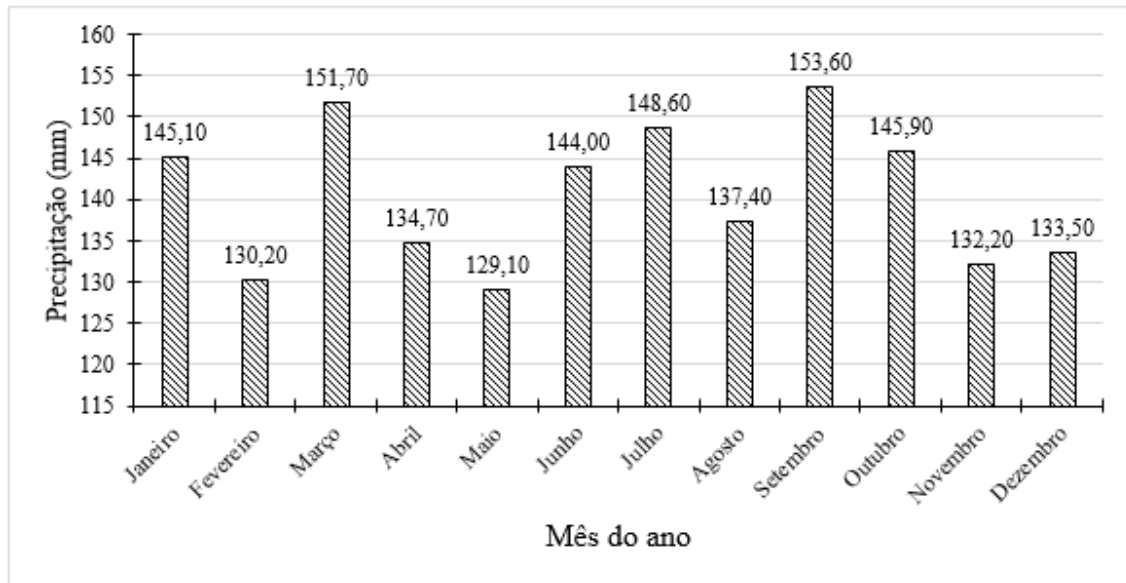
Figura 7 – Normais climatológicas da precipitação média mensal em Santa Maria-RS



Fonte: Elaborado pelo o autor a partir de dados do INMET (2016a).

A precipitação pluviométrica, por sua vez, apresenta-se bastante distribuída ao longo do ano, com média anual de 1.686 mm (INMET, 2016a). Na Figura 8 é representado graficamente as normais climatológicas da precipitação média mensal em Santa Maria-RS no período de 1961 a 1990, a partir da qual é possível notar a relativa homogeneidade da distribuição anual da chuva na região.

Figura 8 – Normais climatológicas da precipitação média mensal em Santa Maria-RS



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do INMET (2016a).

No que tange à vegetação predominante na região, a mesma, de um modo geral, é de cobertura rasteira do tipo savana, sendo que a vegetação arbórea é mais abundante no rebordo do planalto e nos vales profundos (MACIEL FILHO, 1977). Na área do experimento e em suas adjacências, em específico, observa-se a presença de uma vegetação heterogênea de baixo e médio porte, com predomínio desta primeira (Figura 9). Também é possível notar a ocorrência de solo exposto e outra parte pavimentado.

Figura 9 – Vista geral da área do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O bairro onde o experimento está instalado, Camobi, é tipicamente residencial. A parcela industrial é pouco representativa, portanto tal uso possivelmente apresenta baixo potencial para modificar a qualidade do ar. A região possui poucos prédios, sendo que na UFSM, local em que o trabalho foi desenvolvido, os prédios, na sua maioria, possuem até três andares. O fluxo de veículos é relativamente baixo na área experimental dos telhados verdes. Outras potenciais fontes de poluição atmosféricas, capazes de contribuir sobremaneira para a alteração da qualidade da água de chuva não são verificadas na área de estudo e em suas imediações.

4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

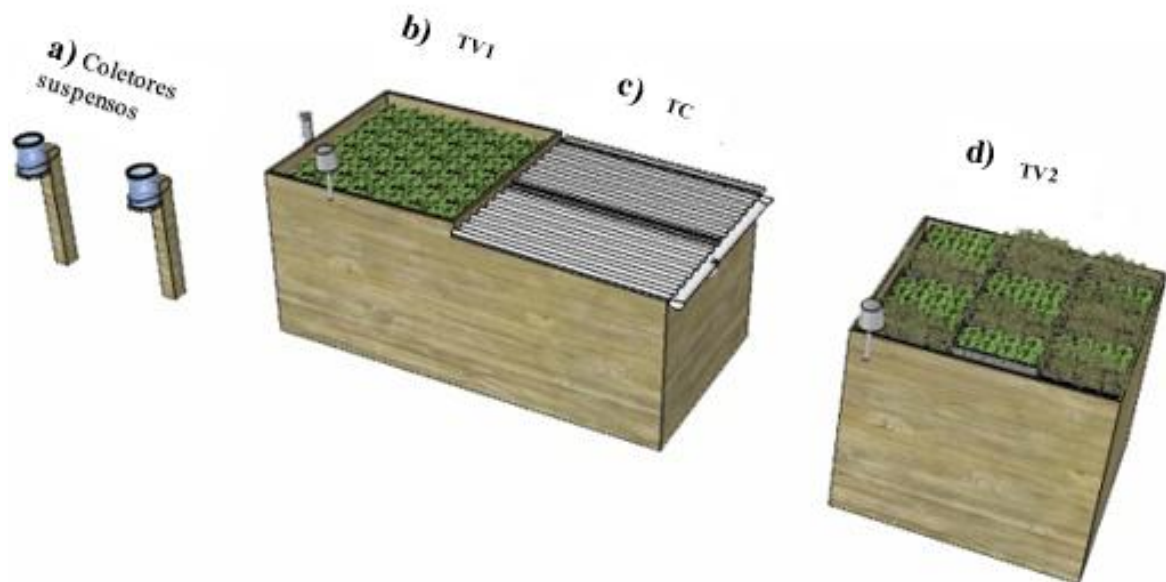
Desde o ano de 2010 os telhados verdes (TVs) são objetos de estudos do grupo de pesquisa em Modelagem Hidroambiental e Ecotecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Inicialmente, o principal foco dos trabalhos relacionou-se aos aspectos quantitativos das águas escoadas dessas coberturas (SILVA, 2010; PERSCH et al., 2011; PERSCH, 2012; JOBIM, 2013; TASSI et al., 2014; LORENZINI NETO, 2014).

No presente trabalho, para a avaliação quali-quantitativa das águas drenadas dos TVs, o experimento original passou por algumas modificações e atualmente é composto por dois telhados verdes extensivos (TV1 e TV2), um telhado convencional de fibrocimento (TC) e dois reservatórios de 20 L suspensos a 1,5 m do solo para coleta de água diretamente da atmosfera (Figuras 10).

Conforme observado na Figura 10, existem duas estruturas de madeiras sobre as quais os telhados estão dispostos. A primeira, com cerca 13,67 m², localizada no lado esquerdo da Figura 10, possui parte de sua parcela (6,75 m²) coberta por telhado verde extensivo (TV1) e a outra parcela (6,92 m²) com telhado convencional de fibrocimento (TC). Na segunda estrutura de madeira, a cobertura é composta apenas por telhado verde extensivo (TV2) com área de aproximadamente 6,12 m² (Figura 10). Em ambas as estruturas a inclinação é cerca de 1°.

Com relação às coberturas verdes, em particular, as principais diferenças entre o TV1 e o TV2 dizem respeito aos tipos de módulos em que seus substratos estão inseridos e também em relação ao número e tipo de espécies vegetais observadas em cada uma dessas coberturas.

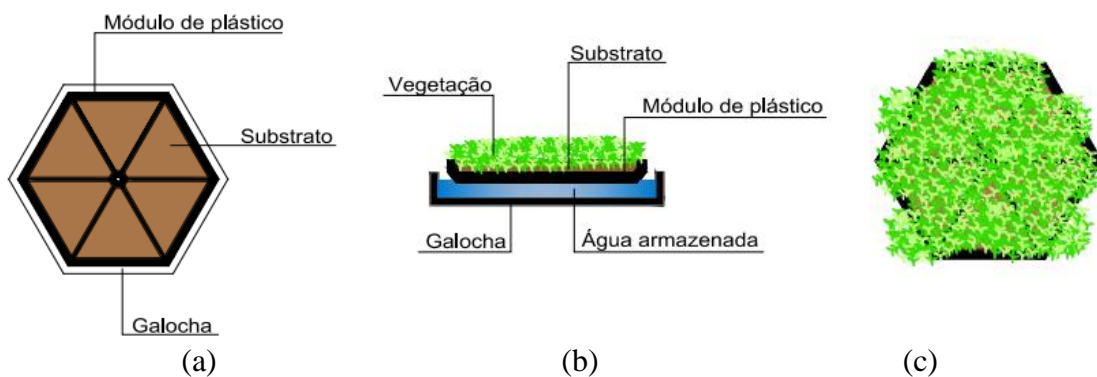
Figura 10 – Representação esquemática do experimento: a) Coletores suspensos para coleta de água diretamente da atmosfera; b) TV1: telhado verde extensivo com a espécie vegetal *Sedum rupestre*; c) TC: telhado convencional de fibrocimento; d) TV2: telhado verde extensivo com as espécies vegetais *Plectranthus barbatus* e *Sedum dendroideum*



Fonte: Elaborado pelo autor.

No TV1 são utilizados módulos hexagonais interconectados nos quais foi plantada a espécie vegetal *Sedum rupestre*. Esses módulos foram confeccionados com plástico reciclado, com dimensões externas de 48 x 42 cm, 7 cm de altura e 2 mm de espessura (Figura 11). Cada módulo apresenta seis subdivisões (células) internas triangulares. Tais células possuem lados com aproximadamente 20 cm, com 3 cm de altura e espessura de 2mm, as quais agrupadas formam o módulo hexagonal (Figura 11).

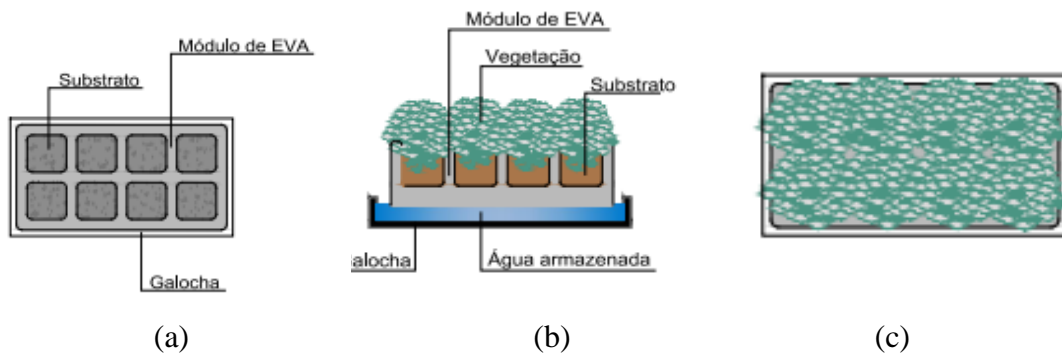
Figura 11 – Sistema modular hexagonal com (a) galocha do telhado verde, (b) esquema vertical e (c) vista superior



Fonte: Elaborado pelo autor.

A descrição detalhada do TV2, por sua vez, pode ser observada em Lorenzini Neto (2014). O TV2 é formado por 24 módulos retangulares de EVA (espuma vinílica acetinada) reciclada moída e aglomerada com cimento Portland CP-V com adição de cinzas. Cada módulo possui dimensões externas de 35 x 70 cm, com 9 cm de espessura. Os módulos estão acondicionados sobre galochas de Pet reciclado com cerca de 3 cm de altura. Internamente, os módulos apresentam oito subdivisões (células) quadradas, com 12 cm de lado e 4 cm de espessura (Figura 12). Nessas células estão inseridos o substrato e a vegetação, que fazem a retenção das águas pluviais. Atualmente, as espécies presentes no TV2 são a *Plectranthus barbatus* e a *Sedum dendroideum*.

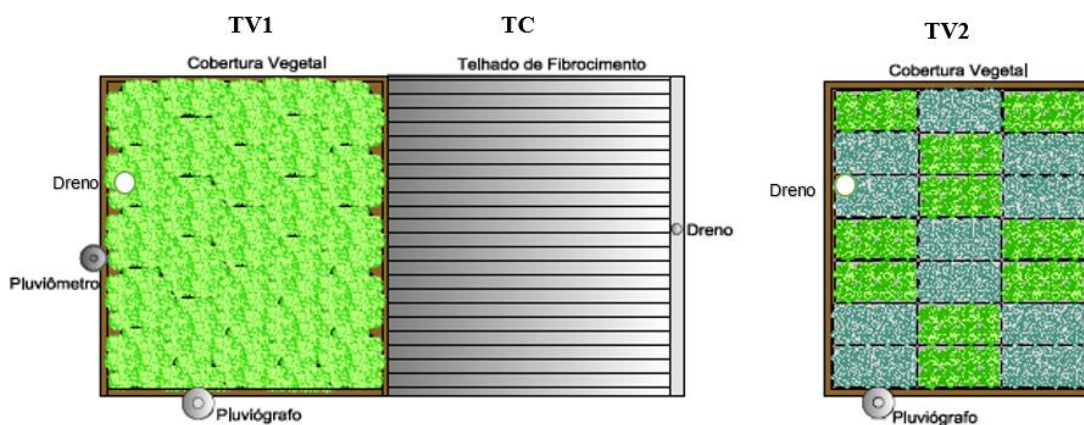
Figura 12 – Sistema modular retangular com (a) galocha do telhado verde, (b) esquema vertical e (c) vista superior



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 13 é possível observar as características gerais dos telhados verdes e telhado de fibrocimento.

Figura 13 – Desenho esquemático da vista superior dos telhados estudados (TV1, TC e TV2)



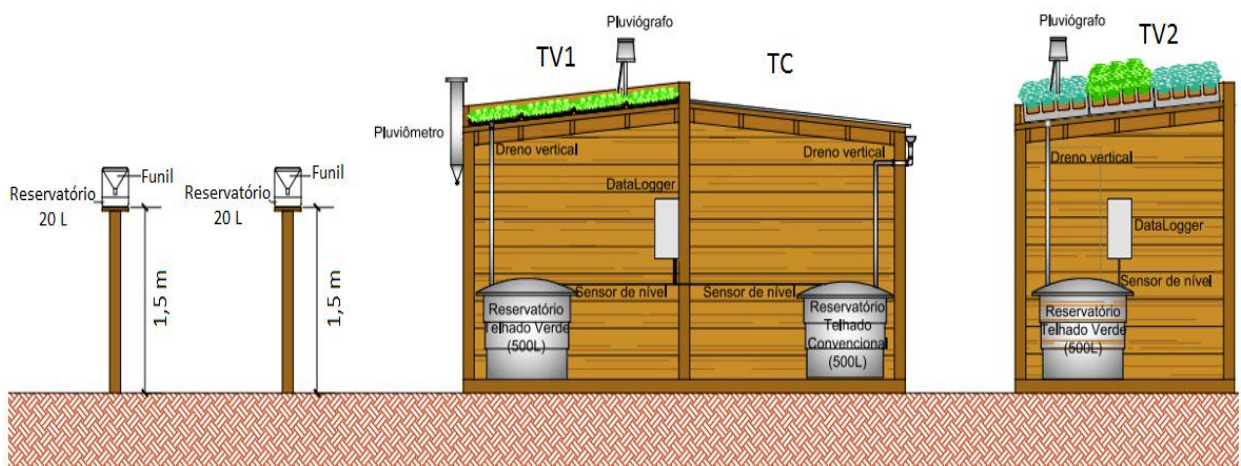
Fonte: Elaborado pelo autor.

O substrato empregado no preenchimento das células de cada módulo, tanto no TV1 quanto no TV2, é composto de solos de jardinagem, misturado ao solo existente nas mudas de plantas utilizadas na instalação. As características físicas e químicas de ambos os substratos serão apresentadas no subitem 5.2.

Para impedir a infiltração da água da chuva nas estruturas dos TV1 e TV2, foram utilizadas, sob seus respectivos substratos, lonas plásticas transparentes. Essa medida, aliada à inclinação das estruturas, visa também propiciar que todo o volume excedente de águas pluviais escoado a partir dos telhados seja direcionado para um único ponto para sua posterior coleta.

Para a coleta dos volumes escoados, instalou-se em todos os telhados (TV1, TC e TV2) drenos na extremidade inferior da estrutura de suporte. Por meio destes drenos, a água foi conduzida para um conduto vertical e então direcionada para reservatórios de polietileno de 500 L cada, instalados sob os três telhados (Figura 14).

Figura 14 – Desenho esquemático da visão geral do experimento



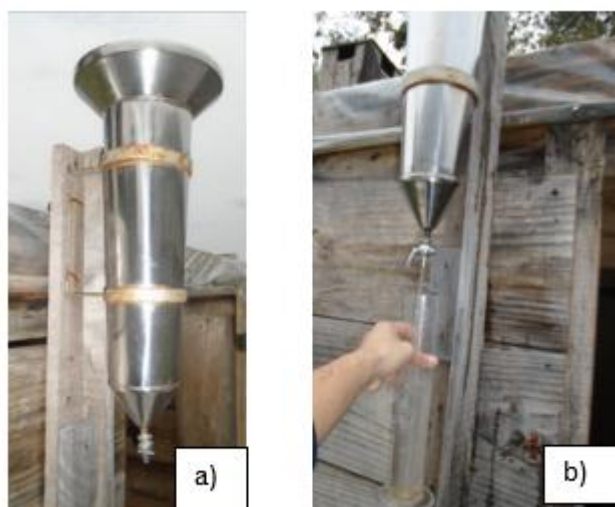
Fonte: Elaborado pelo autor.

O volume de 500 L dos reservatórios foi definido tendo por base a análise de chuvas intensas da cidade de Santa Maria, dada pela equação IDF local (BELINAZO, 1991) citado por Tassi et al., (2014) e posteriormente atualizada por Roman et al., (2015) para um período de recorrência de 10 anos.

4.3 OBTENÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A obtenção dos dados pluviométricos foi realizada por meio de um pluviômetro instalado junto ao TV1(Figura 15 a)). O pluviômetro utilizado é do tipo sem medidor interno, no qual as leituras foram realizadas por uma proveta graduada de 10 mm (Figura 15 b)).

Figura 15 – Materiais empregados para obtenção dos dados pluviométricos a) Pluviômetro b) proveta graduada de 10 mm



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fins de consistência, a altura pluviométrica obtidas nas leituras do pluviômetro foram comparadas com as verificadas em um pluviógrafo do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o qual dista apenas 1500 metros da área do presente estudo. A chuva efetiva, ou seja, o volume escoado a partir dos telhados foi mensurada mediante a leitura do nível de água dos reservatórios previamente cubados.

Após cada evento de chuva os reservatórios foram esvaziados e devidamente higienizados para garantir a confiabilidade dos resultados de qualidade da água. Procedimento análogo ocorreu com os coletores suspensos destinados à coleta de águas pluviais captadas diretamente da atmosfera. Contudo, os coletores apenas foram dispostos no local do experimento instantes antes da chuva a fim de evitar exposição a poluentes.

4.4 AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL NOS TELHADOS VERDES E NO TELHADO DE FIBROCIMENTO

A avaliação do controle do volume do escoamento pluvial nos telhados verdes e telhado de fibrocimento (telhado controle) foi realizada a partir da determinação do coeficiente de escoamento (C) e da parcela de água armazenada em ambos os tipos de coberturas.

O coeficiente C foi calculado a partir da relação entre o volume de chuva escoado superficialmente e o volume total precipitado na área de captação do telhado, conforme indicado na equação 1.

$$C = \frac{V_{esc}}{V_{chuva}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

C: coeficiente de escoamento (adimensional)

V_{esc}: volume escoado superficial (L)

V_{chuva}: volume de chuva total incidente na área de captação do telhado (L)

Os valores do coeficiente de escoamento variam de 0 a 1. Baixos valores de C indicam maior capacidade de retenção de água no telhado (elevada eficiência). Por outro lado, valores de C maiores apontam maior escoamento de água no telhado (baixa eficiência).

A parcela de água armazenada nas coberturas verdes e cobertura de fibrocimento foi obtida por meio de um balanço hídrico simplificado: diferença entre o volume total de chuva incidente no telhado e o volume escoado superficialmente, como apresentado na equação 2.

$$V_{ret} = V_{chuva} - V_{esc} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

V_{ret}: volume de água armazenada no telhado (L)

V_{chuva}: volume de chuva total incidente na área de captação do telhado (L)

V_{esc}: volume escoado superficial (L)

As condições de umidade do solo que antecedem o evento chuvoso monitorado pode influenciar na capacidade de retenção de água nos telhados verdes (TASSI et al., 2014). Neste sentido, a Umidade Antecedente do Solo (UAS) de cada evento de chuva analisado foi mensurada seguindo a metodologia preconizada pelo SCS (1971).

Assim, a partir dos dados do pluviógrafo do INMET, a UAS foi determinada considerando o volume de chuva ocorrido nos cinco dias (P5) que antecederam cada evento chuvoso monitorado nesta pesquisa. Com base nisso, seguindo os valores de referência para culturas estabelecidas, conforme indicado pelo SCS (1971), a UAS foi classificada em três categorias: UAS=I para $P5 \leq 13$ mm; UAS=II para $13 \text{ mm} < P5 \leq 28$ mm; e UAS=III para $P5 > 28$ mm para ser posteriormente utilizada em análises da sua influência.

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados relacionados ao escoamento pluvial nos telhados verdes, os dados de todos os eventos, após serem organizados por estação do ano, foram plotados em gráficos *matrix plot*, conforme será apresentado no tópico 5.3. O *matrix plot* permite avaliar gráfica e simultaneamente a relação entre duas ou mais variáveis. No contexto da presente pesquisa, foi avaliado a variação do coeficiente de escoamento em função da precipitação e P5 dias (umidade do solo).

4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A análise qualitativa das amostras de água foi realizada por meio da determinação dos parâmetros físicos (turbidez, cor aparente, cor verdadeira, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e temperatura), químicos (pH, fosfato, nitrogênio total Kjeldahl, nitrato, nitrito, cloretos, sulfatos, DBO e dureza total), metais (cobre, ferro, zinco, chumbo e cromo) e microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*).

Os procedimentos para a coleta, armazenamento e transporte das amostras de águas obtidas dos reservatórios e coletores suspensos seguiram as normas preconizadas em APHA (1998; 2012). Os ensaios físicos, químicos e microbiológicos da água foram executados em laboratórios da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). As metodologias analíticas específicas para a determinação dos parâmetros da água estão descritas na Tabela 2.

Os resultados das análises de águas dos telhados (TV1, TV2 e TC) foram comparados entre si e com as águas captadas diretamente da atmosfera pelos coletores suspensos. O comportamento dos telhados verdes em relação à qualidade das águas foi obtido por comparação com os dados observados no telhado convencional de fibrocimento enquanto a análise da água captada diretamente da atmosfera permitiu verificar se os TVs se comportaram como fonte ou sumidouro de poluentes. As coberturas verdes foram consideradas como fonte de poluentes quando a concentração de substâncias físicas, químicas ou microrganismos nas águas escoados dos telhados verdes foram superiores aos da água de chuva captada pelos coletores suspensos. No caso oposto, as coberturas verdes foram consideradas como sumidouro de poluentes.

Tabela 2 – Parâmetros e metodologias analíticas empregadas para análises da qualidade da água

Parâmetro	Metodologia Analítica	Limite de detecção
Chumbo	EAA	0,005 mg.L ⁻¹
Cloretos	Cromatografia Iônica	0,05 mg.L ⁻¹
Cobre	EAA	0,002 mg.L ⁻¹
Coliformes totais	Ideex-colilert	1 NMP.100 mL ⁻¹
Cond. Elétrica	Potenciométrico	0,1 µS.cm ⁻¹
Cor aparente	Colorimétrico	0,1 uC
Cor verdadeira	Colorimétrico	0,1 uC
Cromo	EAA	0,005 mg.L ⁻¹
DBO _{5,20}	Manométrico Hach	0,1 mg.L ⁻¹
Dureza	Titulometria	2 mg.L ⁻¹
<i>E. coli</i>	Ideex-colilert	1 NMP.100 mL ⁻¹
Ferro	EAA	0,006 mg.L ⁻¹
Fosfato	Cromatografia Iônica	0,1 mg.L ⁻¹
Nitrato	Cromatografia Iônica	0,04 mg.L ⁻¹
Nitrito	Cromatografia Iônica	0,04 mg.L ⁻¹
NTK	Colorimétrico	0,1 mg.L ⁻¹
pH	Potenciométrico	0,1
SDT	Gravimétrico	0,1 mg.L ⁻¹
Sólidos Totais	Gravimétrico	0,1 mg.L ⁻¹
SST	Gravimétrico	0,1 mg.L ⁻¹
Sulfato	Cromatografia Iônica	0,1 mg.L ⁻¹
Temperatura	Termometria	0,1 °C
Turbidez	Nefelométrico	0,02 UNT
Zinco	EAA	0,006 mg.L ⁻¹

EAA: Espectrometria de Absorção Atômica; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; SST: Sólidos Suspensos Totais.

Adicionalmente, para nortear potenciais usos das águas analisadas, os resultados foram comparados com os padrões observados em legislações e normas nacionais, a saber: Portaria MS Nº 2914/11 do Ministério da Saúde (qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade), NBR 15527/07 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em

áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos), a Resolução CONAMA N°357/05 (classificação dos corpos de água), NBR 13696/97 (Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação) e pelo Manual “Conservação e Reúso da Água em Edificações” (ANA, FIESP e SindusCon-SP, 2005).

Os resultados de todas as análises são apresentados no apêndice do presente trabalho. Como será observado no tópico 5, para a apresentação e discussão dos dados de qualidade da água, quando possível, foram realizados gráficos do tipo boxplot.

4.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SUBSTRATO DOS TELHADOS VERDES

Como mencionado no item 4.2, foram realizadas análises físicas e químicas dos substratos dos telhados verdes para avaliar o seu papel sobre a qualidade das águas drenadas dos TV1 e TV2.

Para a determinação das análises físicas de granulometria coletou-se duas amostras de 200g do substrato de cada telhado verde. Os ensaios analíticos foram realizados em duplicatas no Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), de acordo metodologias apresentadas em Tedesco et al. (1995). A partir dos resultados dessas análises, realizou-se a classificação textural dos substratos da coberturas verdes, conforme recomendações da EMBRAPA (1999).

De modo similar, duas amostras de 200 g foram coletadas para a realização da caracterização química dos substratos dos solos dos TV1 e TV2. Os parâmetros químicos foram determinados em duplicatas no Laboratório de Análises de Solos da UFSM, conforme procedimento analítico descrito em Tedesco et al. (1995).

Para a determinação dos teores de nitrogênio total e carbono orgânico foram coletadas quatro diferentes amostras de 50 g. As análises destes elementos foram realizadas por combustão seca em um Autoanalisador Elementar modelo Flash EA 1112 no Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

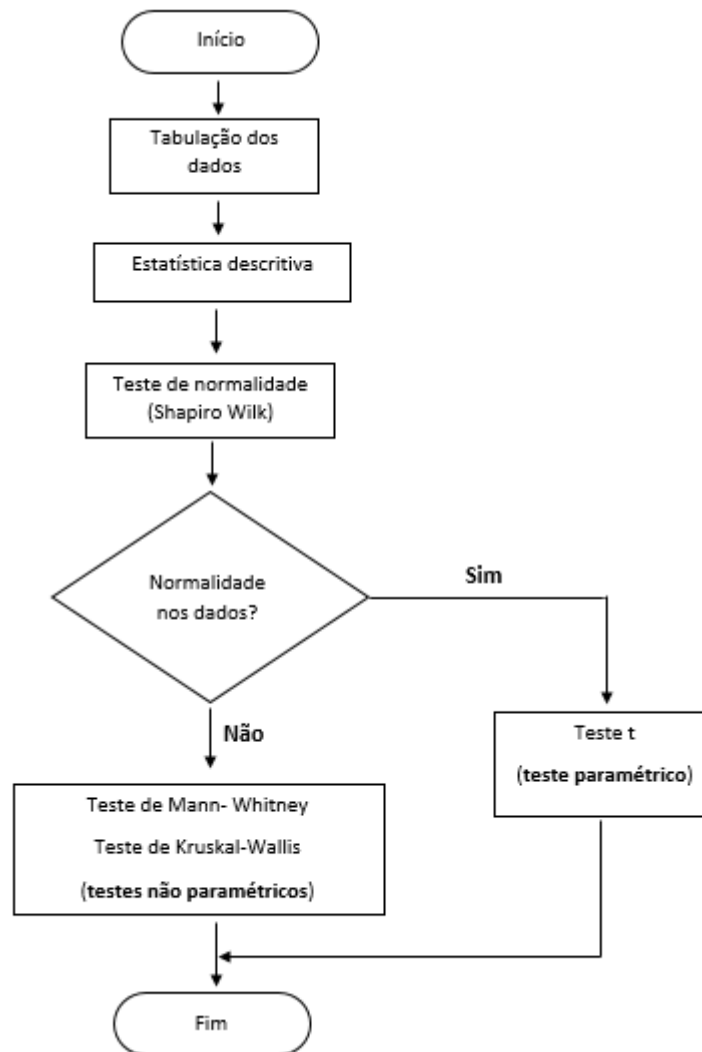
Os resultados das análises de qualidade da água foram tabulados em planilha eletrônica determinando-se inicialmente as suas estatísticas descritivas (valores mínimo e máximo, média, mediana, desvio-padrão). O teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi empregado para verificar se o conjunto de dados dos parâmetros de qualidade da água apresentavam distribuição normal.

Para os dados dos parâmetros distribuídos normalmente, empregou-se o Teste t (teste paramétrico) a fim de investigar eventuais diferenças significativas entre a qualidade da água de chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas do TV1, TV2 e TC. No caso dos demais parâmetros, cujos dados não atenderam os pressupostos da normalidade, foram empregados os testes não paramétricos de Mann-Whitney e o Kruskal-Wallis. O primeiro teste não paramétrico é utilizado para verificar diferença entre grupos independentes com dois tratamentos enquanto o último é aplicável a grupos independentes com múltiplos tratamentos (TEEMUSK; MANDER, 2011; ZHANG et al., 2015).

Na Figura 16 está representada em forma de fluxograma a análise estatística empregada neste trabalho. Todos os testes estatísticos (Shapiro-Wilk, Test t, Teste Mann-Whitney e Kruskal-Wallis) foram realizados com um nível de significância de 5% de probabilidade e os seus resultados são apresentados no Apêndice A.

Destaca-se que, para alguns parâmetros de qualidade da água, os resultados das análises qualitativas apresentaram valores inferiores ao limite de detecção do aparelho. Dessa forma, não é possível afirmar o valor exato do parâmetro analisado na amostra de água. Nestes casos, optou-se por não realizar testes estatísticos. Aplica-se a esse caso, por exemplo, os resultados das análises de fosfato nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera, cujo valor foi inferior ao limite de detecção do aparelho (0,1 mg/L). Em contraste, os resultados das análises de coliformes totais, a partir da sétima coleta, excederam o limite de detecção do método (2,4E3 NMP/100 mL), visto que as amostras estavam bastante concentradas e não foram diluídas. Assim, a análise estatística também não foi realizada para esse parâmetro.

Figura 16 – Fluxograma da análise estatística



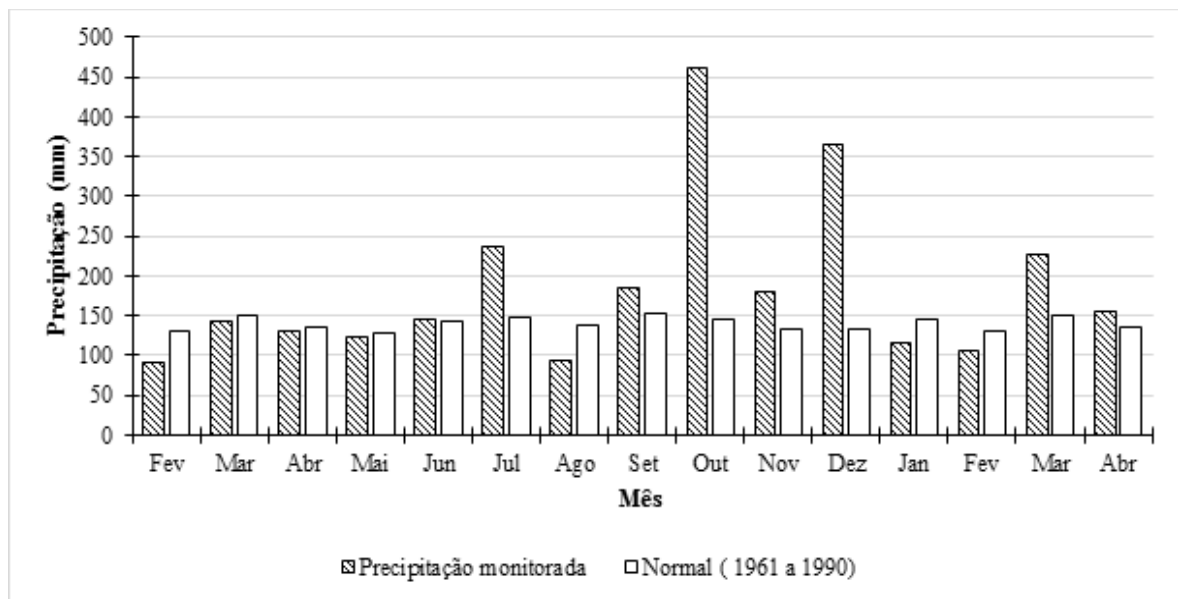
Fonte: Elaborado pelo autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MONITORADOS

Na Figura 17 estão apresentados os volumes de chuva mensais registrados pelo INMET no período de fevereiro de 2015 a abril de 2016 comparativamente às normais (1961 a 1990) mensuradas para o mesmo período mensal, em Santa Maria-RS. Nota-se um comportamento atípico da pluviometria na região, com volumes de chuva acima da normal (1961 a 1990), especialmente nos meses de julho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2015. Essa variação no padrão de chuva deu-se devido a ocorrência do fenômeno climático El Niño (INMET, 2016b).

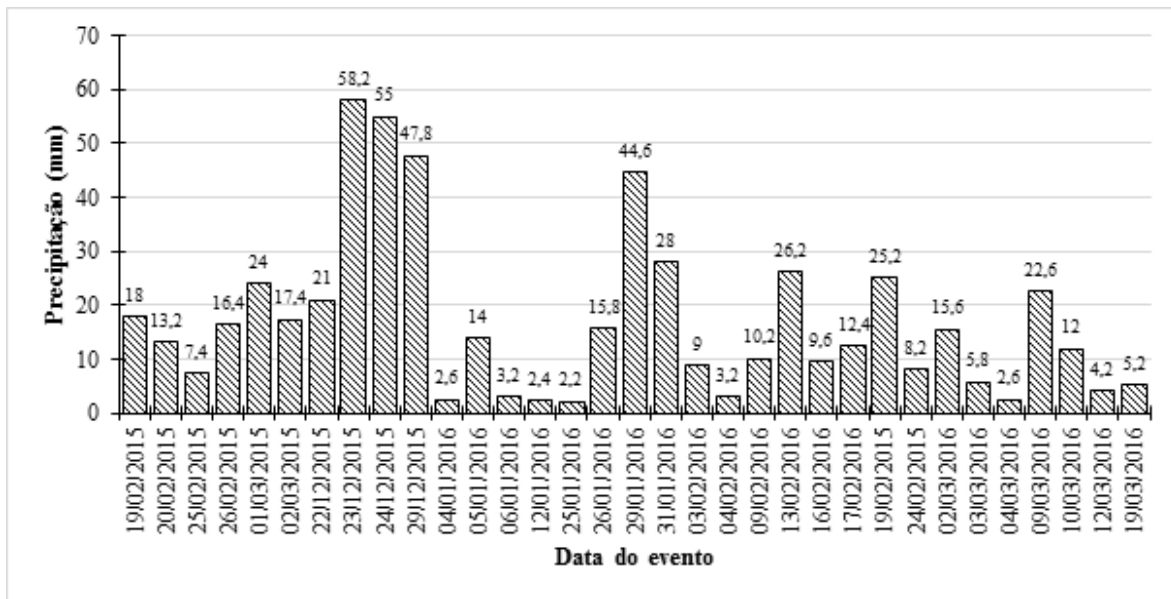
Figura 17 – Comparativo entre as precipitações mensais totais monitoradas (fevereiro/2015 a abril/2016) e as precipitações mensais totais normais (1961 a 1990), em Santa Maria-RS



Fonte: Elaborado pelo autor.

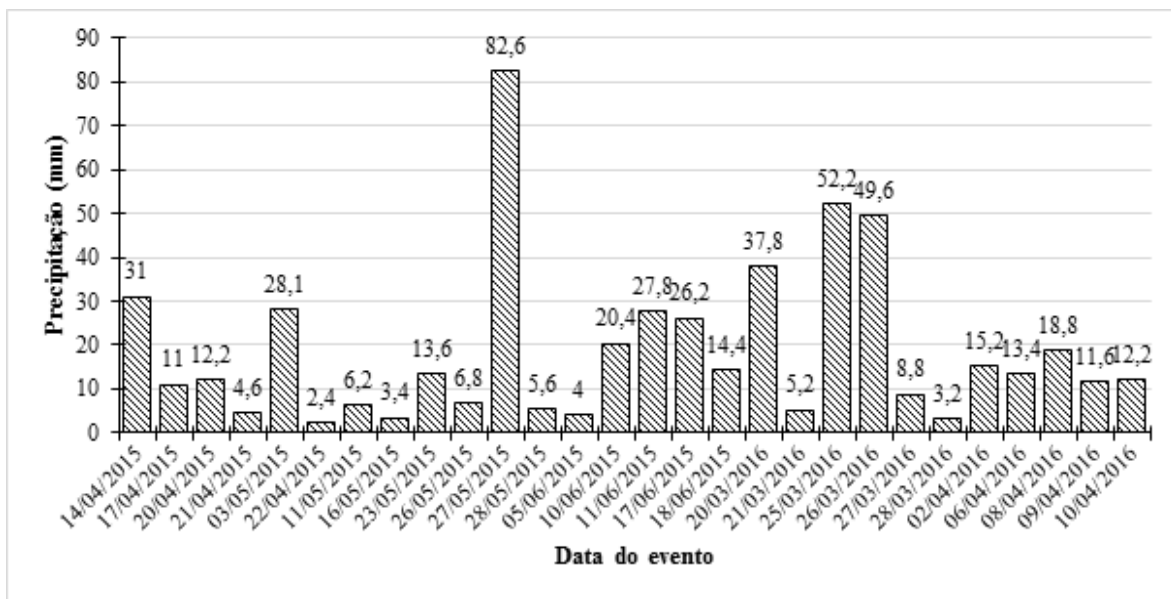
Nas Figuras 18 a 21 estão ilustrados os volumes de chuva verificados em cada evento de chuva separados por estações do ano. Observa-se que maiores volumes de chuva foram observados na primavera sendo o volume mais significativo de precipitação - 151,8 mm - em 24 horas, no dia 08/10/2015.

Figura 18 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante o verão



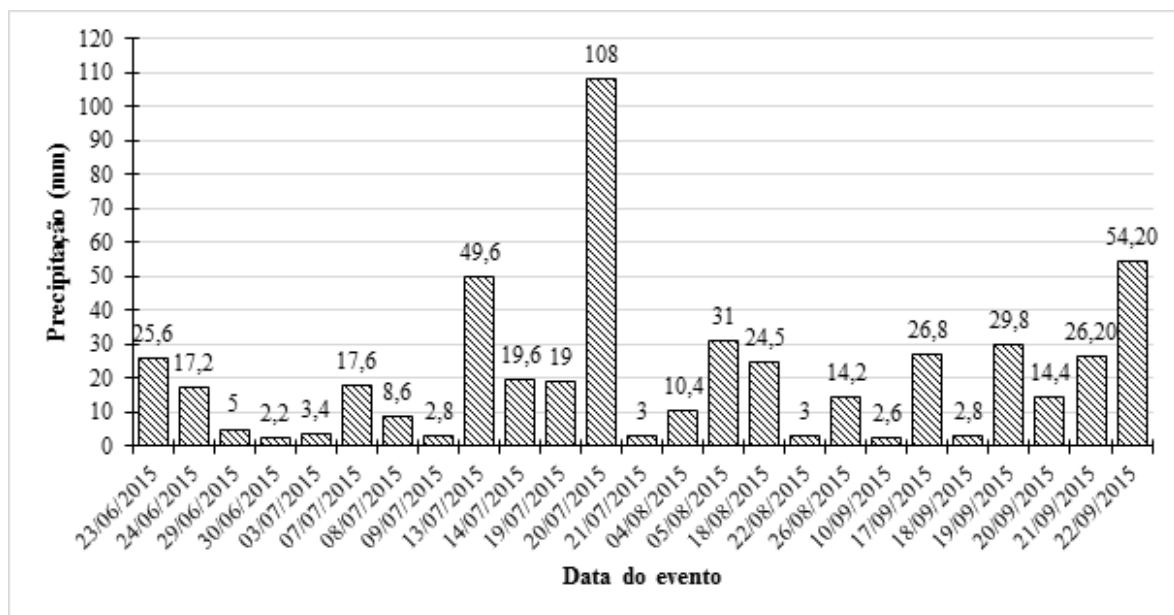
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante o outono



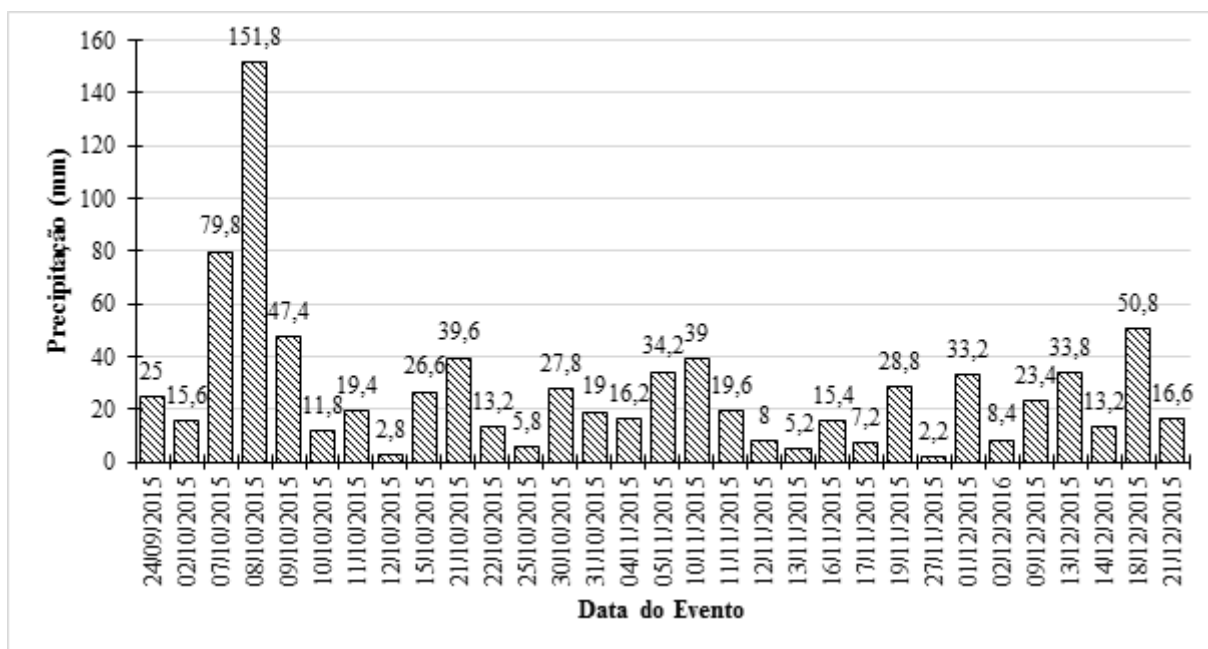
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante o inverno



Fonte: Elaborado pelo autor.

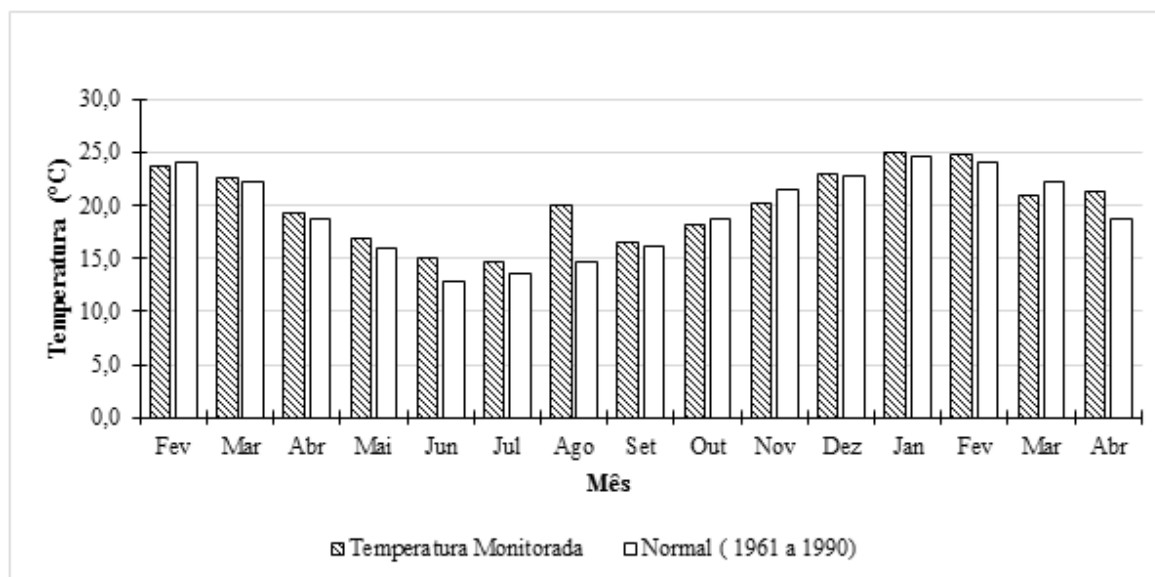
Figura 21 – Precipitação diária (≥ 2 mm), acumulada em 24 horas, observada durante a primavera



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando analisado o comportamento das temperaturas mensais no período monitorado, se observa que foi, em geral, muito semelhante às normais climatológicas (1961 a 1990) (Figura 22).

Figura 22 – Comparativo entre as temperaturas médias mensais monitoradas (fevereiro/2015 a abril/2016) e as temperaturas médias mensais normais (1961 a 1990), em Santa Maria-RS



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICA E QUÍMICA DOS SUBSTRATO DOS TELHADOS VERDES

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises de granulometria dos substratos dos telhados verdes. Os valores correspondem à média de duas amostras dos substratos coletadas para fins de sua caracterização física.

Tabela 3 – Composição granulométrica (%) dos substratos empregados nos telhados verdes extensivos

Substrato	Areia grossa (2 – 0,2 mm)	Areia fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (< 0,002 mm)
TV1	33	18	22	27
TV2	44	6	31	19

Com base nos resultados dispostos na Tabela 3 e seguindo a metodologia preconizada por EMBRAPA (1999), a textura do substrato do TV1 foi classificada como Franco-argilo arenosa (20 a 30% de argila, menos 28% de silte e 45% ou mais de areia).

O substrato do TV2, por sua vez, apresentou características que o insere na classe textural denominada Franca (7 a 27% de argila, de 28 a 50% de silte e menos de 52% de areia). Em termos de granulometria, o teor mais elevado de argila no substrato do TV1 pode lhe conferir uma maior capacidade de retenção de água em comparação ao substrato do TV2, que contém maiores teores de areia grossa.

Na literatura não foram encontradas publicações que pudessem nortear a interpretação quanto à magnitude dos valores dos elementos e compostos químicos presentes nos substratos dos telhados verdes apesar de que suas características podem, em geral, influenciar diretamente nos aspectos quali-quantitativos das águas escoadas a partir das coberturas verdes, conforme será discutido na sequência. Os resultados das análises químicas foram comparados e interpretados segundo o estabelecido pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina – CQFS RS/SC (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados das análises químicas dos substratos do telhados verdes e sua interpretação, de acordo com a CFQS RS/SC (2004)

Parâmetro	Unidade	Valores		SUBSTRATO	
		TV1	TV2	TV1	TV2
Interpretação					
pH	-	6,5	6,5	Alto	Alto
MO	%	4,1	10,4	Médio	Alto
P	mg/dm ³	189,0	161,0	Muito alto	Muito alto
S	mg/dm ³	10,4	11,6	Alto	Alto
K	mg/dm ³	122	180	Alto	Alto
Zn	mg/dm ³	24,1	15,2	Alto	Alto
Cu	mg/dm ³	2,4	0,4	Alto	Médio
Fe	mg/dm ³	3829,1	2423,5	*	*
N	g/Kg	2,7	6,1	Sem referência	Sem referência
COT	g/Kg	34,9	136	Sem referência	Sem referência
Ca	Cmol _c .dm ³	11,8	25,3	Alto	Alto
Mg	Cmol _c .dm ³	2,6	4,4	Alto	Alto

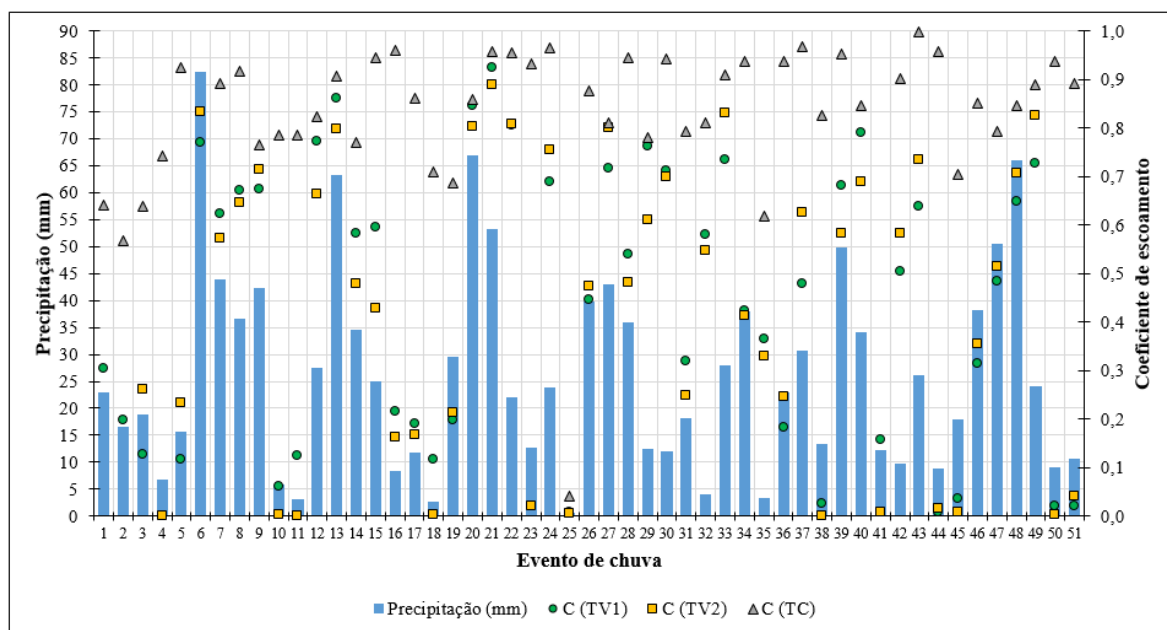
pH em água; MO: matéria orgânica; P: Fósforo (Extraído pelo método Mehlich-1); S: Enxofre; K: Potássio; Zn: Zinco; Cu: Cobre; Fe: Ferro; N: Nitrogênio; COT: Carbono Orgânico Total; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio. *Abaixo do considerado “alto” (5 mg/dm³).

5.3 AVALIAÇÃO DO CONTROLE QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL

A avaliação do controle quantitativo do escoamento pluvial nos telhados verdes e telhado de fibrocimento (telhado controle) foi realizada a partir da determinação e análise do coeficiente de escoamento (C), e da parcela de água armazenada em ambos os tipos de coberturas. Para essa análise foram considerados 51 (cinquenta e um) eventos de chuva ocorridos no período de 26/02/2015 a 07/04/2016.

Conforme ilustrado na Figura 23, tanto o TV1 quanto o TV2 demonstraram um grande potencial na redução do escoamento pluvial comparativamente ao telhado controle TC, visto que em todas as ocorrências de precipitação seus coeficientes de escoamento (C), em geral, foram muito inferiores aos do TC.

Figura 23 – Avaliação do controle quantitativo do escoamento superficial no telhado verde e do telhado convencional



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas duas coberturas verdes, observou-se valor médio do coeficiente C igual a 0,43. Em contraste com o telhado controle, em certos eventos de chuva (4, 10, 11, 18, 38 e 50) o TV1 e/ou o TV2 foram capazes de reter todo o volume de chuva incidida em suas respectivas áreas de captação (C=0). Esses eventos foram caracterizados principalmente por apresentar baixos volume de chuva e/ou baixa umidade antecedente do solo (Tabela 5).

O valor médio do coeficiente C no TC foi da ordem de 0,83, notadamente mais acentuado do que os do TV1 e TV2. Portanto, os telhados verdes foram significativamente mais eficientes no controle do escoamento pluvial do que o TC, de forma similar aos resultados já apresentados por Tassi et al. (2014) para o TV1 e TC (coeficiente C médio variando de 0,38 a 0,87, respectivamente). Estes dados confirmam que os telhados verdes representam uma alternativa eficiente e sustentável para a gestão das águas pluviais.

Conforme metodologia descrita no tópico 4.4, a umidade antecedente do solo (UAS) em cada um dos 51 eventos de precipitação foi mensurada e, de acordo com o SCS (1971), classificada em três categorias de acordo com o volume de chuva ocorrido nos cinco dias que antecedem o evento de chuva monitorado (P5): UAS=I para $P5 \leq 13$ mm; UAS=II para $13 \text{ mm} < P5 \leq 28$ mm; e UAS=III para $P5 > 28$ mm.

Em consonância com Tassi et al. (2015) e Poë et al. (2015), os resultados desta pesquisa (Tabela 5) apontaram que o desempenho dos telhados verdes no controle do escoamento pluvial foi influenciado pela UAS. Por exemplo, embora com volume de chuva praticamente idênticos, os eventos 17 e 30, em função de suas distintas UAS, apresentaram valores do coeficiente C bastante discrepantes entre si no TV1 e TV2. Comportamento análogo foi notado na comparação entre os eventos 30 e 38 (vide Tabela 5).

Por outro lado, apesar de pertencer à mesma categoria de UAS e apresentar volume de chuva muito próximos, os eventos 1 e 22, assim como o 30 e 41, resultaram em valores de C claramente distintos nos telhados verdes (Tabela 5). Esse resultado pode ser explicado pelas diferentes condições climáticas (temperatura, em especial) observadas em cada um dos eventos, as quais teriam conduzido a distintas taxas de evapotranspiração. Altas taxas de evapotranspiração fazem com que o solo recupere a capacidade de armazenamento de água, aumentando a capacidade de retenção de água durante eventos subsequentes.

Tabela 5 – Características dos eventos de chuvas, UAS e suas relações com o escoamento pluvial nos telhados verdes

Evento	Data	Precipitação (mm)	P5 dias (mm)	UAS	C			Escoamento superficial (L/m ²)			Estação do ano
					TV1	TV2	TC	TV1	TV2	TC	
1	26/02/2015	22,90	31,2	III	0,30	-	0,64	6,98	*	14,67	Verão
2	02/03/2015	16,60	24	II	0,20	-	0,57	3,29	*	9,44	Verão
3	15/04/2015	18,80	0,6	I	0,13	0,26	0,64	2,38	4,89	11,98	Outono
4	11/05/2015	6,90	0,4	I	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	5,12	Outono
5	25/05/2015	15,60	0,8	I	0,12	0,23	0,93	1,81	3,63	14,43	Outono
6	28/05/2015	82,40	15,2	II	0,77	0,83	**	63,45	68,72	**	Outono
7	11/06/2015	44,00	4	I	0,62	0,57	0,89	27,40	25,24	39,27	Outono
8	18/06/2015	36,70	0,6	I	0,67	0,65	0,92	24,63	23,73	33,62	Outono
9	25/06/2015	42,30	25,2	II	0,67	0,71	0,76	28,55	30,22	32,36	Inverno
10	30/06/2015	5,80	14,4	II	0,06	0,00	0,78	0,35	0,01	4,55	Inverno
11	04/07/2015	3,10	7,6	I	0,12	0,00	0,78	0,38	0,00	2,43	Inverno
12	10/07/2015	27,40	6,2	I	0,77	0,66	0,82	21,14	18,19	22,56	Inverno
13	15/07/2015	63,30	29,6	III	0,86	0,80	0,91	54,55	50,47	57,45	Inverno
14	17/08/2015	34,60	0	I	0,58	0,48	0,77	20,16	16,59	26,61	Inverno
15	19/08/2015	24,90	27,6	II	0,59	0,43	0,95	14,80	10,67	23,54	Inverno
16	23/08/2015	8,40	28,8	III	0,22	0,16	0,96	1,81	1,37	8,06	Inverno
17	27/08/2015	11,90	9	I	0,19	0,17	0,86	2,26	2,00	10,24	Inverno
18	11/09/2015	2,80	0,4	I	0,12	0,00	0,71	0,33	0,01	1,99	Inverno
19	18/09/2015	29,50	0	I	0,20	0,21	0,69	5,82	6,29	20,26	Inverno
20	21/09/2015	67,00	26,8	II	0,85	0,80	0,86	56,65	53,77	57,45	Inverno
21	22/09/2015	53,20	100	III	0,92	0,89	0,96	49,16	47,34	50,91	Inverno
22	24/09/2015	22,00	127,4	III	0,80	0,81	0,95	17,70	17,78	20,99	Primavera
23	03/10/2015	12,60	0,2	I	0,02	0,02	0,93	0,27	0,25	11,75	Primavera
24	15/10/2015	23,90	81,6	III	0,69	0,76	0,96	16,49	18,05	23,05	Primavera
25	17/10/2015	0,60	29,6	III	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,03	Primavera
26	31/10/2015	39,70	6,4	I	0,45	0,47	0,88	17,70	18,86	34,77	Primavera

Tabela 5 – Características dos eventos de chuvas, UAS e suas relações com o escoamento pluvial nos telhados verdes

(conclusão)

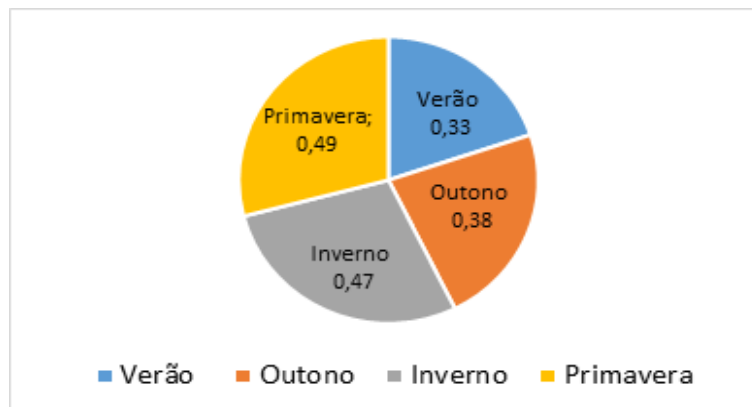
Evento	Data	Precipitação (mm)	P5 (mm)	UAS	C			Escoamento superficial (L/m ²)			Estação do ano
					TV1	TV2	TC	TV1	TV2	TC	
27	05/11/2015	43,10	46,8	III	0,72	0,80	0,81	30,85	34,45	34,89	Primavera
28	10/11/2015	35,90	50,4	III	0,54	0,48	0,94	19,42	17,25	33,88	Primavera
29	11/11/2015	12,40	39	III	0,76	0,61	0,78	9,44	7,57	9,67	Primavera
30	14/11/2015	12,10	58,6	III	0,71	0,70	0,94	8,62	8,47	11,40	Primavera
31	17/11/2015	18,20	32,8	III	0,32	0,25	0,79	5,82	4,51	14,43	Primavera
32	18/11/2015	4,10	23,3	II	0,58	0,55	0,81	2,38	2,25	3,32	Primavera
33	20/11/2015	27,90	22,6	II	0,74	0,83	0,91	20,53	23,18	25,37	Primavera
34	02/12/2015	37,90	33,4	III	0,42	0,41	0,94	16,00	15,66	35,53	Primavera
35	03/12/2015	3,40	38,6	III	0,37	0,33	0,62	1,24	1,12	2,10	Primavera
36	10/12/2015	22,90	0	I	0,18	0,25	0,94	4,21	5,66	21,47	Primavera
37	14/12/2015	30,60	23,4	II	0,48	0,62	0,97	14,68	19,12	29,59	Primavera
38	27/01/2015	13,40	0	I	0,03	0,00	0,82	0,36	0,00	11,05	Verão
39	30/01/2016	49,90	18,2	II	0,68	0,58	0,95	33,95	29,11	47,55	Verão
40	31/01/2016	34,20	60,8	III	0,79	0,69	0,85	27,02	23,59	28,97	Verão
41	04/02/2016	12,20	74,4	III	0,16	0,01	1,00	1,92	0,11	14,08	Verão
42	18/02/2016	9,70	36	III	0,50	0,58	0,90	4,90	5,66	8,75	Verão
43	20/02/2016	26,20	22,2	II	0,64	0,74	***	16,73	19,26	26,11	Verão
44	25/02/2016	8,90	26,2	II	0,01	0,02	0,96	0,07	0,14	8,52	Verão
45	04/03/2016	18,00	1,2	I	0,04	0,01	0,70	0,64	0,14	12,68	Verão
46	12/03/2015	38,20	24,2	II	0,32	0,35	0,85	12,04	13,55	32,48	Verão
47	21/03/2016	50,50	0,2	I	0,49	0,51	0,79	24,50	25,92	40,05	Outono
48	26/03/2016	65,90	5,4	I	0,65	0,71	0,85	42,66	46,61	55,80	Outono
49	28/03/2016	24	55,8	III	0,73	0,82	0,89	17,46	19,80	21,35	Outono
50	03/04/2016	9,1	4,0	I	0,02	0,00	0,94	0,18	0,03	8,52	Outono
51	07/04/2016	10,6	17,4	II	0,02	0,04	0,89	0,25	0,46	9,44	Outono
MÉDIA					0,43	0,43	0,83	14,78	15,14	21,69	

*Não monitorado. ** Extravasamento de água no reservatório. *** Erro no monitoramento. Eventos em negrito foram realizadas análises de qualidade da água.

Tendo em vista que as condições climáticas e de umidade do solo podem variar entre as estações do ano, foi realizada uma análise para avaliar os prováveis efeitos da sazonalidade no escoamento pluvial nas coberturas verdes. Para tanto, os valores de C foram agrupados por estação do ano.

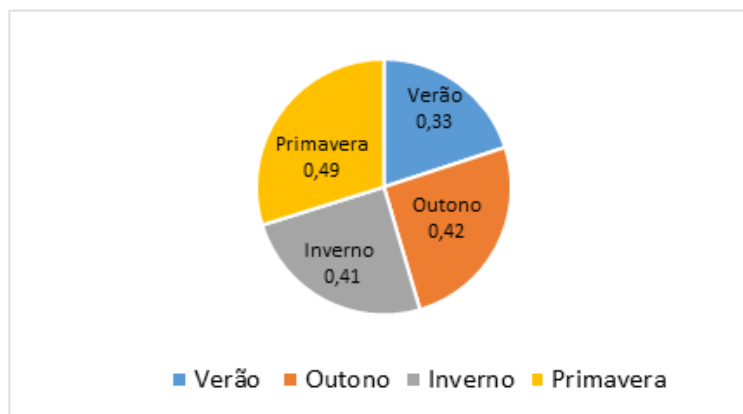
Como exposto nas Figuras 24 e 25, no verão, em função de suas temperaturas tipicamente mais elevadas e, portanto maiores taxas de evapotranspiração, foi constatada a menor conversão de água de chuva em escoamento nos telhados verdes, embora o volume precipitado nessa época do ano tenha sido semelhante ou superior às das demais estações (Figuras 18 a 21). O oposto foi verificado na primavera, estação do ano em que registrou-se o maior volume de chuva e temperaturas brandas. Valores intermediários de C foram observados no inverno e outono.

Figura 24 – Coeficiente de escoamento superficial médio observados nas quatro estações do ano no TV1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Coeficiente de escoamento superficial médio observados nas quatro estações do ano no TV2



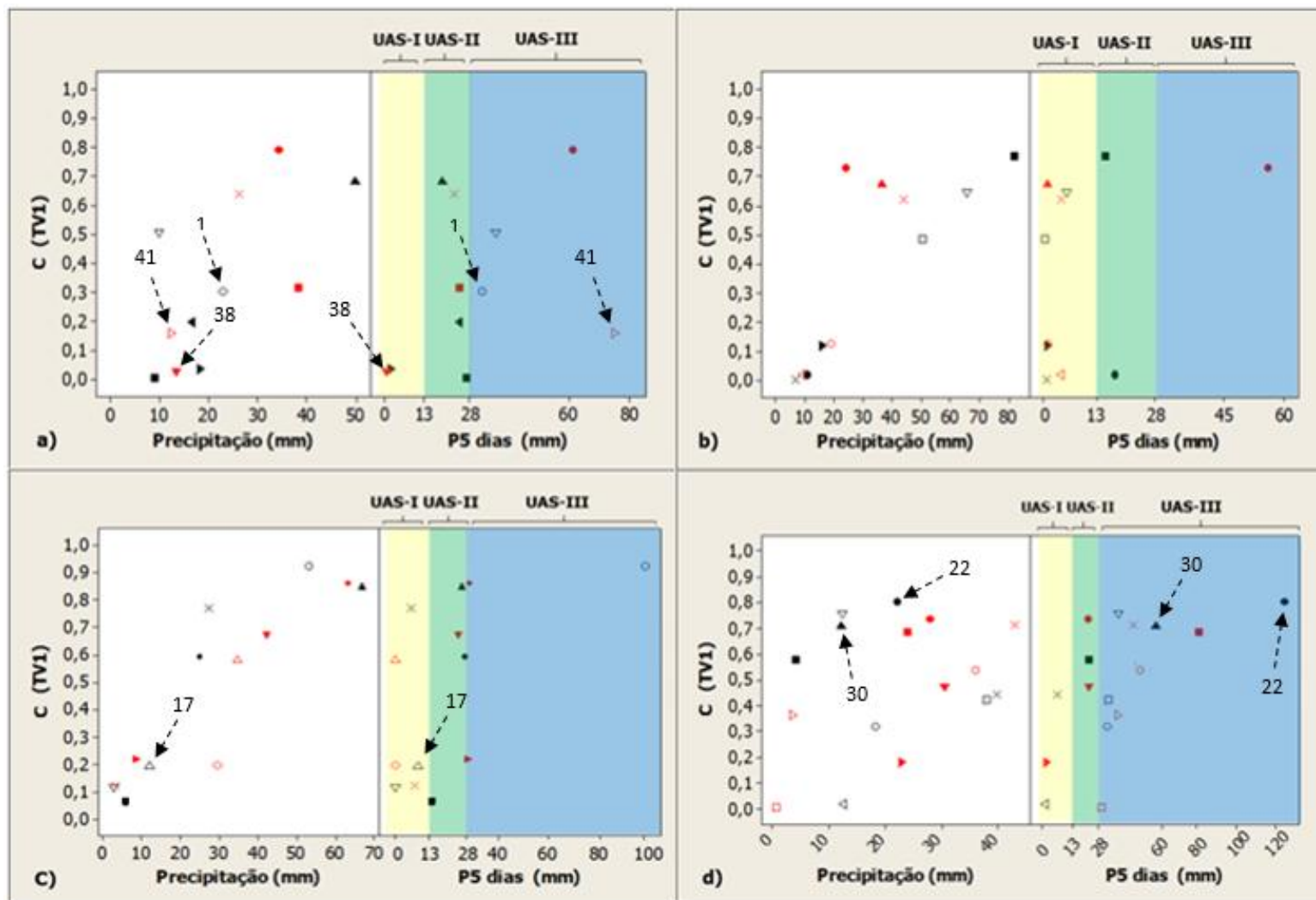
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados relacionados ao escoamento pluvial nos telhados verdes, os dados de todos os eventos, após serem organizados por estação do ano, foram plotados em gráficos *matrix plot*. O *matrix plot* permite avaliar simultaneamente a relação entre duas ou mais variáveis, sendo aqui utilizado para analisar a variação do coeficiente de escoamento em função da precipitação e P5 dias (UAS).

Na Figura 26 estão ilustrados gráficos tipo *matrix plot* dos dados do TV1, por estação do ano. No eixo das ordenadas de cada um desses quatro *matrix plot* está representado o valor do coeficiente C. O eixo das abscissas é dividido em duas partes. No lado esquerdo está expresso a precipitação (mm) enquanto no lado direito tem-se o P5 dias (mm) - UAS. Cada símbolo no gráfico representa um evento de chuva, sendo que o mesmo se repete em ambos os lados do *matrix plot*, o que permite avaliar simultaneamente a relação do coeficiente C em função da precipitação e do P5 (UAS). Na Figura 27 constam os *matrix plot* elaborados a partir dos dados do TV2.

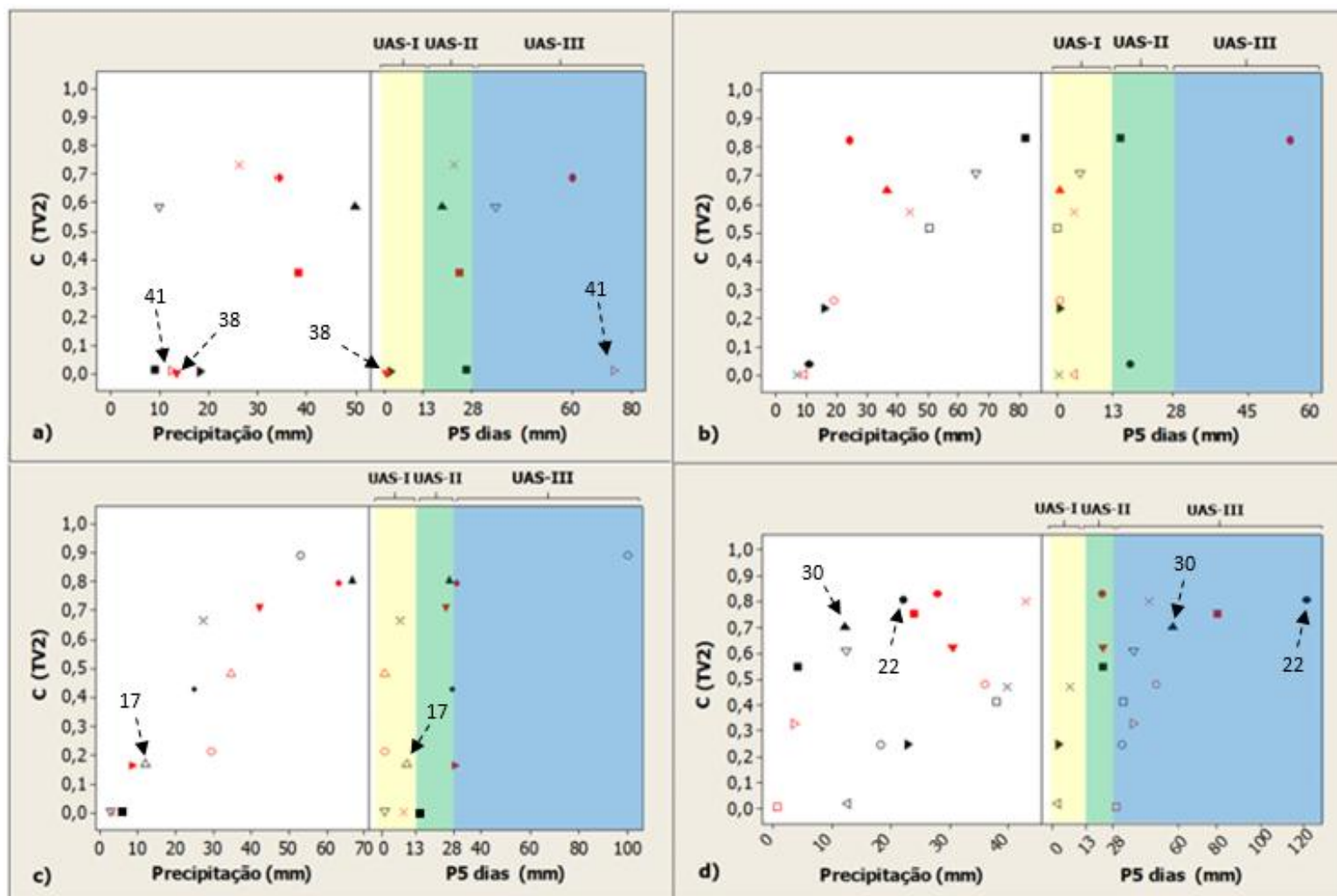
Nas Figuras 26 e 27, os eventos 1, 17, 22, 30, 38 e 41 foram indicados por uma seta para fins de facilitar a visualização do efeito da UAS e da sazonalidade sobre a eficiência dos telhados verdes na redução na redução do escoamento pluvial. Em ambas as figuras, o primeiro efeito, da UAS, pode ser visualizado comparando-se os eventos 17 e 30 bem como o 30 e o 38. Esses pares de eventos, embora com volume de chuva muito semelhante, em função de suas distintas UAS, apresentaram valores de C bastante discrepantes entre si no TV1 e TV2. O efeito da sazonalidade, por sua vez, pode ser observado na comparação entre os eventos (1 e 22) e (30 e 41). Apesar de pertencerem à mesma categoria de UAS, e apresentarem volumes de chuva muito próximos, esses pares de eventos resultaram em valores do coeficiente C notadamente distintos nos telhados verdes devido às diferentes condições climáticas das estações do ano, as quais conduziram a distintas taxas de evapotranspiração.

Figura 26 – *Matrix plot* coeficiente de escoamento (C) vs precipitação (mm) e P5 dias (mm) do TV1 no a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera, com a indicação dos eventos 1, 17, 22, 30, 38 e 41



Fonte: Elaborado pelo autor.

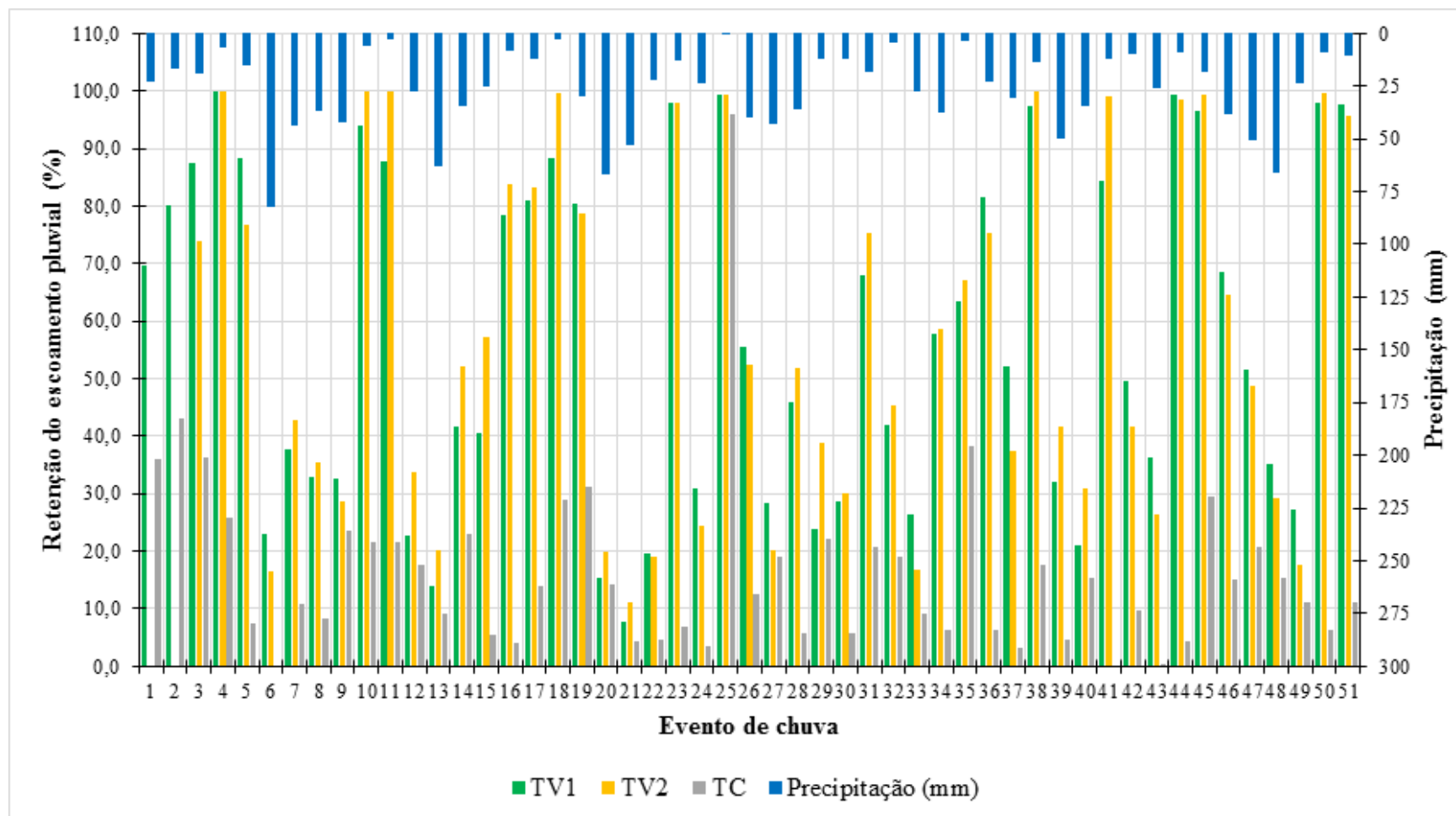
Figura 27 – *Matrix plot* coeficiente de escoamento (C) vs precipitação (mm) e P5 dias (mm) do TV2 no a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera, com a indicação dos eventos 1, 17, 22, 30, 38 e 41



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que concerne à capacidade de armazenamento de águas pluviais nas coberturas verdes, para o TV1 e TV2 verificaram-se uma relação média de 11,42 e 11,33 mm/m², o que resultaria em um volume retido de cerca de 77,06 e 63,32 litros, respectivamente. De forma análoga, os escoamentos médios por metro quadrado, são respectivamente de 14,78 L/m² no TV1 e 15,14 L/m² no TV2 (Tabela 5). Esses resultados são semelhantes aos reportados por Tassi et al. (2014). O maior teor de areia grossa e menor teor de argila no substrato do TV2 comparativamente ao do TV1 (Tabela 3) pode ter contribuído para a melhor capacidade retenção de água nesse último telhado em relação ao primeiro. Na Figura 28 está apresentado o percentual de água pluvial retida nas coberturas verdes e telhado controle em cada evento de chuva.

Figura 28 – Retenção do escoamento nos telhados verdes e telhado controle nos eventos de chuva monitorados



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

5.4.1 Eventos de chuva monitorados

Na avaliação da qualidade da água foram monitorados 20 (vinte) eventos de chuva ocorridos no período de 15/04/2015 a 07/04/2016, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características dos eventos de chuva analisados monitorados para a avaliação da qualidade da água

Evento	Data	Precipitação (mm)	Intensidade Média (mm/h)	Intensidade Máxima (mm/h)	Prec. Anterior (mm)	Nº de dias Secos Antecedentes
1	15/04/2015	18,8	2,1	17,1	63,2	8
2	03/05/2015	27,2	**	***	10,8	4
3*	25/05/2015	15,6	0,5	9,4	16	2
4	11/06/2015	44	1,7	6,9	4,0	4
5	27/08/2015	11,9	1,0	2,2	8,4	4
6	18/09/2015	29,5	1,4	5,6	4,2	5
7	22/09/2015	53,2	5,3	12,6	40,6	1
8	08/10/2015	228,6	6,5	45,2	15,6	4
9	15/10/2015	23,9	1,6	9,2	33	2
10	31/10/2015	39,7	2,2	14,2	5,8	4
11	05/11/2015	43,1	1,0	10,1	46,8	3
12	10/11/2015	35,9	4,5	13,6	43,1	4
13	17/11/2015	18,2	1,4	6,1	13,2	2
14	02/12/2015	37,9	1,6	26,9	28,8	11
15	10/12/2015	22,9	2,9	9,0	37,9	5
16	30/01/2016	49,9	5,0	25,2	15,8	3
17	04/02/2016	12,20	0,6	3,6	29,6	2
18	18/02/2016	9,7	2,5	5,6	9,6	1
19	21/03/2016	50,50	0,9	24,3	4,8	5
20	07/04/2016	10,60	0,6	4,5	2,0	3

*Início da coleta e da análise de águas de chuva obtidas diretamente da atmosfera. **Não foi possível determinar, devido a falhas no monitoramento.

Para todos os eventos chuvosos selecionados foi realizada a avaliação da qualidade das águas pluviais escoadas a partir das superfícies verdes e de fibrocimento. A coleta e as análises da água de chuva captadas diretamente da atmosfera, por sua vez, iniciou-se somente após o segundo evento de precipitação, resultando em 18 amostragens destas.

Os parâmetros cor aparente, pH, turbidez, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais e condutividade elétrica foram determinados em todas as coletas. Os demais

parâmetros foram analisados em eventos considerados mais representativos. No âmbito deste estudo, considerou-se representativo o evento precedido por um razoável período seco e/ou com volume de chuva suficiente para a execução das análises.

5.4.2 Parâmetros químicos de qualidade da água

5.4.2.1 Fosfato

Na Tabela 7 estão apresentados os valores de fosfato nas amostras de águas analisadas. Observa-se que ambos os telhados verdes atuaram como fonte deste parâmetro, visto que houve um substancial incremento de fosfato nas águas pluviais após sua passagem pelos TV1 e TV2. Esse comportamento indica que o fósforo presente no substrato das coberturas verdes está sendo lixiviado durante as ocorrências de precipitações. Entre os telhados verdes, os níveis mais significativos de fosfato foram verificados nas águas escoadas a partir do TV1 comparativamente ao TV2, o que pode ser justificado pelo maior conteúdo de fósforo no substrato do primeiro telhado (Tabela 4). Portanto, a composição do solo das coberturas verdes mostrou-se ser um fator importante na dinâmica do fosfato nas águas coletadas dos telhados verdes, conforme indicado por Berdntsson (2009), Gregoire e Clausen (2011) e Razzaghmanesh et al. 2014.

Tabela 7 – Valores de fosfato nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Fosfato (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
25/05/2015	6,00	1,22	<0,1*	<0,1*
11/06/2015	7,13	1,09	<0,1*	<0,1*
18/09/2015	6,62	1,53	0,82	<0,1*
22/09/2015	6,15	1,09	<0,1*	<0,1*
08/10/2015	4,69	0,96	<0,1*	<0,1*
05/11/2015	5,12	0,72	0,20	<0,1*
02/12/2015	6,27	1,03	0,21	<0,1*
30/01/2016	4,83	1,59	<0,1*	<0,1*
Média	5,85	1,15	-	-
Mediana	6,08	1,09	-	-

*Limite de detecção do equipamento.

As concentrações de fósforo nas águas do TV1 (Tabela 7) foram semelhantes às verificadas por Aitkenhead-Peterson et al. (2011), que encontraram concentração de fosfato da ordem de 3,5 mg/L em águas escoadas a partir de telhados verdes instalados no Texas, Estados Unidos; porém, as concentrações do TV1 foram mais elevadas que aquelas observadas no TV2 (Tabela 7). Em Ohio, Estados Unidos, Buffam et al. (2016) analisaram a qualidade de águas escoadas em telhados verdes e reportaram valor médio de fosfato de 1,6 mg/L, semelhante ao constatado nas águas coletadas no TV2.

Em contraste com os telhados verdes, o telhado controle de fibrocimento (TC) não liberou altos teores de fósforo durante os eventos de chuva analisados. Deste modo, infere-se que o TC não atuou como uma fonte significativa de fosfato. Como observado neste trabalho, MacMillan (2004) também reportou maiores valores de fosfato nas águas escoadas das coberturas verdes comparativamente ao telhado controle. O autor atribuiu esse resultado, principalmente, ao substrato do telhado verde, o qual foi apontado como uma importante fonte de fósforo com potencial para liberar fosfato durante os eventos de chuva.

A partir das informações expostas acima, percebe-se que as características dos substratos dos telhados verdes, sobretudo no que se refere à sua composição química, exercem influência direta sobre os níveis de fósforo observados nas águas escoadas deste tipo de cobertura. Contudo, embora de forma menos proeminente, é provável que outros fatores, tais como o tempo de instalação dos telhados, período seco antecedente e manejos realizados no experimento, por exemplo, também possam ter influenciado na dinâmica do fosfato nas águas pluviais coletadas dos telhados verdes investigados nesta pesquisa.

Como descrito no item 4.2, o TV1 foi instalado no ano de 2013 e o TV2 no ano de 2010. Constata-se por meio da Tabela 7 que todas as amostras de águas coletadas do telhado verde construído em 2013 (TV1) apresentaram valores de fosfato mais elevados em comparação às águas do telhado verde instalado em 2010 (TV2). Portanto, os dados da Tabela 7 indicam que as coberturas verdes mais jovens tendem a liberar maiores níveis de fosfato do que coberturas verdes mais maduras, conforme assinalado por Buffam et al. (2016). Tal inferência também é reforçada por Moran et al. (2004), os quais sugerem que os poluentes das águas drenadas dos telhados verdes podem ser gradativamente reduzidos com o passar do tempo devido, por exemplo, sua retenção pelas espécies vegetais. Köhler e Schmidt (2003), citado por Ferreira e Moruzzi (2007), por sua vez, corroboram com essa hipótese ao relatarem um aumento da retenção de fosfato nas coberturas verdes de 26,1% em um ano para 79,9% no quarto ano.

Com relação ao manejo realizado no experimento, destaca-se que durante a execução deste trabalho observou-se uma crescente disseminação de espécies vegetais invasoras nas coberturas verdes, sobretudo no TV1, onde foi plantada a espécie *Sedum rupestre*. Com vista a preservar uma das principais vantagens dos telhados verdes, o seu benefício estético, realizou-se esporadicamente a retirada das plantas daninhas. Esse procedimento é esperado em uma situação real, por isso o mesmo foi realizado ao longo da pesquisa. No entanto, nos dias 12/02/2014 e 15/09/2015, em especial, a remoção das espécies vegetais alóctones ao sistema resultou no revolvimento e sensível perda do solo dos telhados verdes, especialmente no TV1. Nessas situações particulares foi realizada a aplicação de solos de jardinagens para repor a parcela de solo perdida juntamente com a retirada das plantas daninhas.

A aplicação dos solos de jardinagem também foi realizada no dia 26/02/2015 para o plantio de algumas mudas novas no TV1 e TV2. Possivelmente, tais intervenções tenham contribuído para elevar sensivelmente os níveis de fósforo nas coberturas verdes, visto que os solos de jardinagens podem conter teores de fósforo relativamente altos. Essa suspeita é corroborada ao notar que as maiores concentrações de fosfato nas águas dos telhados verdes, em geral, deram-se no período mais próximo às datas em que ocorreu a aplicação dos solos de jardinagem, ou seja, na fase inicial do experimento (Tabela 7). Por conseguinte, a hipótese anterior de que os níveis de fósforo das águas drenadas dos telhados verdes tendem a decrescer com o passar do tempo também é ratificada. A exceção para essa tendência foi a campanha do dia 02/12/2015, a qual foi precedida pelo maior intervalo sem chuva considerado para o estudo, o que sugere que o período seco antecedente pode ter influenciado na dinâmica do fosfato.

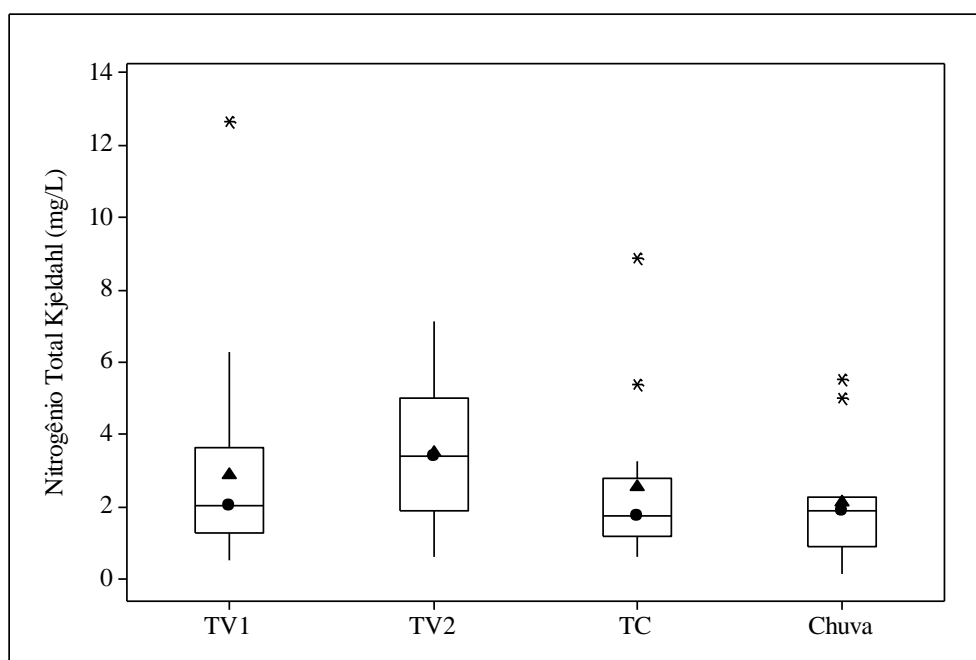
Por outro lado, como apresentado na Tabela 7, na campanha realizada no dia 08/10/2015, caracterizada pela maior altura pluviométrica registrado durante o experimento e maior volume de água direcionado para os reservatórios, foi notado o menor nível de fosfato na água amostrada do TV1 e o segundo menor valor deste parâmetro na amostra de água coletada no TV2. O significativo volume de água nos reservatórios pode ter promovido a diluição dos teores de fosfato, o que explicaria as baixas concentrações desse parâmetro nas águas coletadas dos telhados verdes e também do telhado controle no dia 08/10/2015.

5.4.2.2 Nitrogênio

Foram determinadas três formas distintas de nitrogênio no presente trabalho: nitrogênio total Kjeldahl (nitrogênio orgânico e amônia), nitrito e nitrato. Na Figura 29 está

apresentado o boxplot dos valores de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais amostradas do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 29 – Boxplot dos valores de nitrogênio total Kjeldahl observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística apontou que o escoamento da água da chuva pelos TV1, TV2 e TC não resultou no aumento significativo de NTK. Neste sentido, tais coberturas não demonstraram agir como fonte significativa de nitrogênio total Kjeldahl. Esses resultados são similares aos relatados por Gregoire e Clausen (2011) ao avaliarem a qualidade de águas pluviais escoadas a partir de um telhado verde extensivo com diferentes espécies de *sedum* e de um telhado controle (laje de cimento) em Storrs, nos Estados Unidos. Em contraste, Hathaway et al. (2008) reportaram que os valores de NTK nas águas coletadas nas coberturas verdes instaladas no estado americano da Carolina do Norte foram significativamente superiores aos da chuva e do telhado controle. Portanto, diferentemente do TV1 e TV2, os telhados verdes investigados naquele trabalho atuaram como fonte de NTK.

Os valores de nitrito verificados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de nitrito nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Nitrito (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
25/05/2015	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*
11/06/2015	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*
18/09/2015	0,11	0,12	<0,05*	0,11
22/09/2015	<0,05*	<0,05*	0,12	0,18
08/10/2015	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*
05/11/2015	<0,05*	<0,05*	<0,05*	<0,05*
02/12/2015	0,07	0,09	<0,05*	<0,05*
30/01/2016	2,22	<0,05*	<0,05*	<0,05*

*Limite de detecção do equipamento.

Em geral, observa-se que os teores de nitrito nas águas da chuva, nas águas coletadas do TV1, TV2 e TC foram bastante baixos e semelhantes entre si, sendo que muitos dos valores são inferiores ao limite de detecção do equipamento utilizado (0,05 mg/L) (Tabela 8). Dessa forma, infere-se que ambos os tipos de coberturas, a verde e a tradicional de fibrocimento, não atuaram como fonte significativa de nitrito.

Contudo, é importante destacar que a campanha realizada no dia 30/01/2016, no verão, é notadamente uma exceção à tendência verificada para o TV1 no que se refere aos níveis de nitrito nas águas coletadas neste telhado, uma vez que nesta data o valor de nitrito foi drasticamente elevado. Tal observação sugere que a dinâmica do nitrogênio nos telhados verdes pode ser significativamente variável em função da sazonalidade, conforme sustentado por Buffam et al. (2016). Após a apresentação dos dados de nitrato, a coleta do dia 30/01/2016 será discutida mais detalhadamente a fim de que a dinâmica do nitrogênio nas coberturas verdes investigadas neste trabalho seja melhor compreendida.

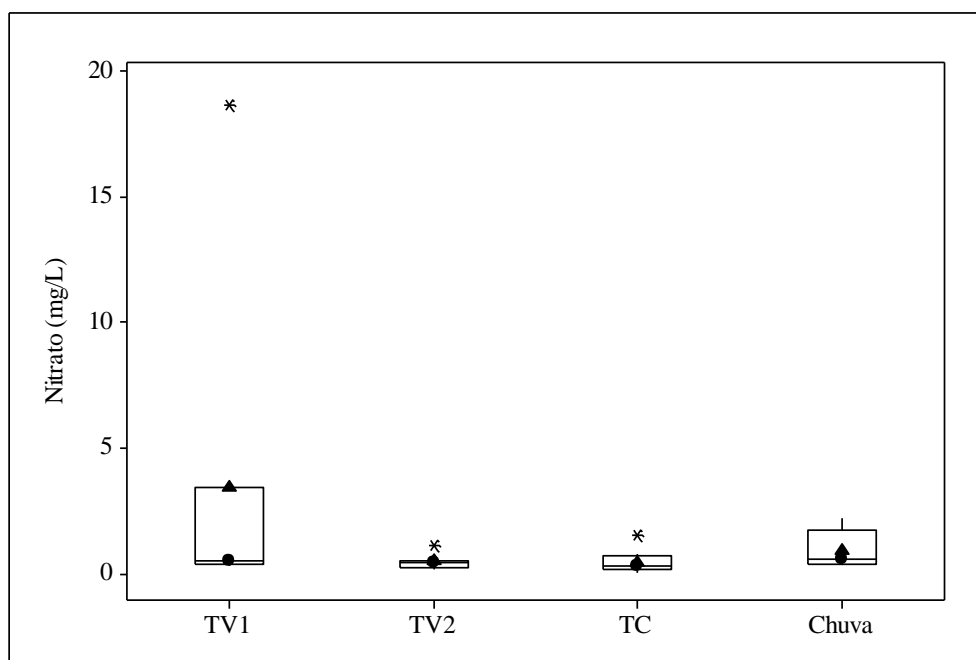
Assim como descrito no presente trabalho, Budel (2014) relatou que, em geral, os valores de nitrito nas água de chuva obtida diretamente da atmosfera foram ínfimos e semelhantes aos observados nas águas coletadas da cobertura verde e da cobertura convencional, instalados na cidade de Curitiba-PR, no sul do Brasil. Por outro lado, diferentemente do verificado neste estudo, o autor não reportou picos de nitrito nas águas

escoadas dos telhados verdes, o que pode ter ocorrido devido o autor não ter realizado amostragens de águas no verão, estação do ano em que foi notada os valores mais acentuados de nitrito neste trabalho.

Beecham e Razzaghamanesh (2015), por sua vez, analisaram os aspectos qualitativos e quantitativos de águas em telhados verdes (intensivo e extensivo) em clima seco, na cidade de Adelaide, no sul da Austrália. Com relação ao parâmetro nitrito, os autores constataram que o telhado verde intensivo com inclinação de 25° atuou como fonte de nitrito, cujo resultado foi associado aos constituintes do seu substrato. Em contraste, as coberturas verdes extensivas com inclinações de 1° e 25° bem como a cobertura verde intensiva com inclinação 1° não se comportaram como fonte significativa de nitrito. Esses resultados indicam que o tipo de sistema do telhado verde e a inclinação podem interferir no comportamento dos parâmetros da água dos telhados verdes.

Na Figura 30 está apresentado o boxplot dos valores de nitrato observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 30 – Boxplot dos valores de nitrato observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As águas coletadas do TV1 apresentaram valores na faixa de 0,28 a 18,65 mg/L e média equivalente a 3,4 mg/L, cujos dados são relativamente semelhantes aos reportados por Moran et al. (2005). Os autores relataram níveis de nitrato da ordem de 0,8 a 6,9 mg/L e média de 3,6 mg/L nas águas escoadas de telhados verdes instalados no estado americano da Carolina do Norte. Os teores de nitrato nas águas escoadas do TV2, por sua vez, variaram de 0,15 a 1,12 mg/L, com média de 0,45 mg/L. Esses resultados foram similares aos encontrados por Teemusk e Mander (2011) ao analisarem a qualidade de águas coletadas de diferentes telhados verdes extensivos localizados na Estônia. No supracitado estudo, as concentrações de nitrato nas águas das coberturas verdes oscilaram de 0,005 a 0,85 mg/L.

Sabe-se que a composição do substrato pode influenciar diretamente nos teores de nitrogênio nas águas escoadas a partir das coberturas verdes (VIJAYARAGHAVAN et al., 2012). Neste sentido, tendo em vista que o substrato do TV2 contém cerca de duas vezes mais nitrogênio total do que o substrato do TV1 (Tabela 4), esperava-se concentrações de nitrato significativamente superiores nas águas escoadas do TV2. Paradoxalmente, essa diferença significativa não foi observada.

Dentre outras condicionantes, a não verificação de diferença significativa entre os níveis de nitrato das águas escoadas nas coberturas verdes pode estar relacionada ao tempo de instalação e à vegetação do TV1 e do TV2. Como explicado por Buffam e Mitchell (2015), telhados verdes jovens tendem a lixiviar maiores concentrações de nitrogênio devido seu estoque inicial de nutriente no substrato exceder às demandas das plantas. Porém, com o passar do tempo essas coberturas se aproximam da chamada fase estacionária. Nesta etapa, a retenção de nitrogênio pelas plantas é compensada pela taxa de mineralização de substrato, e as saídas e entradas de nutrientes no sistema tendem a se compensar.

Neste contexto, é provável que o TV2, instalado em 2010, esteja mais próximo da fase estacionária do que o TV1, que foi instalado mais recentemente, em 2013. Deste modo, ao decorrer dos anos, ambos os telhados verdes tendem a reduzir seu potencial de liberar nitrato durante eventos de chuva. Contudo, esse efeito seria mais pronunciado no TV2 do que no TV1, visto que a instalação deste primeiro é mais remota do que a do segundo. Isso justificaria, em parte, os semelhantes teores de nitrato nas águas coletadas das coberturas verdes estudadas, apesar da razoável diferença de concentrações de nitrogênio em seus respectivos substratos (Tabela 4).

Os valores de nitrato verificados nas águas dos telhados verdes não se diferiram significativamente em relação aos valores de nitrato observados nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera, cujos teores variaram de 0,32 a 2,22 mg/L, com média de 0,93

mg/L. Nesta perspectiva, considera-se que tanto o TV1 quanto o TV2 não atuaram como fonte significativa de nitrato. Esses resultados são consistentes com os reportados por Buffam et al. (2016) ao investigar a dinâmica temporal da qualidade das águas escoadas de telhado verde em Ohio, Estados Unidos.

Os autores atribuíram a falta de diferença significativa na concentração de nitrato entre a água coletada do telhado verde e a precipitação ao fato de que os teores de nitrato na cobertura verde foram sazonalmente variáveis, substancialmente maior do que a precipitação no verão, porém menor do que a precipitação no inverno. Assim, Buffam et al. (2016) sugeriram a ocorrência de variação sazonal nas taxas de processamento de nitrogênio. Em geral, essa tendência também foi observada para o parâmetro nitrato na presente pesquisa, porém mais acentuadamente na primavera comparativamente ao verão.

Por outro lado, em dissonância com o presente trabalho, Moran et al. (2005) concluíram que os telhados verdes estudados na Carolina do Norte, nos Estados Unidos, agiram como fonte de nitrato, pois a concentração deste ânion foi significativamente maior nas águas escoadas das coberturas verde do que na precipitação. Os pesquisadores relacionaram esse comportamento à elevada concentração de nitrogênio no substrato dos telhados verde que poderia estar sendo lixiviado durante a ocorrência de precipitação.

Berndtsson et al. (2009), por sua vez, também relataram resultados diferentes aos apresentados neste trabalho. Os autores verificaram que os níveis de nitrato das águas pluviais foram reduzidos durante sua passagem por um telhado verde extensivo na Suécia e por um telhado verde intensivo situado no Japão. Com base nisso, assinalaram que ambos tipos de coberturas verdes atuaram como sumidouro de nitrato, sugerindo que tais telhados poderiam reter uma razoável parcela de nitrato advindos da precipitação.

Com relação ao teor de nitrato nas águas escoadas do telhado controle (TC), observou-se que seus valores variam de 0,04 a 1,54 mg/L e apresentaram média de 0,46 mg/L (Figura 30), não diferindo-se significativamente em relação à concentração de nitrato nas águas amostradas do TV1, TV2 e das águas de chuva coletada diretamente da atmosfera. Dessa forma, é possível inferir que o TC não atuou como sumidouro de nitrato.

Baseado na análise global das diversas formas de nitrogênio consideradas neste trabalho, observa-se que o comportamento deste nutriente se mostrou relativamente homogêneo nas águas coletadas das coberturas verdes durante o período de monitoramento do experimento. Verificou-se, por exemplo, que os valores de nitrito e nitrato, de modo geral, foram relativamente baixos, na sua grande maioria.

Os dados de NTK, por sua vez, à exceção de alguns poucos eventos, também tendeu a seguir uma certa regularidade nas águas coletadas dos telhados verdes. Contudo, os resultados observados na campanha realizada no dia 30/01/2016 foram bastante discrepantes em relação às campanhas anteriores, especialmente no que tange ao nitrito e ao nitrato. Neste sentido, a seguir serão discutidos, separadamente, os dados dessa coleta a fim de proporcionar um melhor entendimento acerca da dinâmica do nitrogênio nas águas escoadas dos telhados verdes investigados nesta pesquisa (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito e nitrato nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1 e TV2 no dia 30/01/2016 (verão), em Santa Maria-RS

Parâmetro (mg/L)	Tratamento		
	Chuva	TV1	TV2
NTK	2,25	1,50	6,37
Nitrito	<0,05*	2,25	<0,05*
Nitrato	0,76	18,65	0,16

*Limite de detecção do equipamento.

De acordo com a Tabela 9, nota-se que o TV1 atuou como sumidouro de NTK, porém agiu como fonte de nitrito e nitrato. A redução do NTK (nitrogênio orgânico e amônia) e o concomitante aumento de nitrito e nitrato sugere a ocorrência de nitrificação no TV1. Por outro lado, o TV2 atuou como fonte de NTK e sumidouro de nitrato, com valores muito similares de nitrito comparativamente à água da chuva. Assim sendo, não há indicação da transformação da amônia em nitrito e deste a nitrato (nitrificação) no TV2, em contraste com o TV1.

Berndtsson et al. (2009), destacam que as informações acerca dos processos envolvidos nas transformações de nitrogênio dentro de telhados verdes são praticamente inexistentes na literatura, portanto pouco compreendido. Neste sentido, essa linha de pesquisa deve ser melhor investigada para o seu adequado entendimento. A hipótese proposta neste trabalho para explicar a nitrificação no TV1 e sua ausência no TV2, no dia 30/01/2016, baseia-se em duas vertentes principais: o efeito da sazonalidade associado à temperatura e a decomposição microbiana dos materiais orgânicos contidos nos telhados verdes.

Como já mencionado, a campanha do dia 30/01/2016 ocorreu no verão. As elevadas temperaturas observadas nessa estação do ano tendem a acelerar as atividades bioquímicas no

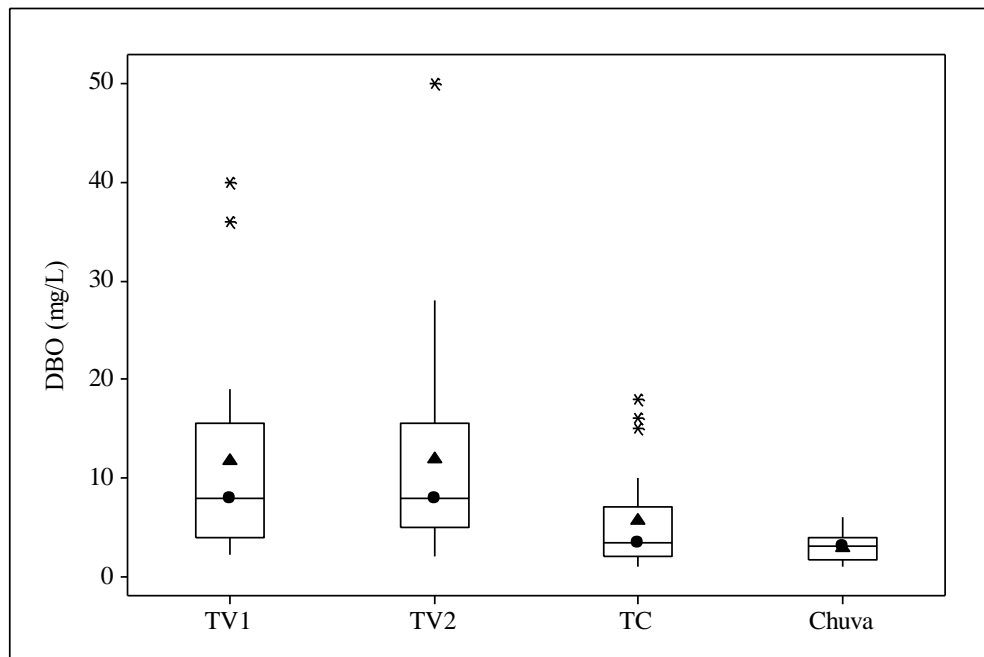
meio e promovem maior decomposição microbiana dos compostos orgânicos nos telhados verdes. Assim, é provável que no TV1, diferentemente do TV2, a contínua decomposição dos compostos orgânicos presentes no seu substrato tenha liberado nitrogênio em sua forma orgânica e, posteriormente, uma parcela deste tenha ter sido convertido para a forma inorgânica. Isso justificaria, em parte, a ocorrência de nitrificação no TV1 durante o evento de chuva do dia 30/01/2016, em contraste com o TV2. Contudo, estudos mais detalhados devem ser desenvolvidos no sentido de auxiliar na elucidação do processamento sazonal de nitrogênio nas coberturas verdes. A mineralização microbiana de compostos orgânicos ricos em nutrientes foi uma das sugestões de Buffam et al. (2016) para explicar a variabilidade sazonal da dinâmica do nitrogênio nos telhados verdes. De modo análogo ao descrito neste trabalho, os autores também verificaram, no verão, os valores mais acentuados de nitrogênio nas águas das coberturas verdes, em Ohio, Estados Unidos.

5.4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Em geral, os telhados verdes podem apresentar elevados teores de matéria orgânica (MO) em seus substratos (NAGASEA; DUNNETT, 2011; TEIXEIRA, 2013), cujo conteúdo orgânico tende a influenciar nos níveis de DBO bem como de outros parâmetros de qualidade das águas coletadas das coberturas verdes (TEEMUSK; MANDER, 2011).

Na Figura 31 está ilustrado o boxplot dos valores de DBO observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS. Conforme esperado, a passagem das águas pluviais pelo TV1 e TV2 resultou no aumento significativo dos seus valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (Figura 31). Dessa forma, infere-se que ambas coberturas verdes atuaram como fonte de DBO. Esse efeito deve-se possivelmente ao considerável teor de matéria orgânica presente nos substratos do TV1 e TV2 (Tabela 4), cujos resultados corroboram com Teemusk e Mander (2007). Os autores também verificaram que os telhados verdes construídos em Tartu, na Estônia atuaram como fonte de DBO e atribuíram esse comportamento à liberação de compostos orgânicos decompostos nas coberturas verdes.

Figura 31 – Boxplot dos valores de DBO observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Teemusk e Mander (2007), os valores médios de DBO nos telhados verdes foram de 2,0 a 5,3 mg/L e de 2,9 mg/L na água de chuva coletada diretamente da atmosfera. No presente estudo, os valores de DBO nas águas do TV1 variaram de 2,2 a 40 mg/L com média de 11,8 mg/L e no TV2 o valor médio foi de 12 mg/L com variação de 2,0 a 50 mg/L. Na água da chuva coletada diretamente da atmosfera, por sua vez, os teores de DBO se situaram na faixa de 1,0 a 6,0 mg/L com média de 2,9 mg/L (Figura 31), ou seja, dados claramente superiores ao reportados por Teemusk e Mander (2007). Essas diferenças podem estar relacionadas tanto às diferentes composições dos substratos dos telhados de Santa Maria e de Tartu quanto às distintas condições climáticas, que podem atuar de forma diferenciada na decomposição do material orgânico presente no substrato dos telhados verdes.

Contudo, os resultados deste estudo, expostos na Figura 31, foram muito similares aos observados por Castro (2011) ao analisar as características qualitativas das águas escoadas a partir de um módulo telhado com cobertura vegetal instalado em Porto Alegre-RS, no sul do Brasil. De acordo com a autora, os valores de DBO da água coletada da cobertura verde oscilaram de 4,3 a 43 mg/L, com média 14,59 mg/L.

Em contraposição à hipótese inicial da presente pesquisa, não foi observada diferença significativa entre as concentrações de DBO nas águas do TV1 e do TV2, apesar da perceptível diferença de MO nos substratos das coberturas verdes investigadas (Tabela 4). Esse resultado, dentre outros fatores, pode ser atribuído aos diferentes tempo de instalação dos telhados verdes e à espécie vegetal empregada em cada cobertura verde.

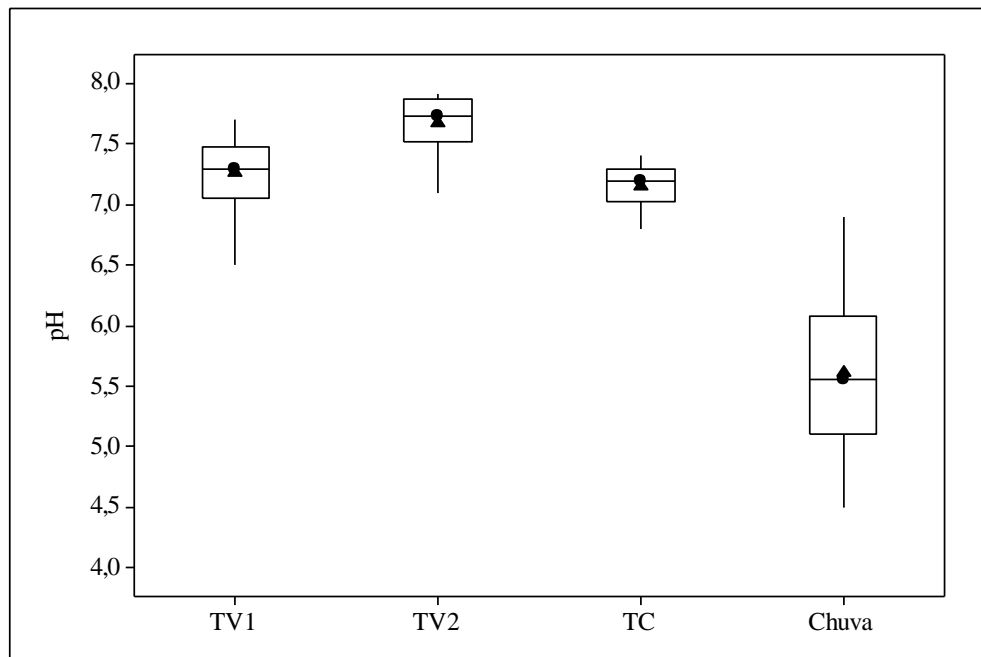
De modo análogo ao verificado para o nitrato, é possível que com o passar dos anos, ambos os telhados verdes reduzam gradativamente seu potencial de apresentar elevados níveis de DBO nas águas escoadas destas coberturas. Contudo, esse efeito seria mais pronunciado no TV2, pelo fato deste ser cerca três anos mais antigo do que TV1. Isso justificaria, em parte, os semelhantes teores de DBO nas águas coletadas das coberturas verdes estudadas, apesar da razoável diferença no teor MO em seus respectivos substratos (Tabela 4). Além disso, como já mencionado, em determinados momentos, ocorreu a significativa mortandade da espécie vegetal (*Sedum rupestre*) empregada no TV1. Então, é provável que o material orgânico resultante da decomposição da espécie vegetal empregada no TV1 tenha aumentado a quantidade de compostos orgânicos em seu substrato, e por conseguinte contribuído para elevar a concentração de DBO a uma faixa próxima ao verificado para as águas coletadas do TV2.

No que tange ao telhado controle (TC), observou-se que essa cobertura convencional também promoveu um ligeiro incremento de DBO nas águas de chuva (Figura 31). Contudo, esse efeito não resultou em diferença significativa entre os teores de DBO na precipitação e nas águas coletadas do TC. Neste sentido, o telhado controle não atuou como fonte de DBO. Por outro lado, os valores de DBO nas águas do TC foram significativamente inferiores aos constatados nas águas coletadas do TV1 e TV2, cujo resultado pode estar relacionado ao conteúdo orgânico presente no substratos das coberturas verdes.

5.4.2.4 pH e Dureza total

Na Figura 32 está exposto o boxplot dos valores de pH observados nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera e das águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 32 – Boxplot dos valores de pH observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera apresentaram características ligeiramente ácidas, o que pode estar relacionado aos componentes atmosféricos presentes na área de estudo. Nessas amostras de águas, os valores de pH variaram na faixa de 4,5 a 6,9, com média igual a 5,6 (Figura 32). Esses resultados são comparáveis aos citados por Hagemann (2009) ao avaliar a qualidade de águas pluviais em Santa Maria-RS. Nas águas de chuva *in natura* (direto da atmosfera), a autora descreveu valores de pH que oscilaram da ordem de 4,5 a 7,0, com valores médios de 5,8 a 6,0.

Para o grau de significância adotado, verificou-se que o pH das águas de chuva aumentou significativamente após sua passagem tanto pelas coberturas verdes quanto pelo telhado controle. Assim, infere-se que o TV1, TV2 e TC agiram como fonte significativa do parâmetro pH. Em geral, em função dos materiais presentes em suas áreas de captação, ambos tipos de coberturas, a verde e a tradicional, foram capazes de converter o caráter da água da chuva de ligeiramente ácida para o caráter alcalino, isto é, pH acima de 7,0. Esse resultado comprova o potencial dos telhados verdes na neutralização de deposições ácidas, uma de suas vantagens amplamente reportada na literatura (TEEMUSK; MANDER, 2007; ROWE, 2011; VIJAYARAGHAVAN et al., 2012; TEIXEIRA, 2013; BUFFAM et al., 2016).

Ao comparar os dados dos telhados verdes entre si, observou-se que os valores de pH do TV2 foram significativamente mais acentuados em relação aos do TV1. Tal fato sugere maior adsorção de íons de hidrogênio no TV2 comparativamente ao TV1. Nas águas coletadas do TV1 os valores de pH variaram de 6,5 a 7,7, com média equivalente a 7,3. O valor médio de pH nas águas escoadas do TV2, por sua vez, foi igual a 7,7 com oscilação de 7,1 a 7,9. Em relação ao TC, suas águas apresentaram valores de pH entre 6,8 a 7,5, com média igual a 7,2 e foram significativamente inferiores aos valores de pH nas águas das coberturas verdes.

Na campanha do dia 18/09/2016 foram realizadas análises do parâmetro dureza total nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera e das águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC em Santa Maria-RS. Os resultados deste ensaio laboratorial consta na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de dureza total nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no dia 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Dureza total (mgCaCO ₃ /L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
18/09/2015	71,5	142,8	41,5	<2*

*Limite de detecção.

A água da chuva coletada diretamente da atmosfera apresentou valor de dureza total em torno de 2 mgCaCO₃/L. Resultados relativamente semelhantes foram relatados por Hagemann (2009), que encontrou valor médio de dureza total entre 1,1 e 7,4 mgCaCO₃/L nas águas pluviais obtidas diretamente da atmosfera, em Santa Maria-RS. De modo análogo ao verificado neste trabalho, a autora notou incremento da dureza total na água de chuva após seu escoamento por telhados tradicionais urbanos (telhado cimento amianto): valores médios de 33,5 e 52,1.

Conforme esperado, nas coberturas verdes a elevação do parâmetro dureza total foi mais pronunciada em relação ao TC, visto que a principal fonte desta variável qualitativa nas águas é a sua passagem pelo solo (PIVELI; KATO, 2005). Desta forma, assim como também foi apontado por Teemusk e Mander (2007), os telhados verdes investigados no presente trabalho atuaram como fonte significativa de dureza total.

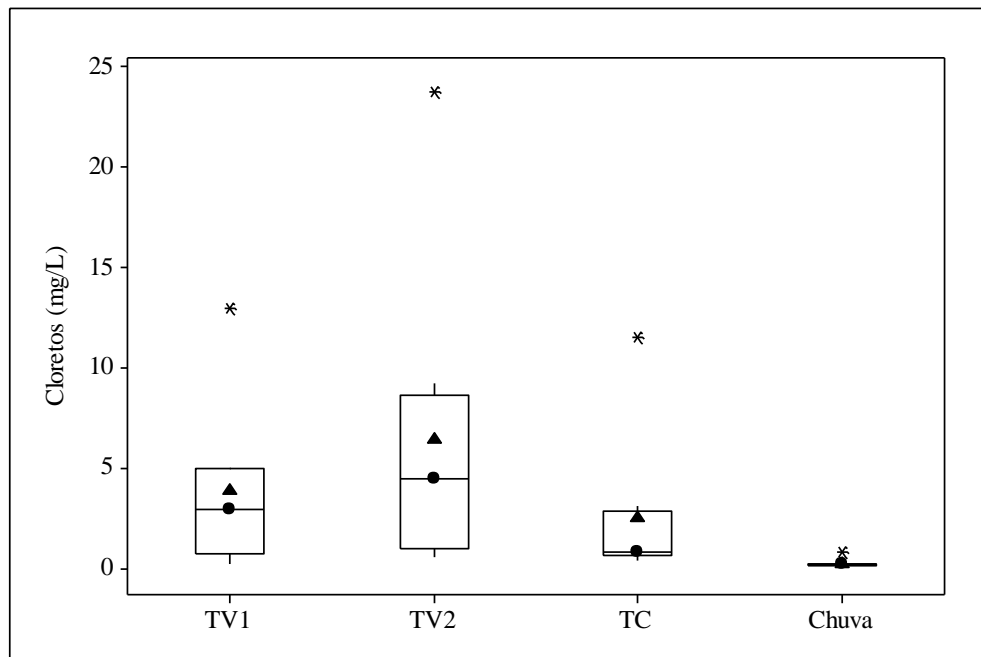
A superioridade da concentração de dureza total na água do TV2 em relação a água do TV1, exposta na Tabela 10, indica uma maior dissolução de compostos contendo cálcio e

magnésio neste primeiro telhado devido provavelmente o TV2 apresentar teores mais significativos de cálcio e magnésio em seu substrato comparativamente ao TV1 (Tabela 4).

5.4.2.5 Cloretos

Na figura 33 está exposto o boxplot dos valores de cloretos observados nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera e das águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 33 – Boxplot dos valores de cloretos observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/0/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de cloretos na água da chuva coletada diretamente da atmosfera variaram de 0,09 a 0,76 mg/L e apresentaram valor médio igual a 0,24 mg/L. Hagemann (2009) observou níveis mais elevados de cloretos em águas pluviais obtidas diretamente da atmosfera, em Santa Maria-RS. De acordo com a autora, os valores de cloretos nas amostras de água de chuva coletadas diretamente da atmosfera se situaram na faixa de 0,7 a 20,2 mg/L, com concentração média da ordem de 2,0 a 8,1 mg/L.

As coberturas verdes e o telhado controle promoveram o aumento significativo dos teores de cloretos na água da chuva. Dessa forma, ambos tipos de telhados se comportaram como fonte de cloretos. A concentração de íons cloretos nas águas coletadas do TV1, TV2 e TC pode estar relacionado principalmente à dissolução de sais presentes em suas superfícies de escoamento. Para o grau de significância considerado, não foi observada diferença significativa entre os valores de cloretos nas águas dos telhados verdes e telhado controle.

Persch et al. (2011), reportaram níveis de cloretos em torno de 2,5 mg/L em águas coletadas de um telhado verde e de 1,25 mg/L nas amostras de águas escoadas a partir de um telhado de fibrocimento em Santa Maria-RS, cujos valores são relativamente próximos aos verificados neste trabalho. Em Cingapura, Vijayaraghavan et al. (2012) notaram valores de cloretos na faixa de 10,4 a 15,6 mg/L em águas de chuva escoadas a partir de coberturas verdes, os quais são similares aos do TV1 e TV2 (Figura 33).

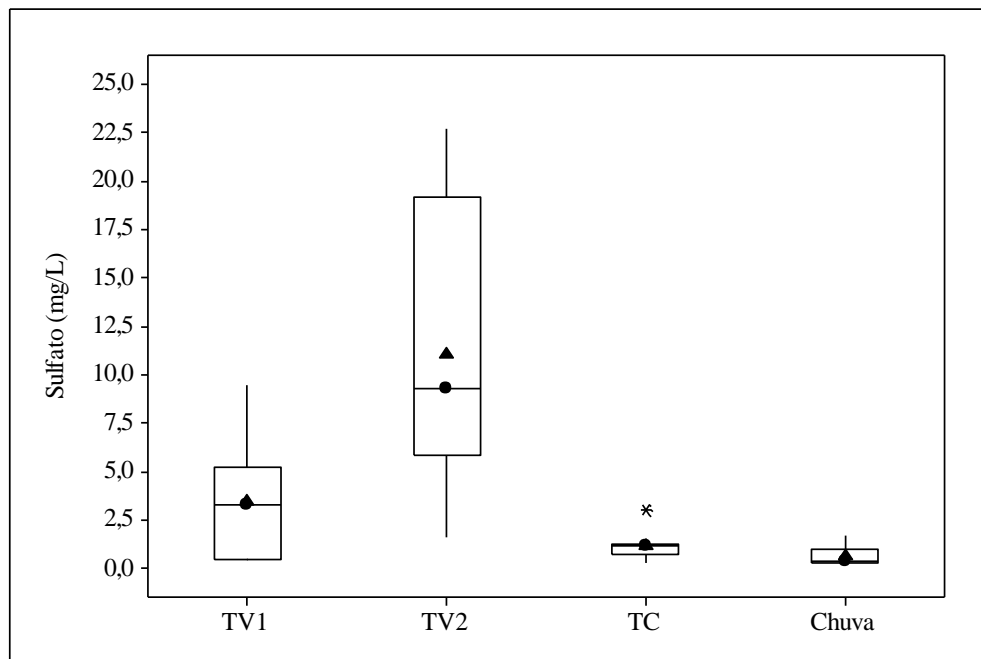
5.4.2.6 Sulfato

A variação dos valores de sulfatos observados nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera e das águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS estão ilustrados na Figura 34. A concentração de sulfato na água da chuva coletada diretamente da atmosfera variou de 0,23 a 1,68 mg/L, com valor médio equivalente a 0,62 mg/L (Figura 34). Em estudo conduzido em Santa Maria-RS, Hagemman (2009) citou uma maior amplitude e maiores concentrações médias de sulfato em águas pluviais obtidas diretamente da atmosfera. Segundo a autora, tais amostras de águas apresentaram níveis de sulfato que oscilaram entre 0,28 e 6,17 mg/L e médias entre 2,90 e 4,73 mg/L.

No presente trabalho, observou-se que as coberturas verdes demonstraram atuar como fonte significativa de sulfato, visto que as concentrações deste parâmetro nas águas coletadas de ambos os telhados verdes foram significativamente superiores aos da água da chuva coletada diretamente da atmosfera. Os níveis de sulfato nas amostras de águas escoadas a partir do TV1 ficou compreendido na faixa de 0,40 a 9,48 mg/L, com concentração média de 3,48 mg/L. No TV2, o valor médio de sulfato nas águas coletadas deste telhado foi igual a 11,01 mg/L, com valor mínimo e máximo de 1,56 e 22,68 mg/L, respectivamente. A análise comparativa dos dados das coberturas verdes apontou que os valores de sulfato nas águas amostradas do TV1 foram significativamente inferiores aos das águas do TV2. Esse resultado

pode estar relacionado ao maior teor de enxofre no substrato do TV2 em relação ao substrato do TV1 (Tabela 4).

Figura 34 – Boxplot dos valores de sulfato observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/0/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A exemplo do constatado nesta pesquisa, Teemusk e Mander (2007) reportaram incremento de sulfato na água de chuva após sua passagem pelos telhados verdes instalados na Estônia. Os autores relacionaram esse comportamento à presença de sulfatos na composição das coberturas verdes investigadas, fato que ressalta a influência das características das coberturas verdes na qualidade da água. Segundo os pesquisadores, nas águas pluviais a concentração de sulfato oscilou de 2 a 3 mg/L enquanto nas águas coletadas das coberturas verdes os valores deste parâmetro variou de 20 a 38 mg/L. Na cidade de Pittsburgo, nos Estados Unidos, Bliss et al. (2009) analisaram a qualidade de águas escoadas de telhado verde e encontraram concentrações de sulfato em torno de 25,2 a 35,5 mg/L.

No que concerne ao TC, notou-se que esse telhado não se comportou como fonte significativa de sulfato. Conforme exposto na Figura 34, as águas coletadas do telhado controle apresentaram valores de sulfato que variaram entre 0,31 e 2,99 mg/L e valor médio igual a 1,19 mg/L. Hagemann (2009) relatou níveis de sulfato da ordem de 0,28 a 6,17 mg/L e

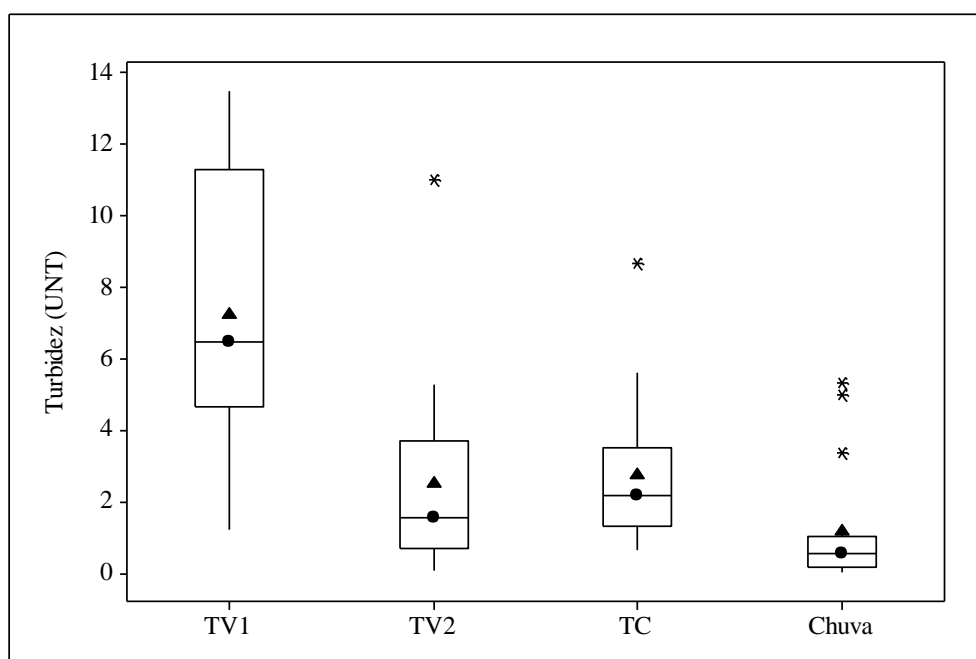
valores médios entre 2,90 a 4,73 mg/L em águas pluviais escoadas a partir de telhado convencional (telhado cimento-amianto), em Santa Maria-RS. Para o grau de significância considerado, constatou-se que os teores de sulfato nas águas coletadas do TC foram significativamente inferiores aos do TV2, porém não diferiram em relação aos do TV1.

5.4.3 Parâmetros físicos de qualidade da água

5.4.3.1 Turbidez e Sólidos Suspensos Totais (SST)

Na Figura 35 está apresentado o boxplot dos valores de turbidez observados nas de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 35 – Boxplot dos valores de turbidez observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que a passagem das águas pluviais pelas coberturas verdes elevou significativamente seus valores de turbidez. Deste modo, tanto o TV1 quanto o TV2 atuaram como fonte deste parâmetro. Esses resultados apontam que ambos os telhados verdes

liberaram partículas de argila e silte, detritos orgânico e outros tipos de SST durante os eventos de chuva. Contudo, esse efeito foi mais pronunciado no TV1, visto que os valores de turbidez em suas águas foram significativamente superiores aos das águas coletadas do TV2. Em parte, esse resultado pode ser derivado do maior teor de argila no substrato do TV1 quando comparado ao substrato do TV2 (Tabela 3). O tempo de instalação dos telhados verdes, teor de matéria orgânica e o sistema radicular das plantas também podem ter influenciado na dinâmica da turbidez nas águas escoadas das coberturas verdes.

Neste sentido, Li e Babcock (2014) afirmam que telhados verdes mais recentes tendem a liberar mais SST e, portanto apresentam maiores valores de turbidez. Porém, de acordo com os autores, essa tendência é drasticamente atenuada com o passar do tempo à medida que observa-se o estabelecimento das raízes e aumento do conteúdo orgânico no substrato dos telhados verdes. Esse fato explica, em parte, a superioridade dos níveis de turbidez nas águas coletadas do TV1, pois este telhado é cerca de 3 anos mais recente do que o TV2, e provavelmente, como efeito da temporalidade, o sistema radicular das espécies vegetais no TV1 esteja menos desenvolvido em relação ao TV2. Além disso, o TV1 apresenta um menor percentual de matéria orgânica no seu substrato comparativamente ao TV2 (Tabela 3).

A variação temporal da turbidez nas águas dos telhados verdes também foi reportada por Morgan et al. (2011) durante estudo realizado em Illinois, nos Estados Unidos. Os autores avaliaram a qualidade de águas escoadas a partir de coberturas com vegetação e sem vegetação contendo quatro meios de crescimento distintos: arkalyte (argila aquecida a 1000 °C), cinzas (carvão incinerado a partir de uma central elétrica a carvão), haydite (xisto ou ardósia aquecido a 1000 °C) e lava (rocha vulcânica). Os pesquisadores relataram que em todos os telhados os valores médios de turbidez foram significativamente superiores na fase inicial da pesquisa, o que sugere que, de fato, coberturas verdes mais recentes tendem a apresentar maiores níveis de turbidez, conforme verificado no presente estudo.

Ainda de acordo com Morgan et al. (2011), nos telhados verdes com vegetação, em específico, os valores médios de turbidez na etapa inicial e final do estudo foram, respectivamente, 256 e 8 UNT. O segundo valor pode ser considerado relativamente próximo ao apresentado na Figura 36, contudo o primeiro valor (256 UNT) é notadamente superior aos verificados neste trabalho. Tal discrepância pode estar relacionado ao curto tempo de instalação dos telhados verdes investigados por Morgan et al. (2001) em Illinois, menos de um ano.

O valor mais acentuado de turbidez nas amostras de águas escoadas a partir do TV1 (13,5 UNT) ocorreu no evento do dia 30/01/2016, no verão. Nesta data, como já previamente

descrito, foi notada uma considerável mortandade da espécie vegetal estabelecida no TV1, a *Sedum rupestre*. Assim, uma parcela do substrato deste telhado ficou exposta, sem proteção da cobertura vegetal. Sob essas condições, e considerando também a significativa intensidade pluviométrica do evento monitorado (Tabela 7), é possível que o impacto mecânico das gotas de chuvas sobre o solo do TV1 possa ter sido potencializado e favorecido o carreamento de SST e, por conseguinte ter elevado consideravelmente o valor de turbidez na amostra de água coletada no dia 30/01/2016. Além deste aspecto, deve-se ponderar também que no dia 25/11/2015 foi realizada a coleta de solos do TV1 e TV2 para fins de sua caracterização física e química. Esse procedimento resultou no revolvimento de solo e provavelmente também tenha contribuído para os elevados valores de turbidez nas águas coletadas do TV1 no dia 30/01/2016, dada a proximidade das duas datas.

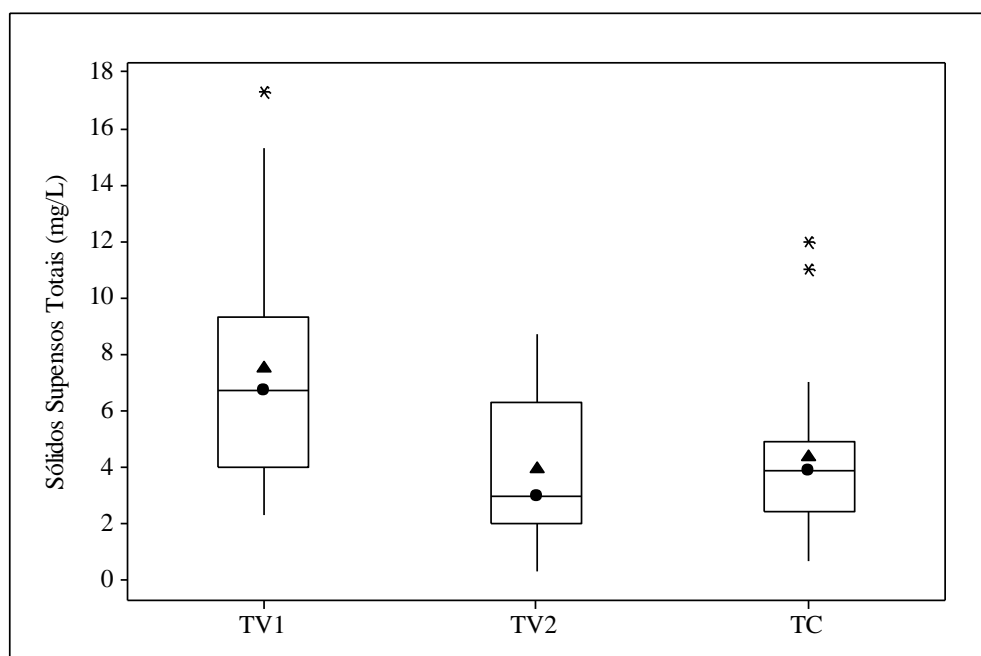
No tocante ao TV2, o maior valor de turbidez nas águas escoadas a partir deste telhado (11 UNT) ocorreu no dia 15/04/2015, na etapa inicial do monitoramento do experimento. Uma das possíveis explicações para o expressivo nível de turbidez nessa data pode estar relacionado ao período seco antecedente de 8 dias, um dos maiores intervalos sem chuva antes de uma coleta de água considerado neste experimento. Ademais, o manejo realizado nos substratos das coberturas verdes no dia 26/02/2015 para fins de plantio de novas mudas também pode ter influenciado neste resultado, visto que essa atividade resultou no revolvimento do solo. Assim como para o TV2, o valor de turbidez na amostra de água coletada do TV1 no dia 15/04/2015 também foi elevado, cerca de 12 UNT.

É interessante destacar que na campanha do dia 27/08/2015, ou seja, apenas cerca de quatro meses após a realização da coleta do dia 15/04/2015, o nível de turbidez na amostra de água coletada do TV2 reduziu de 11 UNT para apenas 0,4 UNT. Por outro lado, a redução dos níveis de turbidez nas águas amostradas do TV1 foi bem menos acentuada entre as duas campanhas, de 12 UNT no dia 15/04/2015 para 5,43 UNT na data 27/08/2015. Semelhante tendência foi verificada na comparação da campanha do dia 02/12/2015 e 18/02/2016. Nas águas coletadas do TV1, os valores de turbidez para as respectivas datas foram 12,7 e 1,43 UNT. Por sua vez, os valores de turbidez nas águas coletadas do TV2 reduziu de 5,3 UNT no dia 02/12/2015 para o valor ínfimo de 0,06 UNT no dia 18/02/2016. Esses dados sugerem que, para o parâmetro turbidez, o TV2 apresentou uma maior capacidade de resiliência em comparação ao TV1, cujo comportamento pode estar associado ao maior tempo de estabelecimento do TV2, seu maior teor de matéria orgânica e melhor desenvolvimento do sistema radicular de suas espécies vegetais em relação ao TV1.

No que tange ao TC, os valores de turbidez das águas obtidas deste telhado foram significativamente superiores aos da água da chuva coletada diretamente da atmosfera. Neste sentido, o telhado controle de fibrocimento se comportou como fonte de turbidez. Esse comportamento deve-se provavelmente ao carreamento de partículas de argilas e outros materiais coloidais pelo vento para a área de captação do TC, por exemplo, os quais foram direcionados para os reservatórios durante os eventos de chuva. Os níveis de turbidez nas águas amostradas do TC foram significativamente inferiores aos das águas escoadas a partir do TV1 devido à lixiviação de argila e outros tipos de SST do substrato desta cobertura verde. Na comparação dos dados de turbidez nas águas coletadas do TC e do TV2 não foi constatado diferença significativa.

Na Figura 36 está apresentado o boxplot dos valores de sólidos suspensos totais (SST) observados águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 36 – Boxplot dos valores de sólidos suspensos totais (SST) observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O comportamento do SST seguiu a mesma tendência verificada para os dados de turbidez. Assim, de modo análogo à turbidez, a análise estatística apontou que a concentração

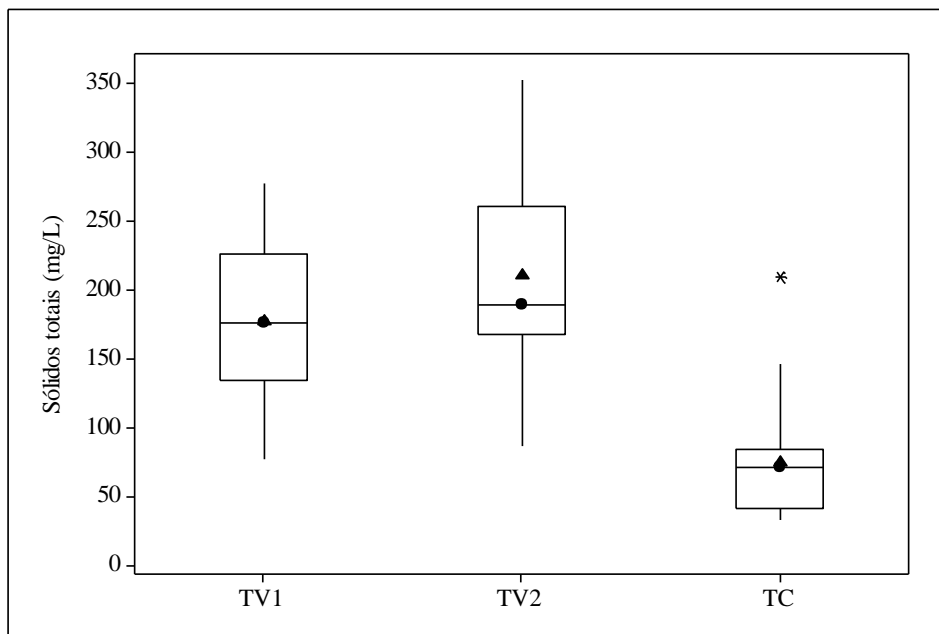
de SST nas amostras de águas do TV1 foi significativamente superior ao das águas amostradas do TV2 e do TC. Os níveis de SST nas águas destes dois últimos telhados não se diferiram significativamente entre si.

5.4.3.2 Sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, cor aparente, cor verdadeira e condutividade elétrica

Nesta seção são apresentados os resultados de duas das três séries de sólidos analisados neste trabalho: sólidos totais e sólidos dissolvidos totais. A terceira fração de sólidos considerada nesta pesquisa, os sólidos suspensos totais, foi discutida conjuntamente com os dados de turbidez, dada a relação entre ambos os parâmetros. As variáveis cor aparente, cor verdadeira e a condutividade elétrica, por sua vez, também são abordadas neste subitem devido sua correlação com o parâmetro sólidos dissolvidos totais (APHA, 2012).

Na Figura 37 está apresentado o boxplot dos valores de sólidos totais (ST) observados nas águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS. Em razão do volume insuficiente das amostras, a análise de ST não foi realizada para a água de chuva coletada diretamente da atmosfera.

Figura 37 – Boxplot dos valores de sólidos totais observados nas amostras de águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como exposto na Figura 37, os valores médios de sólidos totais nas águas coletadas do TV1, TV2 e TC foram 176,6 mg/L, 210,4 mg/L e 75,1 mg/L, nesta ordem. Para o grau de significância considerado, foi observada diferença estatística entre os dados das coberturas verdes em relação aos do telhado controle. Verificou-se que a concentração de ST nas águas escoadas do TC foi significativamente inferior aos dos telhados verdes. Na comparação entre telhados verdes, não evidenciou-se diferença significativa da concentração de sólidos totais nas amostras de águas obtidas do TV1 comparativamente as do TV2.

De modo análogo ao constatado neste estudo, Carpenter e Kaluvakolanu (2011) encontraram valores mais acentuados de sólidos totais em águas coletadas de cobertura verde em comparação aos de águas coletadas de outros tipos de telhados, em Michigan, nos Estados Unidos. Os autores reportaram valor médio de ST equivalente a 190, 108 e 152 mg/L nas águas escoadas do telhado verde extensivo, telhado de asfalto (“asphalt roof”) e telhado de pedra (“stone roof”), respectivamente. Em Campinas-SP, Teixeira (2013) também verificou maiores teores de sólidos totais nas águas pluviais coletadas de diferentes configurações de telhados verdes comparativamente aos de um telhado controle (telhas cerâmicas) e da água de chuva coletada diretamente da atmosfera.

Os valores mais pronunciados de ST nas águas das coberturas verdes e TC, em geral, ocorreram nas campanhas dos dias 25/05/2015, 18/09/2015 e 04/02/2016. Nestas datas, os volumes de águas de chuva direcionados para os reservatórios dispostos sob os telhados foram uns dos menores verificados ao longo da pesquisa, cujo coeficiente de escoamento para o TV1 e TV2 nestas campanhas foram menor ou igual 0,23 (Tabela 5). Assim, os dados indicaram que as concentrações de ST nas amostras de águas analisadas tenderam a se manter mais elevadas, em geral, em eventos de chuva que resultaram em baixo volume de águas para os reservatórios, ou seja, menores coeficiente de escoamento.

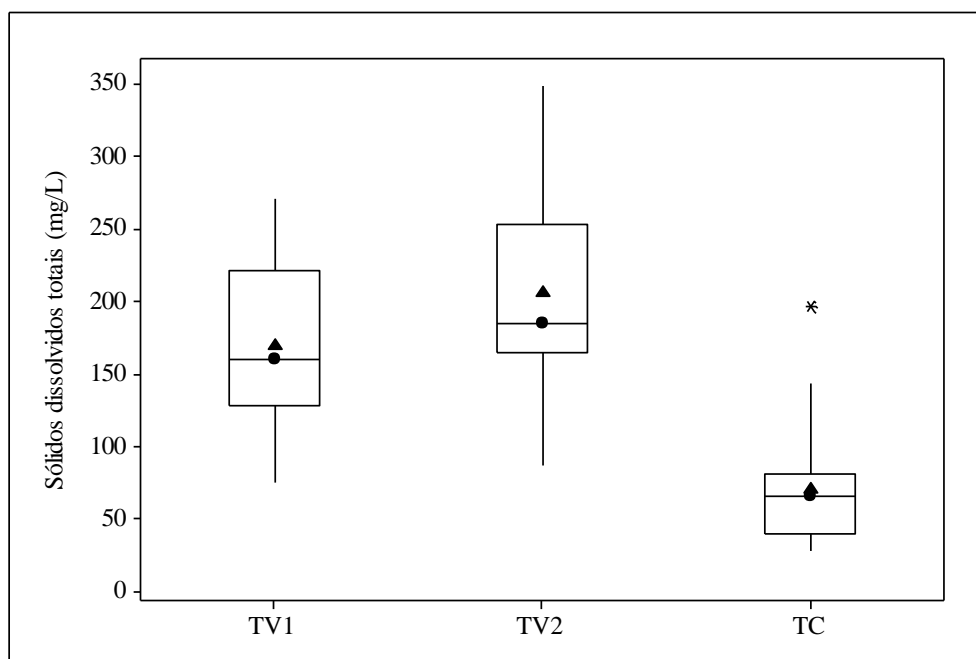
Por outro lado, na campanha do dia 08/10/2015, caracterizada pela maior altura pluviométrica registrado durante o experimento e maior volume de água direcionado para o reservatório, constatou-se, em geral, as menores concentrações de sólidos totais. O grande volume de água de chuva nos reservatórios pode ter promovido a diluição dos teores de ST, o que explicaria as baixas concentrações de ST nas águas coletadas no dia 08/10/2015.

Além do volume de água nos reservatórios, a análise dos dados de sólidos totais também considerou a intensidade média e intensidade crítica da chuva (Tabela 7). Contudo, a dinâmica do parâmetro ST não se mostrou notadamente sensível à influência da intensidade pluviométrica. De modo genérico, o volume de chuva e o coeficiente de escoamento tenderam a exercer maior influência no comportamento dos sólidos totais do que a intensidade da

chuva. Por exemplo, na coleta realizada no dia 08/10/2015 foi notada a maior intensidade pluviométrica do estudo, o que, em tese, poderia carrear mais sólidos das superfícies de escoamento. Contudo, como citado, o grande volume de chuva diluiu consideravelmente a concentração de ST nas águas, o que resultou nos menores teores de sólidos totais da pesquisa, corroborando com a hipótese sugerida anteriormente. Embora de forma menos acentuada, similar tendência foi observada para as campanhas do dia 22/09/2015 e 30/01/201.

Considerando todas as coletas, constatou-se que a concentração de sólidos totais nas amostras de águas analisadas neste estudo era constituída majoritariamente pela fração de sólidos dissolvidos totais. Na Figura 38 está apresentado o boxplot dos valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) observados nas águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS. Ressalta-se que, devido ao volume insuficiente das amostras, a análise de sólidos dissolvidos totais não foi analisado para a água de chuva coletada diretamente da atmosfera.

Figura 38 – Boxplot dos valores de sólidos dissolvidos totais observados nas amostras de águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas águas coletadas do TV1, TV2 e TC, as concentrações médias de SDT foram 161,9 mg/L, 206,5 mg/L e 70,6 mg/L, respectivamente (Figura 38). A partir da análise estatística

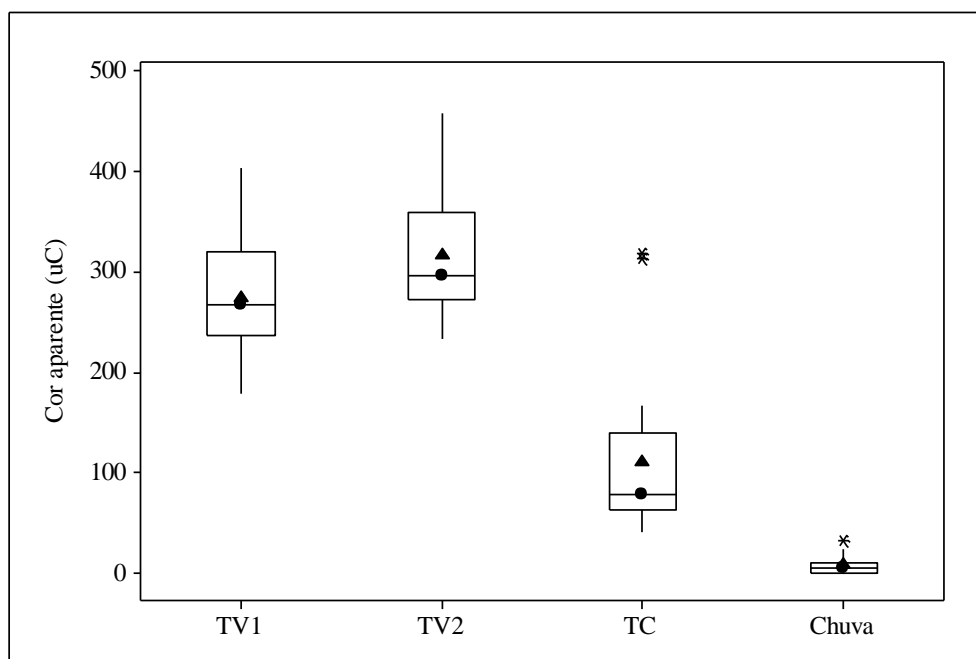
constatou-se que os valores deste parâmetro foram significativamente mais elevados nas águas amostradas das coberturas verdes comparativamente aos do telhado controle. Na comparação entre os dados de SDT nas águas dos telhados verdes não foi verificada diferença significativa.

Em geral, assim como notado para os sólidos totais, o nível de SDT nas águas coletadas das coberturas verdes e telhado controle tendeu a decrescer em eventos de chuva que resultaram em elevados coeficiente de escoamento. Por exemplo, os menores valores de SDT nas águas dos telhados verdes ocorreram na campanha do dia 08/10/2015. Nesta data, conforme previamente destacado, foi verificado o evento de chuva com o maior volume precipitado considerado neste trabalho, o qual resultou no extravasamento de água em todos os reservatórios. Na coleta em questão, também foi constatada uma das mais baixas concentrações de sólidos dissolvidos totais nas águas escoadas a partir do TC. Em contraste, na campanha do dia 18/09/2015, cuja precipitação resultou em baixo coeficiente de escoamento em todos os telhados investigados, observou-se os menores valores de STD nas águas coletadas do TV1, TV2 e TC.

Beecham e Razzaghmanesh (2015) avaliaram a qualidade de águas pluviais amostradas de telhados verdes (intensivos e extensivos) em clima seco, na cidade de Adelaide, na região sul da Austrália. Com relação aos sólidos dissolvidos totais, os autores afirmaram que esse parâmetro apresentou uma grande amplitude dos dados nas águas das coberturas verdes. De acordo com os pesquisadores, nas amostras de águas de chuva escoadas dos telhados verdes, os valores de SDT oscilaram entre 6,50 a 220 mg/L. Essas concentrações de SDT nas águas dos telhados verdes foram significativamente superiores aos verificados na água da chuva coletada diretamente da atmosfera, em Adelaide: 2,4 a 5,9 mg/L. Neste sentido, Beecham e Razzaghmanesh (2015) consideraram que os telhados verdes analisados na Austrália atuaram como fonte de sólidos dissolvidos totais.

Em linhas gerais, os parâmetros cor aparente, cor verdadeira e condutividade elétrica se comportaram de forma similar ao observado para a variável sólidos dissolvidos totais. Desta forma, assim como os SDT, os três parâmetros supracitados tenderam a apresentar os valores mais pronunciados nos eventos de chuva que resultaram em baixo coeficiente de escoamento. Na Figura 39 está ilustrado o boxplot dos valores de cor aparente observados nas de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 39 – Boxplot dos valores de cor aparente observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

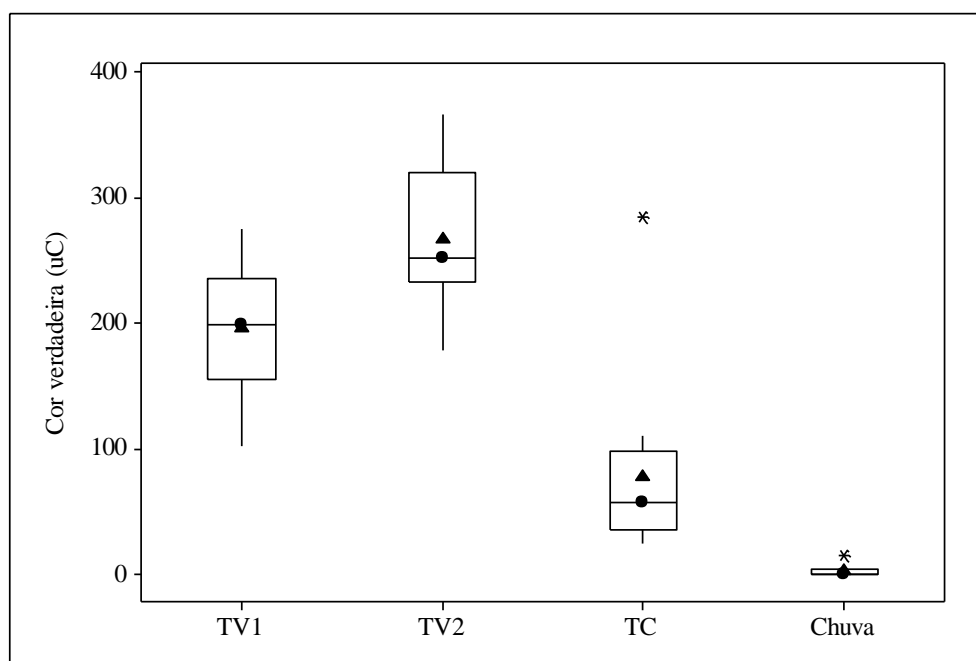
Os valores de cor aparente na água de chuva coletada diretamente da atmosfera variaram na faixa de 0,0 a 31,9 UC, com média igual a 7,6 uC. Ao analisar cinco eventos de chuva em Santa Maria-RS, Hagemann (2009) encontrou níveis de cor aparente da ordem de 0,0 a 5,0 uC em amostras de águas pluviais obtidas diretamente da atmosfera, os quais são inferiores aos valores apresentados neste trabalho. A razoável diferença de valores de cor aparente entre as duas pesquisas pode ser explicada, em parte, pelos distintos números de amostras e condições ambientais específicas em cada estudo, por exemplo.

Os telhados verdes e o telhado controle atuaram como fonte significativa de cor aparente, uma vez que a concentração deste parâmetro na água da chuva coletada diretamente da atmosfera aumentou significativamente após sua passagem por ambos os tipos de telhados. Contudo, esse efeito foi mais proeminente nas coberturas verdes, visto que os valores de cor aparente nas águas coletadas do TV1 e TV2 foram significativamente mais elevados aos do TC. Na comparação entre os telhados verdes, as águas escoadas a partir do TV2 apresentaram concentrações de cor aparente significativamente mais acentuadas em relação às águas do TV1. Esse resultado pode ser justificado pelo maior teor de matéria orgânica no substrato do

TV2 comparativamente ao do TV1 (Tabela 4). Os valores médios da cor aparente nas amostras de águas do TV1, TV2 e TC foram 274,6 uC, 316,7 uC e 119,9 uC, nesta sequência.

No valor da cor aparente pode estar presente a parcela causada pela turbidez e quando esta é removida tem-se a cor verdadeira. Como esperado, o comportamento da cor verdadeira seguiu a mesma tendência da cor aparente. Naturalmente, devido a remoção da turbidez, os valores da cor verdadeira foram menores do que os da cor aparente. Nas águas pluviais coletadas diretamente da atmosfera, e nas coletadas do TV1, TV2 e do TC, as concentrações médias da cor verdadeira foram 2,6 uC, 195,7 uC, 267,2 uC e 78 uC, respectivamente. Esses e outros dados concernentes à cor verdadeira estão ilustrado na Figura 40.

Figura 40 – Boxplot dos valores de cor verdadeira observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 08/10/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

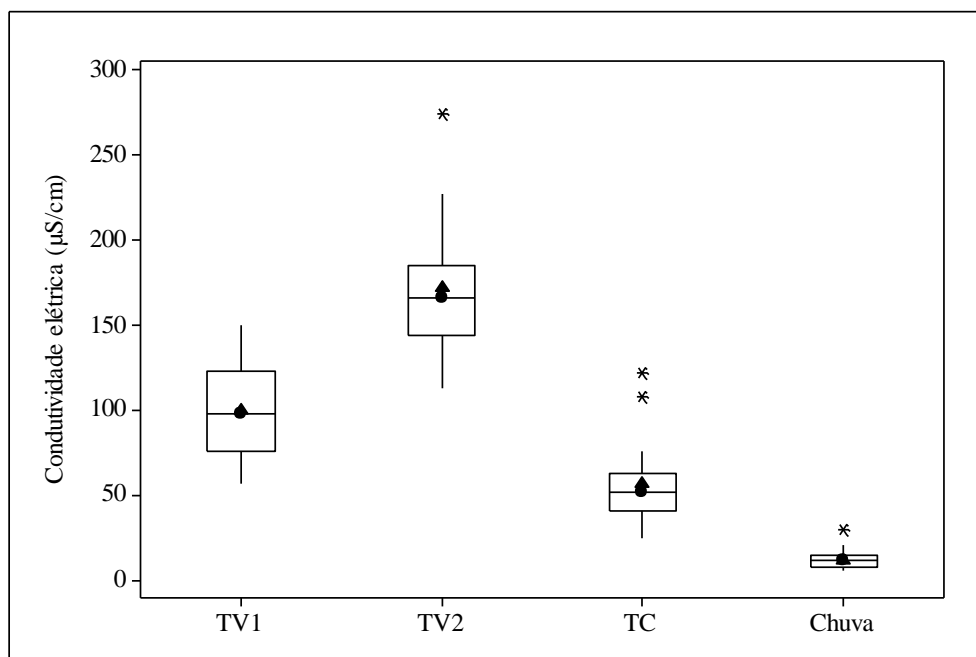
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em estudo desenvolvido na cidade de Campinas-SP, no sudeste do Brasil, Teixeira (2013) avaliou os aspectos qualitativos das águas pluviais coletadas de oito configurações distintas de telhados verdes (extensivos e semiextensivos) e de um telhado controle (telhas de cerâmica). Segundo a autora, a exemplo do relatado nesta pesquisa, os valores de cor aparente e cor verdadeira na água da chuva, inicialmente nulos, tenderam a ser substancialmente elevados após sua passagem pelas coberturas verdes e também pelo telhado controle. Dessa

forma, as coberturas verdes e o telhado construído com telhas cerâmicas investigadas em Campinas também demonstraram atuar como fonte de cor aparente e cor verdadeira. Castro (2011), por sua vez, citou valor médio de cor aparente igual a 198,0 uC na água coletada de um módulo telhado com cobertura vegetal instalado na cidade de Porto Alegre-RS, no sul do país. O resultado mencionado pela autora é semelhante aos encontrados nas águas do TV1 e TV2.

Na Figura 41 está apresentado o boxplot dos valores de condutividade elétrica observados nas águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

Figura 41 – Boxplot dos valores de condutividade elétrica observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em média, o valor de condutividade elétrica na água da chuva coletada diretamente da atmosfera foi igual a 11,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hagemann (2009) reportou valores médios superiores a estes, 41 a 62 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em águas pluviais obtidas diretamente da atmosfera, na cidade de Santa Maria-RS. Para o grau de significância adotado, observou-se que ambos os tipos de telhados, o verde e o controle, agiram como fonte de condutividade elétrica, pois a concentração deste parâmetro na água pluvial aumentou significativamente após seu escoamento pelo TV1, TV2

e TC. Porém, esse efeito foi mais acentuado nas coberturas verdes, uma vez que os valores desta variável qualitativa foram significativamente maiores nas águas coletadas dos telhados verdes comparativamente aos do telhado controle.

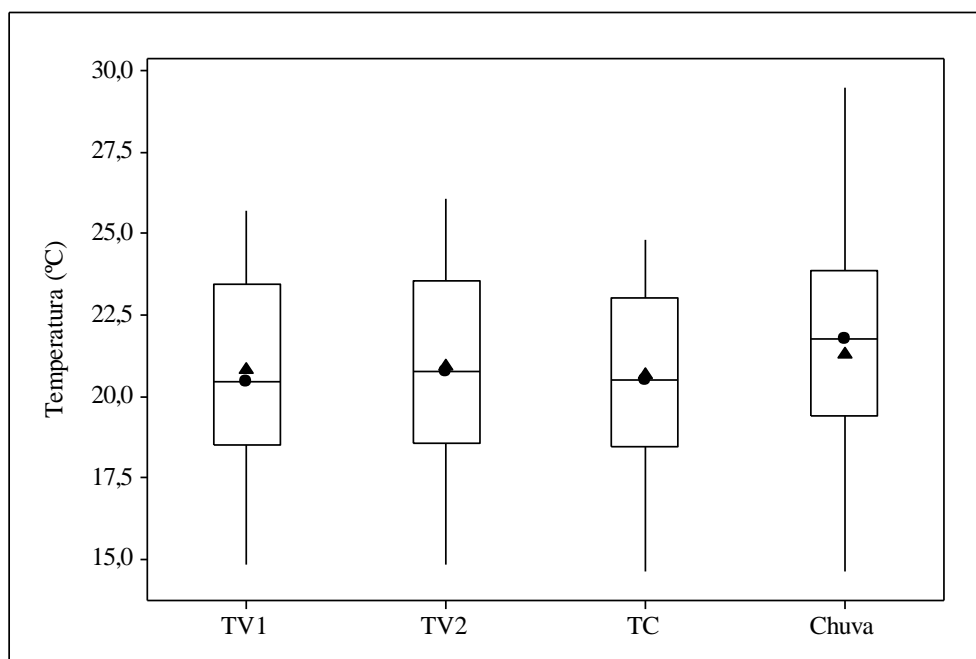
Na análise comparativa entre os telhados verdes, verificou-se que os níveis de condutividade elétrica foram significativamente superiores no TV2 em relação ao TV1. Esse comportamento pode estar relacionado à maior presença de sólidos dissolvidos nas águas coletadas do TV2 comparativamente aos do TV1. Em consonância com o constatado neste trabalho, Buffam et al. (2016) relataram que o telhado verde extensivo instalado em Ohio, nos Estados Unidos, atuou como fonte significativa de condutividade elétrica. Os autores apresentaram concentrações de condutividade elétrica na água da chuva coletada diretamente da atmosfera igual 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e de 152 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na água pluvial coletada da cobertura verde. Ainda segundo os pesquisadores, o valor médio de condutividade elétrica nas águas escoadas a partir do telhado controle (telhas de asfalto), foi equivalente a 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em geral, os dados de condutividade elétrica encontrados por Buffam et al. (2016) são semelhantes aos descritos no presente estudo. De modo análogo aos resultados desta pesquisa e com os autores outrora citados, Beecham e Razzaghmanesh (2015) também relataram que os telhados verdes investigados em Adelaide, no sul da Austrália, se comportaram como fonte de condutividade elétrica.

5.4.3.3 Temperatura

Na Figura 42 está exposto o boxplot dos valores de temperatura observados nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera e das águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 25/05/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS.

A temperatura nas águas de chuva obtidas diretamente da atmosfera oscilou na faixa de 14,6 a 29,5 °C e apresentou valor médio igual a 21,3 °C. Nas águas coletadas do TV1, por sua vez, esse parâmetro qualitativo variou de 14,8 a 25,7 °C, com média de 20,8 °C. A temperatura média nas águas escoadas a partir do TV2 foi de 20,9 °C, com variação de 14,8 a 26,1 °C. Nas águas coletadas do TC, os valores mínimo e máximo de temperatura foram, respectivamente, 14,6 a 24,8 °C; com valor médio equivalente a 20,7 °C (Figura 42).

Figura 42 – Boxplot dos valores temperaturas observados nas amostras águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 07/04/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estatisticamente, não houve diferença significativa dos valores de temperatura entre os quatro tratamentos (TV1, TV2, TC e Chuva). A variabilidade do parâmetro temperatura, ilustrada na Figura 42, pode ser atribuída à sazonalidade, diferentes horários de coleta, volume de chuva, temperatura do ar, dentre outros fatores.

5.4.4 Metais

O micronutriente ferro e alguns metais pesados são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Contudo, suas concentrações no substrato dos telhados verdes deve manter-se em um nível adequado de modo a garantir a salubridade das espécies vegetais e a qualidade das águas escoadas deste tipo de cobertura. Para os parâmetros desse subitem não foram realizadas análises estatísticas devido ao número limitado de dados e também pelo fato de vários de seus valores se apresentarem abaixo do limite de detecção.

Na Tabela 11 estão apresentados os valores de ferro observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.

Tabela 11 – Valores de ferro nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Ferro (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
18/09/2015	0,06	0,01	<0,006	0,01
08/10/2015	0,03	0,04	<0,006	<0,006
05/11/2015	0,085	0,05	0,02	0,007
02/12/2015	0,353	0,086	0,022	0,034
30/01/2016	0,156	0,096	0,015	<0,006

*Limite de detecção do equipamento.

No que tange às coberturas verdes, observa-se que, na maioria das coletas, a concentração de ferro nas águas de chuva apresentou um aumento de mais de dez vezes após sua passagem pelo TV1. Deste modo, conjectura-se que este telhado pode eventualmente atuar como uma potencial fonte do micronutriente ferro. Em contraste, na maior parte das campanhas, a passagem das águas pluviais pelo TV2 não resultou em um substancial incremento da concentração de ferro. Assim sendo, infere-se que o TV2 não se comportou como fonte significativa deste parâmetro (Tabela 11).

Como citado anteriormente, o substrato do TV1 apresenta um maior teor de ferro em relação ao substrato do TV2 (Tabela 4). Essa característica explica, em parte, o fato do TV1 ter, em linhas gerais, se comportado como uma potencial fonte de ferro, diferentemente do TV2 (Tabela 12). Valores próximos aos verificados neste estudo para os telhados verdes foram encontrados por Castro (2011) ao avaliar a qualidade de águas escoadas a partir de um módulo telhado com cobertura vegetal instalado em Porto Alegre-RS, no sul do Brasil. A autora relatou níveis de ferro que variaram na faixa de 0,16 a 0,004 mg/L com média de 0,086 086 nas águas coletadas do módulo telhado com cobertura vegetal.

De modo semelhante ao observado para o TV2 e, ocasionalmente para o TV1, Berndtsson et al. (2009) não verificaram variação significativa de ferro nas amostras de águas pluviais coletadas diretamente da atmosfera comparativamente a água de chuva coletada de telhado verde extensivo instalado Malmö, na Suécia. Por outro lado, esses resultados são conflitantes com os citados por Buffam et al. (2016) ao investigar a dinâmica da qualidade das águas escoadas de um telhado verde extensivo em Ohio, Estados Unidos. Os autores concluíram que tanto as coberturas verdes quanto o telhado controle (telhas de asfalto) atuaram como fonte significativa de ferro. De acordo com Buffam et al. (2016), os valores

médios de ferro nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera, do telhado controle e do telhado verde foram, respectivamente: 0,003 mg/L, 0,022 mg/L e 0,070 mg/L.

Com relação ao TC, nota-se que este telhado não atuou como fonte significativa do parâmetro ferro, visto que sua concentração nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera e do TC foram baixas e relativamente próximas entre si (Tabela 11). Tendência semelhante foi reportado por Hagemann (2009) ao avaliar a qualidade de águas pluviais escoadas de telhado de cimento-amianto em Santa Maria-RS. A autora relatou que os níveis de ferro oscilaram entre o valor abaixo do limite de detecção (0,05 mg/L) até 0,15 mg/L para a água coletada diretamente da atmosfera e do limite de detecção (0,05 mg/L) até 0,19 mg/L para a água coletada dos telhados.

No presente estudo, a concentração mais acentuada de ferro nas águas pluviais obtidas dos coletores suspensos, TV1, TV2 e TC ocorreu notadamente na campanha do dia 02/12/2012. Nesta data, o evento de chuva monitorado foi precedido pelo maior intervalo de tempo sem ocorrência de precipitação considerado para o estudo, 11 dias (Tabela 7). Assim, os dados indicam que a dinâmica do ferro nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera, das coberturas verdes e do telhado controle pode ser influenciada pelo número de dias secos antecedentes ao evento de chuva analisado. Contudo, estudos adicionais devem ser realizados para corroborar com essa hipótese.

Nas Tabelas 12, 14 e 15, são apresentados os valores de chumbo, cobre, cromo e zinco nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS.

Tabela 12 – Valores de chumbo nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Chumbo (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
18/09/2015	<0,005	<0,005	0,01	<0,005
08/10/2015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
05/11/2015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
02/12/2015	<0,005	<0,005	0,006	<0,005
30/01/2016	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

*Limite de detecção do equipamento.

Tabela 13 – Valores de cobre nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Cobre (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
18/09/2015	0,01	<0,002	<0,002	<0,002
08/10/2015	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
05/11/2015	0,009	0,006	0,004	<0,002
02/12/2015	0,034	0,017	0,014	0,02
30/01/2016	0,022	0,016	0,017	<0,002

*Limite de detecção do equipamento.

Tabela 14 – Valores de cromo nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Cromo (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
08/10/2015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
05/11/2015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
02/12/2015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
30/01/2016	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

*Limite de detecção do equipamento.

Tabela 15 – Valores de zinco nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 18/09/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Zinco (mg/L)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
18/09/2015	0,01	<0,006	0,01	0,01
08/10/2015	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
05/11/2015	0,011	0,024	0,018	0,007
02/12/2015	0,115	0,213	0,088	0,142
30/01/2016	0,051	0,084	0,045	0,009

*Limite de detecção do equipamento.

Em geral, as concentrações de chumbo, cobre, cromo e zinco nas águas da chuva coletada diretamente da atmosfera foram baixas e relativamente similares às observadas nas águas pluviais coletadas do TV1, TV2 e TC. Neste sentido, tais resultados corroboram com vários autores que sugerem que as coberturas verdes bem como alguns telhados tradicionais

urbanos, geralmente, não se comportam como uma fonte significativa de metais pesados (ALSUP et al., 2013; LI; BABCOCK, 2014; VIJAYARAGHAVAN; JOSHI, 2014).

Contudo, é importante ressaltar que as características químicas dos substratos dos telhados verdes e o emprego de alguns materiais nos mesmos, tais como os fertilizantes, podem potencialmente resultar na liberação de metais e outros elementos químicos durante os eventos de chuva (BERNDTSSON et al., 2006). Portanto, esse aspecto deve ser levado em consideração na definição da composição e manutenção dos substratos das coberturas verdes.

5.4.5 Parâmetros microbiológicos

Na Tabela 16 está apresentado o valores de coliformes totais nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 21/03/2016, em Santa Maria-RS.

Tabela 16 – Valores de coliformes totais nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 21/03/2016, em Santa Maria-RS

Evento	Coliformes totais (NMP/100 mL)			
	TV1	TV2	TC	Chuva
15/04/2015	3,1E+05	2,8E+05	2,0E+03	-
03/05/2015	7,9E+05	3,6E+05	1,7E+03	-
25/05/2015	3,5E+05	2,16E+05	8,5E+02	1,0E+02
11/06/2015	2,5E+05	2,0E+05	2,2E+02	2,1E+02
27/08/2015	5,3E+05	2,6E+05	6,9E+03	1,4E+01
18/09/2015	2,3E+04	3,0E+05	6,5E+04	1,1E+
22/09/2015	1,0E+05	1,1E+05	4,4E+01	1,0E+00
08/10/2015	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	1,1E+01
15/10/2015	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	9,6E+02
31/10/2015	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	9,1E+02
17/11/2015	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	3,9E+02
02/12/2015	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	2,3E+01
10/12/2015	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	9,6E+02
30/01/2016	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	1,8E+02
21/03/2016	>2,4E+03	>2,4E+03	>2,4E+03	2,1E+02

Nota-se que as menores concentrações de coliformes totais foram observadas na água da chuva coletada diretamente da atmosfera (Tabela 16). Neste sentido, tanto as coberturas verdes (TV1 e TV2) quanto a cobertura convencional (TC) atuam como fonte de CT. Esses resultados corroboram com outros estudos disponíveis na literatura que indicam incremento

dos valores de coliformes totais nas águas pluviais após sua passagem por telhados verdes e por telhados convencionais.

Teixeira (2013), por exemplo, avaliou a qualidade de águas de chuva drenadas a partir de diferentes configurações de coberturas verdes e cobertura convencional (telhas cerâmicas) em Campinas-SP. Ambos tipos de superfícies de escoamento apresentaram concentrações de CT acima de $2,4E+03$ NMP/100 mL e se comportaram como fonte de coliformes totais, visto que nas águas pluviais coletadas diretamente da atmosfera o valor deste parâmetro foi muito menor, cerca de $1,7 E+03$ NMP/100 mL. Semelhante tendência foi reportado por Budel (2014) ao comparar os aspectos qualitativos de água de chuva coletada em um telhado verde e uma cobertura convencional (telhas de concreto planas) na cidade de Curitiba-PR, no sul do Brasil.

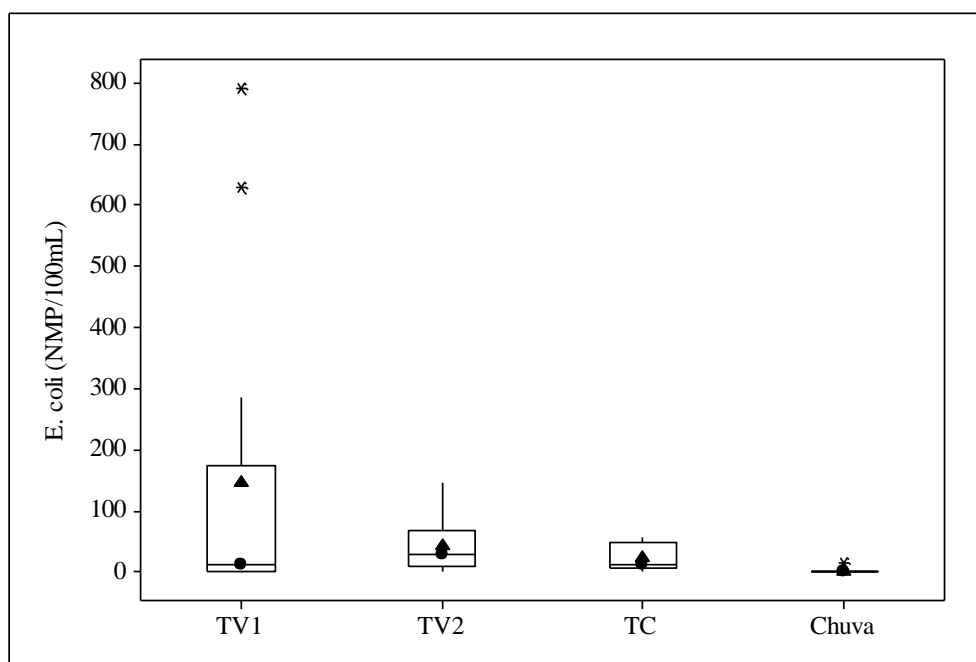
Em parte, a presença de coliformes totais nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera deve-se à composição da própria atmosfera que pode conter contaminantes microbiológicos. Além disso, é possível que partículas de materiais contaminados, presentes na área de estudo e adjacências, também tenham sido carregados para os coletores suspensos por meio da ação do vento, e assim contribuído para a detecção de coliformes totais nas águas pluviais coletadas diretamente da atmosfera. Nesta pesquisa, esta segunda fonte de CT deve ser especialmente considerada, uma vez que alguns eventos de chuva foram antecedidos de ventos. Nas águas de chuvas coletadas do TV1, TV2 e TC, por sua vez, o aparecimento de coliformes totais pode estar relacionado aos contaminantes previamente presentes na chuva como também aos contaminantes microbiológicos contidos na própria área de captação dessas coberturas.

Assim como verificado para os coliformes totais, os telhados verdes (TV1 e TV2) e telhado convencional (TC) apresentaram valores de *E. coli* mais elevados do que os observados para a água da chuva coletada diretamente da atmosfera (Figura 43). Desta forma, ambos tipos de coberturas demonstraram agir como fonte de *E. coli*, cujos resultados são, em geral, semelhantes aos assinalados por Teixeira (2013) e Budel (2014). Contudo, não foi notada diferença significativa dos valores de *E. coli* nas águas coletadas do TV1, TV2 e TC.

Em apenas cerca de 27% (vinte e sete por cento) das amostras de águas obtidas diretamente da atmosfera foi detectada a presença de *E. coli*. A ocorrência de *E. coli* nestas amostras de águas pode ser atribuída à deposição de material fecal nos coletores suspensos oriundo, por exemplo, de excrementos de pássaros, visto que na área do experimento há a presença de vegetação de médio porte, que pode abrigar aves. Hagemann (2009) também reportou ocorrência de *E. coli* nas águas de chuva coletada diretamente da atmosfera durante

estudo realizado em Santa Maria-RS. De acordo com a autora, esse parâmetro oscilou de 0,0 a 10,0E+00 NMP/100mL e os valores médios entre 1,0 a 2,0E+00 NMP/100mL, ou seja, resultados semelhantes aos verificados neste trabalho.

Figura 43 – Boxplot dos valores de *E. coli* observados nas amostras de águas da chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas a partir do TV1, TV2 e TC no período de 15/04/2015 à 30/01/2016, em Santa Maria-RS



O triângulo no boxplot representa a média e o círculo a mediana dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O fato de alguns eventos de chuva monitorado nesta pesquisa ter iniciado à noite pode ter potencializado a deposição de material fecal (*E. coli*) na água da chuva coletada diretamente da atmosfera, uma vez que nestas situações os coletores suspensos ficavam exposto por um determinado tempo antes da precipitação. No TV1, TV2 e TC a ocorrência de *E. coli* pode estar relacionado à contínua deposição de conteúdo fecal de pássaros e pequenos mamíferos, por exemplo, na de área de captação destas coberturas desde as suas instalações.

5.5 POTENCIAIS USOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS COLETADAS NOS TELHADOS VERDES E NO TELHADO DE FIBROCIMENTO

Para indicar os potenciais usos das águas pluviais coletadas nos telhados verdes e no telhado de fibrocimento, suas características físicas, químicas e microbiológicas foram

comparadas com os padrões de qualidade de água preconizados em legislações ambientais específicas, conforme disposto no Quadro 2.

Alguns dos instrumentos legais consultados apresentam mais de uma classe de água, como é o caso da Resolução CONAMA Nº 357/05, NBR 13969/97 e o Manual da ANA, FIESP e SindusCon-SP, 2005. No contexto da presente pesquisa, a análise dos dados foi realizada considerando a classe 2 da Resolução CONAMA Nº 357/05, águas destinadas ao abastecimento (após tratamento convencional), recreação de contato primário e irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, com os quais o público possa a vir ter contato.

Os padrões de qualidade da NBR 13969/97 referem-se às águas de reúso de classe 2, as quais são indicadas para lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins. No caso do Manual da ANA, FIESP e SindusCon-SP, considerou-se os valores máximos permitidos para as águas de reúso Classe 1 empregadas para descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos e roupas.

A concentração de chumbo na água da chuva coletada diretamente da atmosfera e das águas pluviais escoadas a partir dos telhados verdes e telhado controle não excederam o limite de 0,01 mg/L previsto nas legislações consultadas. Comportamento análogo foi notado para os parâmetros cloretos, cromo, dureza total e sulfato, cujos respectivos valores máximos estabelecidos pelos instrumentos legais são 250 mg/L, 0,05 mg/L, 500 mg/L e 250 mg/L.

Em relação ao cobre, o limite de 2 mg/L recomendado pela Portaria MS 2914/11 não foi ultrapassado em nenhuma amostra de água analisada. Contudo, essa tendência foi alterada na comparação com os níveis de cobre de 0,009 mg/L estipulado pela Resolução CONAMA Nº 357/05. Na coleta do dia 02/12/2015, evento caracterizado pelo maior período seco antecedente (11 dias), todas as amostras de águas apresentaram nível de cobre superior a 0,009 mg/L. Esse limite de cobre foi ultrapassado em outras coletas, no caso dos telhados verdes e telhado controle.

Com exceção de algumas poucas campanhas, a cor aparente nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera manteve-se abaixo do limite previstos nas legislações. Em contraste, nenhuma das amostras de água escoadas do TV1, TV2 e TC atenderam as exigências legais para o parâmetro cor aparente. Todos os valores de cor verdadeira na água de chuva *in natura* (direto da atmosfera) apresentaram-se em consonância com o preconizado pelos instrumentos legais pesquisados. Por outro lado, em todas as coletas, as coberturas verdes elevaram os valores de cor verdadeira a níveis superiores ao indicado pela Resolução CONAMA Nº 357/05. Essa tendência também foi observada para a maioria das amostras de águas escoadas a partir do telhado controle.

Quadro 2 – Comparação da qualidade da água dos telhados verdes e do telhado controle em relação aos padrões de qualidade de água brasileiros

Parâmetro	Dados Experimentais (valores mínimos e máximos)				Limites das legislações				
	Chuva	TV1	TV2	TC	CONAMA Nº 357/05	Portaria MS 2914/2011	NBR 13.969/97	Manual ANA	NBR 15.527/2007
Chumbo (mg/L)	<0,005 - <0,005	<0,005 - <0,005	<0,005 - <0,005	<0,005 - <0,005	0,01	0,01	-	-	-
Cloretos (mg/L)	0,09-0,76	0,24-12,96	0,55-23,81	0,37-11,48	250	250	-	-	-
Cobre (mg/L)	<0,002- 0,02	<0,002-0,034	<0,002-0,017	<0,002- 0,017	0,009	2	-	-	-
Colif. totais (NMP/100 ml)	1,0-960,60	22800,0 - 791500,0	106700,0- 360900,0	43,7- 65150,0	1000	Ausente em 100 mL	500	-	-
Cond. Elétrica (μ S/cm)	5,5-29,5	56,6-150,3	113,1-274,0	24,3-122,3	-	-	-	-	-
Cor aparente (uC)	0,0-31,9	178,8-403,3	233,9-458,4	40,7-317,6	-	15	-	10	15
Cor verdadeira (uC)	0,0-15,1	101,6-275,8	178,7-367,0	24,2-285,2	75	-	-	-	-
Cromo (mg/L)	<0,005 - <0,005	<0,005 - <0,005	<0,005 - <0,005	<0,005 - <0,005	0,05	0,05	-	-	-
DBO _{5,20} (mg/L)	1,0-6,0	2,2-40,0	2,0-50,0	1,0-18,0	5	-	-	10	-
Dureza (mg/L)	<2	71,5	142,8	41,5	-	500	-	-	-
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	0,0-14,0	0,0-790,0	0,0-150,0	0,0-55,0	1000	Ausente em 100 mL	500	Ausente em 100 mL	Ausente em 100 mL

Quadro 2 – Comparação da qualidade da água dos telhados verdes e do telhado controle em relação aos padrões de qualidade de água brasileiros.

(conclusão)

Parâmetro	Dados Experimentais (valores mínimos e máximos)				Limites das legislações				
	Chuva	TV1	TV2	TC	CONAMA Nº 357/05	Portaria MS 2914/2011	NBR 13.969/97	Manual ANA	NBR 15.527/2007
Ferro (mg/L)	<0,006 - 0,034	0,03-0,353	0,01-0,096	<0,006 - 0,022	0,3	0,3	-	-	-
Fosfato (mg/L)	<0,1 - <0,1	4,64-7,13	0,72-1,59	<0,1-0,82	-	-	-	0,1	-
Nitrato (mg/L)	0,32-2,22	0,28-18,65	0,15-1,12	0,04-1,54	10	10	-	<10	-
Nitrito (mg/L)	<0,05-0,18	<0,05-2,22	<0,05-0,12	<0,05-0,12	1,0	1,0	-	1,0	-
NTK (mg/L)	0,13-5,50	0,50-12,63	0,6-7,13	0,63-8,88	-	-	-	-	-
pH	4,5-6,9	6,5-7,7	7,1-7,9	6,8-7,4	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-8,0	6,0-9,0	6,0-9,0
SDT (mg/L)	-	74,7-271,5	86,7-348,5	28,0-197,7	500	1000	-	500	-
Sólidos Totais (mg/L)	-	77,0-277,0	87,0-352,0	33-209,0	-	-	-	-	-
SST (mg/L)	-	2,3-17,3	0,3-8,7	0,7-12,0	-	-	-	5	-
Sulfato (mg/L)	-	0,40-1,68	1,56-9,48	0,31-22,68	250	250	-	-	-
Turbidez (UNT)	0,0-5,3	1,2-13,5	0,1-11,0	0,7-8,7	100	5	5	2	2-5
Zinco (mg/L)	<0,006 - 0,142	<0,006-0,115	<0,006-0,213	<0,006-0,088	0,18	5	-	-	-

O limite de 5,0 mg/L de DBO, disposto na Resolução CONAMA N° 357/05, foi ultrapassado em ao menos uma das amostras de águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera, do TV1, TV2 e do TC. Esse comportamento manteve-se na comparação com o limite de 10 mg/L de DBO previsto no Manual da ANA, FIESP e SindusCon-SP, exceto para a água da chuva *in natura*.

Em geral, a passagem da água da chuva pelo TV2 elevou as concentrações de ferro a patamar superiores aos preconizados pelas legislações ambientais consultadas, em contraste com o verificado para as águas escoadas a partir do TV1 e do TC. No caso do fosfato, o escoamento da água pluvial pelos telhados verdes e telhado controle culminou em não observância do valor máximo de 0,1 mg/L de fosfato descrito no Manual da ANA, FIESP e SindusCon-SP.

Diferentemente do constatado para as águas do TV1, nas águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera e nas águas pluviais escoadas a partir do TV2 e TC, os valores de nitrato e nitrito não excederam os limites dos instrumentos legais. Os valores de sólidos dissolvidos totais nas amostras de águas analisadas atenderam ao limite de todas as legislações ambientais consideradas no estudo. O oposto foi verificado para os sólidos suspensos totais (SST). Contudo, é importante destacar que apesar das exceções, a maioria dos valores de SST nas águas do TV2 foram inferiores aos das legislações.

Na comparação com a Resolução CONAMA N° 357/05, o limite de turbidez de 100 UNT foi atendido para todas as águas analisadas, porém não em relação às demais normas. Contudo, ressalta-se que, embora não de forma integral, grande parte dos valores de turbidez atenderam às exigências de todas as legislações.

A maior parte dos valores de pH nas águas de chuva *in natura* se apresentaram abaixo da faixa recomendada pelos documentos consultados. Após a passagem dessas águas pelos telhados verdes e telhado controle os limites de pH estabelecidos pelas legislações foram atendidos integralmente.

Em geral, todas as amostras de águas apresentaram valores de zinco em conformidade com os padrões dispostos nas normas. A única exceção foi uma amostra de água coletada do TV2, cujo valor de 0,21 mg/L de zinco excedeu ligeiramente o limite de 0,18 mg/L da Resolução CONAMA N° 357/05.

As concentração de coliformes totais nas águas de chuva estão consonância com a Resolução CONAMA N° 357/05, porém, em algumas coletas, ultrapassaram o valor máximo disposto nas demais normas. O escoamento das águas pluviais pelos TV1, TV2 e TC elevou

significativamente o valor de coliformes totais, resultando em não observância aos valores das legislações.

Os valores de *E. coli* na água da chuva *in natura* também não ultrapassaram os limites da Resolução CONAMA Nº 357/05, assim como os da NBR 13969/97. Todavia, essa tendência foi alterada na comparação com as outras normas, visto que a presença de *E. coli* foi detectada nessas amostras de água. A concentração de *E. coli* nas águas dos telhados verdes foram inferiores aos limites da NBR 13969/97 e, no caso do TV2, também ao limite da NBR 13969/97. Contudo, ultrapassaram os limites desse parâmetros estabelecidos nas demais legislações. O comportamento da *E. coli* nas águas coletadas do TC tendeu a seguir o mesmo comportamento do TV2.

Com base no exposto acima, nota-se que as águas pluviais escoadas a partir das coberturas verdes e telhado controle apresentam potencial para usos não potáveis. Porém, alguns desses usos estão condicionados a prévio tratamento da água, visto que determinados parâmetros excederam o limite das legislações ambientais consultadas. A indicação do uso da água norteará o tratamento mais adequado para a mesma.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho foi avaliada a qualidade das águas pluviais escoadas a partir de dois telhados verdes extensivos (TV1 e TV2), um telhado controle composto por telhas de fibrocimento (TC) e água da chuva coletada diretamente da atmosfera. Complementarmente, analisou-se o desempenho de ambos os tipos de coberturas no controle quantitativo do escoamento pluvial. No que concerne aos aspectos qualitativos, observou-se que, em geral, os telhados verdes não melhoraram a qualidade da água de chuva coletadas do TV1 e TV2. Ambos telhados verdes atuaram como fonte de cloretos, condutividade elétrica, cor, DBO, dureza total, coliformes totais, *E. coli*, fosfato, sulfato e turbidez.

Em geral, o escoamento das águas pluviais a partir dos TV1 e TV2 não resultou no incremento significativo dos níveis de nitrito, nitrato, nitrogênio NTK e dos metais chumbo, cobre, cromo, ferro e zinco. Verificou-se o aumento do pH da água da chuva após sua passagem pelas coberturas verdes. Esse efeito permitiu converter o caráter ligeiramente ácido da água pluvial para básico, o que confirma o potencial dos telhados verdes na neutralização da acidez.

A concentração de vários parâmetros, tais como a cor e sólidos, tenderam a ser mais baixos em eventos chuvosos que resultaram em maior volume de água escoado para os reservatórios (altos valores de coeficiente de escoamento) devido ao efeito de diluição. Neste sentido, para uma melhor compreensão do comportamento dos sólidos, por exemplo, sugere-se uma análise de seus dados tanto em termos de carga quanto em termos de concentração. As características dos substratos demonstraram ser determinantes na qualidade das águas dos telhados verdes. Essa observação evidencia a importância da adequada definição dos materiais e substâncias a ser empregado no estabelecimento das coberturas verdes.

No verão, verificou-se teores de nitrito e nitrato notadamente mais elevados em relação às demais épocas do ano, sugerindo que a sazonalidade influenciou na dinâmica desses parâmetros. Em eventos caracterizados por razoável período seco antecedente, a concentração de algumas variáveis de qualidade das águas coletadas dos telhados verdes tendeu a se elevar. A ocorrência de chuvas intensas, aliada ao revolvimento do solo, decorrente do manejo realizado no experimento, acentuaram os níveis de turbidez na água, por exemplo. A contínua lixiviação e a retenção de elementos e substância químicas pelas espécies vegetais pode ter contribuído para a sua redução nas águas dos telhados verdes. Houve diferença significativa dos teores de fosfato, condutividade, dureza total, pH, sólidos suspensos totais e turbidez nas águas do TV1 comparativamente às do TV2. Esses resultados

estão relacionados principalmente às características dos substrato, tempo de instalação e espécies vegetais de cada telhado.

Com exceção da cor, sólidos totais, sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, fosfato e DBO, a concentração dos demais parâmetros nas águas do TC não se diferiram significativamente em relação às águas do TV1 e/ou TV2. As águas escoadas das coberturas verdes e do telhado controle apresentam características com potencial para usos não potáveis, tais como lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, descargas de bacias sanitárias, dentre outros. Porém, alguns desses usos estão condicionados a prévio tratamento da água, visto que determinados parâmetros excederam o limite das legislações ambientais consultadas. Dado que a presença da *E. coli* e/ou coliformes totais na água podem limitar o seu uso, sugere-se a inclusão destes parâmetros microbiológicos nos estudos que visam avaliar a qualidade das água coletadas dos telhados verdes e reúso destas.

Com relação ao desempenho dos telhados no controle do escoamento pluvial, constatou-se uma maior eficiência das coberturas verdes comparativamente ao telhado de fibrocimento. Esse resultado ficou tipificado pelos valores médios de coeficiente de escoamento superficial, cerca de 0,43 para o TV1 e TV2 e de aproximadamente 0,83 para o TC. Assim, enquanto o telhado controle reteve, em média, apenas 17% da água de chuva incidida em sua área de captação os telhados verdes foram capazes de reter 57%. Contudo, a eficiência das coberturas verdes no controle do escoamento superficial mostrou-se bastante sensível às condições climáticas e de umidade antecedente do solo. No verão, foi observada uma maior eficiência do TV1 e TV2 no controle do escoamento pluvial, cujo resultado pode estar relacionado às temperaturas tipicamente mais elevadas dessa estação do ano e, portanto maiores taxas de evapotranspiração.

Para melhor investigar a atuação e interação dos diversos fatores que podem influenciar na qualidade da água dos telhados verdes e também na sua eficiência quanto ao controle do escoamento pluvial, sugere-se estudos de longo prazo e com diferentes tipos de substratos, espécies vegetais, instalação dessas estruturas em locais com diferentes tipos de ocupações e outras condicionantes ambientais distintas das verificadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

AITKENHEAD-PETERSON, J. A. et al. Chemistry of growth medium and leachate from green roof systems in south-central Texas. **Urban Ecosys**, v. 14, n. 1, p. 17-33, 2011.

ALSUP, S. et al. Green roof systems as sources or sinks influencing heavy metal concentrations in runoff. **J Environ Eng-Asce**, v. 139, n. 4, p. 502-508, 2013.

AMERICAN Public Health Association. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: APHA, 1998.

AMERICAN Public Health Association. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, 2012.

ANA, FIESP & SINCUSCON-SP. **Conservação e reúso de água em edificações: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

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. 8 p.

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. **Water research**, v. 70, p. 370-384, 2015.

BERNDTSSON, J.; EMILSSON, T.; BENGTTSSON, L. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. **Sci Total Environ**, v. 355, n. 1-3, p. 48-63, 2006.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 351-360, 2010.

BERNDTSSON, J. C.; BENGTTSSON, L.; JINNO, K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. **Ecol. Eng.** v. 35, p. 369-380, 2009.

BLISS et al. Storm water runoff mitigation using a green roof. **Environ Eng Sci.**, v. 26, n. 2, p. 407- 417, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 17 jul. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 357, de 17 de março de 2005**. Brasília: 2005. 23p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2015.

BRITTO CORREA, C.; NEILA GONZÁLEZ, J. F. **O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas.** NUTAU, 2002.

BUDEL, M. A. **Estudo comparativo da qualidade da água de chuva coletada em cobertura convencional e em telhado verde.** 2014, 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.

BUFFAM et al. Environmental drivers of seasonal variation in green roof runoff water quality. **Ecological Engineering**, v. 91, p. 506-514, 2016.

BUFFAM, I.; MITCHELL, M. E. **Nutrient cycling in green roof ecosystems.** In: SUTTON, R. (Ed.). **Green Roof Ecosystems.** Springer, New York, 2015.

CARPENTER, D. D.; KALUVAKOLANU, P. Effect of roof surface type on storm-water runoff from full-scale roofs in a temperate climate. **J. Irrigation Drain Eng.** v. 137, p. 161-169, 2011.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano.** 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Programa de Pós-graduação de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10. ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos CD-ROM, 2007.

ECOTELHADO. **“Ecotelhado”**, 2010. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br>>. Acesso em: 19 maio 2015.

EDUKALIFE, **Hanging Gardens of Babylon.** 2013. Disponível em: <<http://edukalife.blogspot.pt/2013/02/17-hanging-gardens-of-babylon.html>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos.** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999, 412p.

EPA. **Low Impact Development (LID): a literature review.** [S.l.]: United States Environmental Protection Agency Washington, DC, 2000.

FARIAS, M. M. M.W. E. C. **Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos.** 2012, 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. Considerações Sobre a Aplicação do Telhado Verde Para Captação de Água de Chuva em Sistemas de Aproveitamento Para Fins Não Potáveis. In: Encontro Nacional, 4.; Encontro Latino Americano Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis, 2., São Paulo, **Anais...** 2007.

FLL. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Original version 1995. **Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites**. Bonn, Germany. Release 2002.

GRANT, G.; ENGLEBACK, L.; NICHOLSON, B. Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. **English Nature Research Reports**, Number 498, 2003.

GREGOIRE, B. G.; CLAUSEN, J. C. Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 963-969, 2011.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

HATHAWAY, A. M.; HUNT, W. F.; JENNINGS, G. D. A field study of green roof hydrologic and water quality performance **Trans. ASABE**, v. 51, p. 37-44, 2008.

HINMAN, C. **Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound. Puget Sound Action Team**. Washington State University Pierce County Extension. Puget Sound, WA. 2005.

HYDROTEC MEMBRANE CORPORATION. **Garden Roof Planning Guide**. Canadá, 2007.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Boletim climático para o Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/boletimRioGrandeDoSul>>. Acesso em: 18 fev. 2016b.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 18 fev. 2016a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: 23 maio 2015.

JOBIM, L. A. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2013.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; LAAR, M. **Roof Gardens in Brazil**. In: RIO 3 – WORLD CLIMATE & ENERGY EVENT, Rio de Janeiro, 2003.

KREBS, L. F. **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha.** Porto Alegre: UFRGS, 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10177>>. Acesso em: 28 maio 2015.

LI, Y.; BABCOCK, R. Green roofs against pollution and climate change. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, p. 695-705, 2014. 10.1007/s13593-014-0230-9.

LOHMANN, A. **Desempenho Higrotérmico de Cobertura Vegetal Inclinada em Dois Protótipos Construídos na Região de Florianópolis.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. 2008.

LORENZINI NETO, F. **Modelagem de telhado verde: uma análise da Eficiência no controle do escoamento pluvial Em diferentes escalas.** 2014, 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MACCAFERRI. “Grupo Maccaferri”. **Serviços de Engenharia.** 2010. Disponível em: <<http://www.maccaferri.com/br/>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

MACIEL FILHO, C. L. **Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria, RS-Dissertação de Mestrado.** Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Instituto de Geociências, UFRJ. Rio de Janeiro, 1977.

MacMILLAN, M. **York university rooftop garden stormwater quantity and quality performance monitoring report,** 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/region8/greenroof/documents/3.4_Macmillan-monitoring.pdf> .Acesso em 19 jun. 2015.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape Urban Planning**, v. 77, p. 217-226, 2006.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a part of urban water management. In: *Water Resources Management*, 2003. **Proceedings...**Southampton: WIT Press, p. 35-44, 2003.

MORAN, A. **A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth.** Dissertation (M.S. Thesis) – North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 2004.

MORAN, A.; HUNT, B.; SMITH, J. MAY. **Hydrological and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina.** In: *Green Roofs for Healthy Cities Conference*, Washington, DC, p. 2005.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, RS. 1961. 41p.

MORGAN S, A. et al. Suspended solids in and turbidity of runoff from green roofs. **Int J Phytoremediat.** v. 13, p. 179-193, 2011.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. Porto Alegre, **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.

NAGASE, A.; DUNNETT, N. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. **Landsc. Urban Plan.** v. 103, p. 230-236, 2011.

NICHOLSON, N. et al. **Rainwater harvesting from roofs for non-potable reuse.** Low Impact Development 2010: Redefining Water in the City. 2010.

NIU, H.; CLARK, C.; ZHOU, J.; ADRIAENS, P. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington. D. C. **Environ. Sci. Technol.** v. 44, p. 4302-4308, 2010.

OLIVEIRA, E. W. N.de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.** 2009. Disponível em: < www.peamb.eng.uerj.br/.../2009/EricWatsonNettodeOliveiraPEAMB_2009.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2015.

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens: History, Design and Construction.** 1. ed. New York: W. W. Norton & Company, 1999.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M. E.; BASS, B. **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada.** Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Canada: 1999.

PERSCH, C. G. **Avaliação da Eficiência de um Telhado Verde no Controle Quantitativo do Escoamento Pluvial.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PERSCH, C. G.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G. Análise da eficiência de um telhado verde como alternativa para o controle quali-quantitativo das águas pluviais em Santa Maria- RS. In: World Water Congress, XIV. Porto de Galinhas, PE. **Anais...** Porto de Galinhas, PE: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2011. CD ROM.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos.** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2005. 285 p.

POË, S.; STOVIN, V.; BERRETTA, C. Parameters influencing the regeneration of a green roof's retention capacity via evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 523, p. 356-367, 2015.

PORTO ALEGRE. Câmara Municipal. **Projeto de Lei do Legislativo Nº 011/2014.** Obriga os projetos de construção e de reforma de edificações públicas municipais a prever a instalação de telhado verde, ou ecotelhado. Disponível em: < <http://www.camarapoa.rs.gov.br/processos/121246>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

POUEY, M. T. F. **Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas-Vegetação e Terraço.** 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S. KAZEMI, F. Impact of green roofs on stormwater quality in a South Australian urban environment. **Science of the Total Environment**, p. 651-659, 2014.

RECIFE. **Lei Municipal Nº 18112, de 12 de janeiro de 2015**. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Recife-PE, 2015.

RODRIGUEZ, R. **The History of Green Roof Technology**. 2006. Disponível em: http://www.ifenergy.com/50226711/the_history_of_green_roof_technology.php. Acesso em 4 abr. 2015.

ROLA, S. M. **A natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: Estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva**. 2008. 222f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, abril. 2008.

ROMAN, C. A.; BASSO, R. E.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R. Comparação entre chuvas intensas obtidas a partir de IDF's e pela metodologia da relação entre durações. In: POLETO, C.; SILVEIRA, A. L. L.; CARDOSO, A. R.; GOLDENFUM, J. A.; DORNELLES, F. TASSI, R.; MOURA, P. M (Orgs.). **Águas urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 142p.

ROWE, D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environmental Pollution**, v. 150, p. 2100-2110, 2011.

SILVA, D. T. **Instalação e avaliação de um telhado verde em relação à utilização das espécies *Gazania rigens* e *Kalanchoe blossfeldiana* na cidade de Santa Maria-RS**. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso de Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul; 2010. 47p.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 12, n. 2, p. 9-18, 2012.

TASSI, R. et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/38866>>. Acesso em: 10 de fev. 2015.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. **The influence of green roofs on runoff water quality: a case study from Estonia**. **Water Resour. Manage.** v. 25, p. 3699-3713, 2011.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. **Ecological Engineering**. Oxford, v. 30, n. 3, p. 271-277, 2007.

TEIXEIRA, P. C. **Qualidade da água drenada por coberturas verdes para fins de aproveitamento em edifício**. 2013, 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

TEUFEL Current Event and Landscaping Resource. **Rooftop Greening for Energy Efficiency**. 2011. Disponível em: <<http://www.teufellandscape.com/blog/rooftopgreeningforenergyefficiency>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 4. ed. Brasília: Ministério das Cidades. 2005. 194 p.

VANWOERT, N. et al. Green Roof Stormwater Retention: effects of roof surface, slope and media depth. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 3, p. 1036-1044, 2005.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M. Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. **Environmental Pollution**, v. 194, p. 121-129, 2014.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. **Water Research**, v. 46, p. 1337-1345, 2012.

ZHANG, Q. et al. The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. **Landscape and Urban Planning**, v. 144, p. 142-150, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TESTES ESTATÍSTICOS DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A seguir é apresentado os resultados das análises estatísticas empregadas neste trabalho.

Teste de Normalidade

Resultados do teste de Shapiro-Wilk ao nível de significância de 5% para verificar a normalidade dos dados dos parâmetros de qualidade da água de chuva coletada diretamente da atmosfera e águas pluviais escoadas do TV1, TV2 e TC.

Parâmetro	p-valor	Normalidade dos dados
Cloretos	0,0000	Não
Condutividade elétrica	0,0006	Não
Cor aparente	0,0000	Não
Cor verdadeira	0,0003	Não
DBO _{5,20}	0,0000	Não
<i>E. coli</i>	0,0000	Não
Fosfato	0,0043	Não
Nitrato	0,0000	Não
Nitrogênio total Kjeldahl	0,0000	Não
pH	0,0000	Não
Sólidos dissolvidos totais	0,1138	Sim
Sólidos suspensos totais	0,0001	Não
Sólidos totais	0,0969	Sim
Sulfato	0,0000	Não
Temperatura	0,0146	Não
Turbidez	0,0000	Não

Se $p\text{-valor} \geq \alpha 0,05$ admite-se que a amostra ao nível de significância de 5% provém de uma população normal, ou seja, aceita-se a hipótese nula (H_0 : os dados seguem uma distribuição normal) e rejeita-se a hipótese alternativa (H_1 : os dados não seguem uma distribuição normal). Caso contrário ($p\text{-valor} < \alpha 0,05$), admite-se que a amostra ao nível de significância de 5% não provém de uma população normal, ou seja, rejeita-se a hipótese nula (H_0 : os dados seguem uma distribuição normal) e aceita-se a hipótese alternativa (H_1 : os dados não seguem uma distribuição normal).

Teste paramétrico para dados distribuídos normalmente

Resultados do Teste t aplicado para os dados dos parâmetros de qualidade da água de chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas do TV1, TV2 e TC ao nível de significância de 5%.

Parâmetro	Pares de tratamentos para aplicação do Test t					
	TV1 TV2	TV1 TC	TV1 Chuva	TV2 TC	TV2 Chuva	TC Chuva
	p-valor					
Sólidos dissolvidos	0,0589	1,20E-07*	-	3,45E-09*	-	-
Sólidos totais	0,0894	9,24E-08*	-	5,98E-09*	-	-

Se $p\text{-valor} \geq 0,05$ admite-se que as duas médias populacionais são iguais ao nível de significância de 5%, ou seja, aceita-se a hipótese nula (H_0 : as duas médias populacionais são iguais) e rejeita-se a hipótese alternativa (H_1 : as duas médias populacionais não são iguais). Caso contrário, ($p\text{-valor} < \alpha 0,05$) admite-se as duas médias populacionais não são iguais ao nível de significância de 5%, ou seja, rejeita-se a hipótese nula (H_0 : as duas médias populacionais são iguais) e aceita-se a hipótese alternativa (H_1 : as duas médias populacionais não são iguais). * Médias populacionais não são iguais.

Testes não paramétricos para dados não distribuídos normalmente

Resultados do Teste U Mann-Whitney aplicado para dados dos parâmetros de qualidade da água de chuva coletada diretamente da atmosfera, águas pluviais escoadas do TV1, TV2 e TC ao nível de significância de 5%.

Parâmetro	Pares de tratamentos para aplicação do teste U					
	TV1 TV2	TV1 TC	TV1 Chuva	TV2 TC	TV2 Chuva	TC Chuva
	p-valor					
Fosfato	0,0009*	-	-	-	-	-

Se $p\text{-valor} \geq 0,05$ admite-se que as duas medianas populacionais são iguais ao nível de significância de 5%, ou seja, aceita-se a hipótese nula (H_0 : as duas medianas populacionais são iguais) e rejeita-se a hipótese alternativa (H_1 : as duas medianas populacionais não são iguais). Caso contrário, ($p\text{-valor} < \alpha 0,05$) admite-se as duas medianas populacionais não são iguais ao nível de significância de 5%, ou seja, rejeita-se a hipótese nula (H_0 : as duas medianas populacionais são iguais) e aceita-se a hipótese alternativa (H_1 : as duas medianas populacionais não são iguais). * Medianas populacionais não são iguais.

Resultados do teste de Kruskal-Wallis (teste H) aplicado aos dados de qualidade da água, ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Parâmetro	Valor da estatística H	Grau de liberdade	p-valor
Cloretos	16,129	3	0,001067
Condutividade elétrica	67,076	3	1,80E-14
Cor aparente	59,730	3	6,71E-13
Cor verdadeira	41,963	3	4,08E-09
DBO _{5,20}	22,352	3	5,5E-05
<i>E. coli</i>	17,382	3	0,00058
Nitrato	5,806	3	0,1214
Nitrogênio total Kjeldahl	4,045	3	0,2566
pH	57,10	3	2,44E-12
Sólidos suspensos totais	18,808	3	0,00449
Sulfato	18,736	3	0,00031
Temperatura	0,404	3	0,939452
Turbidez	36,821	3	5,01E-08

P-valor $\geq 0,05$ indica que não há diferença significativa entre nenhum dos tratamentos. P-valor $< 0,05$, há diferença significativa entre pelo ao menos dois tratamentos.

Para os parâmetros que apresentaram p-valor $< 0,05$ na tabela acima, foram realizadas comparações múltiplas aos pares a fim de verificar quais tratamentos se diferenciavam entre si, conforme exposto abaixo.

Comparações múltiplas aos pares, ao nível de significância de 5% de probabilidade, para verificar diferenças significativas entre os tratamentos.

Parâmetro	Pares de tratamentos para comparações múltiplas					
	TV1 TV2	TV1 TC	TV1 Chuva	TV2 TC	TV2 Chuva	TC Chuva
p-valor						
Cloretos	0,504148	0,504148	0,00073	0,332814	0,000144	0,00776
Cond. elétrica	0	0	0	0	0	0
Cor aparente	0,025342	0	0	0	0	0
Cor verdadeira	0,000664	0,000044	0	0	0	0
DBO _{5,20}	0,837262	0,014268	0,00013	0,011736	0,000096	0,197152
<i>E. coli</i>	0,751	0,751	0,00079	0,751	0,000348	0,004104
pH	0,000004	0,019146	0	0	0	0
Sólidos suspensos	0,003882	0,018708	-	0,49007	-	-
Sulfato	0,013116	0,208094	0,011648	0,00073	0	0,116852
Turbidez	0	0,000232	0	0,25361	0,014012	0,000642

P-valor $\geq 0,05$ indica que não há diferença significativa entre o par de tratamentos comparado. P $< 0,05$ indica que há diferença significativa entre o par de tratamentos comparado.

APÊNDICE B – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Parâmetro	Tratamento	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad
Chumbo (mg/L)	Chuva	5	-	-	<0,005	<0,005	-
	TC	5	-	-	<0,005	0,01	-
	TV1	5	-	-	<0,005	<0,005	-
	TV2	5	-	-	<0,005	<0,005	-
Cloretos (mg/L)	Chuva	8	0,24	0,18	0,09	0,76	0,20
	TC	8	2,46	0,77	0,37	11,48	3,52
	TV1	8	3,86	2,88	0,24	12,96	3,88
	TV2	8	6,44	4,45	0,55	23,81	7,15
Cobre (mg/L)	Chuva	5	-	-	<0,002	0,02	-
	TC	5	-	-	<0,002	0,017	-
	TV1	5	-	-	<0,002	0,034	-
	TV2	5	-	-	<0,002	0,017	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Chuva	13	-	-	1,0E+00	9,61E+02	-
	TC	15	-	-	4,4E+01	>2.4E+03	-
	TV1	15	-	-	2,3E+04	>2.4E+03	-
	TV2	15	-	-	1,1E+05	>2.4E+03	-
Cond. Elétrica (μ S/cm)	Chuva	18	11,9	11,3	5,5	29,5	5,83
	TC	20	56,4	51,2	24,3	112,2	22,93
	TV1	20	99,9	97,6	56,6	150,3	28,02
	TV2	20	172,3	165,9	113,1	274,0	38,41
Cor aparente (uC)	Chuva	18	7,6	4,3	0	31,9	8,98
	TC	20	110,9	77,8	40,7	317,6	77,34
	TV1	20	274,6	267,5	178,8	403,3	54,99
	TV2	20	316,7	296,8	233,9	458,4	57,84

Parâmetro	Tratamento	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad
Cor verdadeira (uC)	Chuva	13	2,6	0,4	0	15,1	4,14
	TC	13	78,0	57,6	24,2	285,2	65,73
	TV1	13	195,7	198,2	101,6	275,8	48,80
	TV2	13	267,2	251,6	178,7	376,0	49,70
Cromo (mg/L)	Chuva	4	-	-	<0,005	<0,005	-
	TC	4	-	-	<0,005	<0,005	-
	TV1	4	-	-	<0,005	<0,005	-
	TV2	4	-	-	<0,005	<0,005	-
DBO (mg/L)	Chuva	17	2,9	3,0	1,0	6,0	1,41
	TC	19	5,7	3,5	1,0	18,0	5,18
	TV1	19	11,8	8,0	2,2	40,0	10,39
	TV2	18	12,0	8,0	2,0	50,0	11,37
Dureza (mg/L)	Chuva	1	-	-	<2	<2	-
	TC	1	-	-	41,5	41,5	-
	TV1	1	-	-	71,5	71,5	-
	TV2	1	-	-	142,8	142,8	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Chuva	13	1,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,4E+01	3,8E+00
	TC	15	2,3E+01	1,1E+01	0,0E+00	5,5E+01	2,1E+01
	TV1	15	1,5E+02	1,1E+01	0,0E+00	7,9E+02	2,4E+02
	TV2	15	4,3E+01	2,9E+01	0,0E+00	1,5E+02	4,2E+01
Ferro (mg/L)	Chuva	5	-	-	<0,006	0,01	-
	TC	5	-	-	<0,006	0,02	-
	TV1	5	0,14	0,11	0,03	0,03	0,03
	TV2	5	0,06	0,05	0,01	0,01	0,12

Parâmetro	Tratamento	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad
Fosfato (mg/L)	Chuva	8	-	-	<0,1	<0,1	-
	TC	8	-	-	<0,1	0,82	-
	TV1	8	5,85	6,08	4,69	7,13	0,82
	TV2	8	1,15	1,09	0,72	1,59	0,27
Nitrato (mg/L)	Chuva	8	0,93	0,58	0,32	2,22	0,71
	TC	8	0,46	0,29	0,04	1,54	0,46
	TV1	8	3,39	0,47	0,28	18,65	5,89
	TV2	8	0,46	0,45	0,15	1,12	0,28
Nitrito (mg/L)	Chuva	8	-	-	<0,05	0,18	-
	TC	8	-	-	<0,05	0,12	-
	TV1	8	-	-	<0,05	2,22	-
	TV2	8	-	-	<0,05	0,12	-
NTK (mg/L)	Chuva	12	2,1	1,8	0,13	5,50	1,57
	TC	14	2,5	1,9	0,63	8,88	2,11
	TV1	15	2,9	2,0	0,50	12,63	2,95
	TV2	15	3,5	3,7	0,60	7,13	1,96
pH	Chuva	18	5,6	5,6	4,5	6,9	0,64
	TC	20	7,2	7,2	6,8	7,4	0,16
	TV1	20	7,3	7,3	6,5	7,7	0,27
	TV2	20	7,7	7,7	7,1	7,9	0,23
SDT (mg/L)	Chuva	-	-	-	-	-	-
	TC	20	70,6	65,7	28,0	197,0	42,12
	TV1	20	169,1	159,5	74,7	271,5	51,79
	TV2	20	206,5	185,0	86,7	348,5	65,80

Parâmetro	Tratamento	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad
Sólidos totais (mg/L)	Chuva	-	-	-	-	-	-
	TC	20	75,1	70,5	33,0	209,0	42,46
	TV1	20	176,6	175,3	77,0	277,0	52,16
	TV2	20	210,4	189,5	87,0	352,0	66,77
SST (mg/L)	Chuva	-	-	-	-	-	-
	TC	20	4,3	3,9	0,7	12,0	2,84
	TV1	20	7,5	6,7	2,3	17,3	4,15
	TV2	20	3,9	3,0	0,3	8,7	2,64
Sulfato (mg/L)	Chuva	8	0,62	0,39	0,23	1,68	0,49
	TC	8	1,19	1,15	0,31	2,99	0,75
	TV1	8	3,48	3,31	0,40	9,48	2,98
	TV2	8	11,01	9,3	1,56	22,68	7,05
Temperatura (°C)	Chuva	18	21,3	21,8	14,6	29,5	3,48
	TC	20	20,7	20,5	14,6	24,8	2,89
	TV1	20	20,8	20,5	14,8	25,7	3,01
	TV2	20	20,9	20,5	14,8	26,1	3,06
Turbidez (UNT)	Chuva	18	1,2	0,6	0	5,3	1,60
	TC	20	2,7	2,2	0,7	8,7	1,93
	TV1	20	7,2	6,5	1,2	13,5	3,65
	TV2	20	2,5	1,6	0,06	11,0	2,50
Zinco (mg/L)	Chuva	5	-	-	<0,006	0,14	-
	TC	5	-	-	<0,006	0,09	-
	TV1	5	-	-	<0,006	0,12	-
	TV2	5	-	-	<0,006	0,21	-

APÊNDICE C – DADOS BRUTOS DAS ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 1 – 15/04/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	3,1E+05	2,8E+05	2,0E+03	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	131,7	152,6	39,23	-
Cor aparente	uC	337	398	65,4	-
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	15	9	7,0	-
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	12,6	7,1	8,9	-
pH	-	7,0	7,3	7,1	-
SDT	mg/L	157,3	222,7	28,0	-
Sólidos Totais	mg/L	171,5	231	35,5	-
SST	mg/L	14,2	8,3	3,3	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	20,1	20,3	20,2	-
Turbidez	UNT	12	11	2	-
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 2 – 03/05/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	7,9E+05	3,6E+05	1,7E+03	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	114,2	175,8	61,09	-
Cor aparente	uC	304,1	299,99	64,4	-
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	6	14	18,0	-
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	2,1	2,3	1,6	-
pH	-	7,2	7,5	7,3	-
SDT	mg/L	172,3	176,9	29,0	-
Sólidos Totais	mg/L	179,0	182,0	33,0	-
SST	mg/L	6,7	5,1	4,0	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	17,3	17,3	17,3	-
Turbidez	UNT	5,5	4,7	2,89	-
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 3 – 25/05/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	4,17	0,55	0,81	0,19
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	3,5E+05	2,6E+05	8,5E+02	1,0E+02
Condutividade Elétrica	µS/cm	150,3	121,5	44,88	8,60
Cor aparente	uC	268	273	40,7	21
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	19	7	1,0	1
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	1,1E+01	1,3E+01	9,6E+00	1,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	6	1,22	<0,1	<0,1
Nitrato	mg/L	0,39	0,15	0,33	0,37
Nitrito	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NTK	mg/L	0,5	1,5	0,63	0,38
pH	-	7,3	7,2	6,8	5,3
SDT	mg/L	232,7	259,3	100,7	-
Sólidos Totais	mg/L	242	266	102,4	-
SST	mg/L	9,3	6,7	1,7	-
Sulfato	mg/L	5,2	1,56	1,24	0,28
Temperatura	°C	20,5	20,4	20,4	20,4
Turbidez	UNT	4,6	4,6	2,98	1,1
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 4 – 11/06/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	1,59	4,05	0,72	0,16
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	2,5E+05	2,0E+05	2,2E+02	2,1E+02
Condutividade Elétrica	µS/cm	120,6	161,9	32,2	7,30
Cor aparente	uC	306,6	273	40,7	0
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	8	2	6	3
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	8,6E+00	9,8E+00	1,7E+01	2,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	7,13	1,09	<0,1	<0,1
Nitrato	mg/L	0,46	0,50	0,29	0,32
Nitrito	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NTK	mg/L	2	0,6	1,2	5
pH	-	7,3	7,8	7,3	5,6
SDT	mg/L	176,0	330,3	143,0	-
Sólidos Totais	mg/L	186,0	339,0	146,0	-
SST	mg/L	10,0	8,7	3	-
Sulfato	mg/L	2,35	22,68	1,16	0,29
Temperatura	°C	16,1	16,2	16,1	16,1
Turbidez	UNT	3,7	3,8	3,51	1
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 5 – 27/08/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	5,3E+05	2,6E+05	6,9E+03	1,4E+01
Condutividade Elétrica	µS/cm	86,44	221,60	107,30	12,45
Cor aparente	uC	331,00	402,90	142,20	11,20
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	36	28	15,0	2
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	3,6E+01	2,9E+01	4,9E+01	1,4E+01
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	0,7	2,5	2,1	2,1
pH	-	7,0	7,6	7,0	5,1
SDT	mg/L	224,7	171,3	74,0	-
Sólidos Totais	mg/L	234,0	176,0	85,0	-
SST	mg/L	9,3	3,3	11,0	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	19,9	20,0	19,8	19,8
Turbidez	UNT	5,43	0,4	5,38	1,0
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 6 – 18/09/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	<0,005	<0,005	0,01	<0,005
Cloretos	mg/L	12,96	23,81	11,48	0,76
Cobre	mg/L	0,01	<0,002	<0,002	<0,002
Coliformes totais	NMP/100 mL	2,3E+04	3,0E+05	6,5E+04	1,1E+01
Condutividade Elétrica	µS/cm	141,8	274	122,30	20,40
Cor aparente	uC	403,3	458,4	317,60	9,30
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	10	-	16,0	4
Dureza	mg/L	71,5	142,8	41,5	<2
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	0,0E+00	1,5E+02	5,4E+01	0,0E+00
Ferro	mg/L	0,06	0,01	<0,006	0,01
Fosfato	mg/L	6,62	1,53	0,82	<0,1
Nitrato	mg/L	2,91	1,12	0,29	2,22
Nitrito	mg/L	0,11	0,12	<0,05	0,11
NTK	mg/L	1,63	5,75	3,25	0,75
pH	-	7,5	7,7	7,2	4,5
SDT	mg/L	271,5	348,5	197	-
Sólidos Totais	mg/L	277,0	352,0	209,0	-
SST	mg/L	5,5	3,5	12	-
Sulfato	mg/L	5,12	21,6	2,99	1,68
Temperatura	°C	14,8	14,8	14,6	14,6
Turbidez	UNT	4,8	0,5	8,66	5,32
Zinco	mg/L	0,01	<0,006	0,01	0,01

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 7 – 22/09/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	0,40	1,48	0,70	0,25
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	1,0E+05	1,1E+05	4,4E+01	1,0E+00
Condutividade Elétrica	µS/cm	103,0	174,90	57,76	29,45
Cor aparente	uC	260,4	344,60	166,00	23,70
Cor verdadeira	uC	-	-	-	-
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	40	50	3,5	6
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	6,3E+02	2,6E+01	4,4E+01	0,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	6,15	1,1	<0,1	<0,1
Nitrato	mg/L	0,47	0,46	1,54	1,98
Nitrito	mg/L	<0,05	<0,05	0,12	0,18
NTK	mg/L	2	2	1,5	1,63
pH	-	7,0	7,6	7,0	5,1
SDT	mg/L	189,5	130,5	67,0	-
Sólidos Totais	mg/L	196,0	133,0	72,0	-
SST	mg/L	6,5	2,5	5,0	-
Sulfato	mg/L	0,56	5,91	1,3	1,15
Temperatura	°C	22,4	22,4	22,3	22,4
Turbidez	UNT	6,9	0,7	5,63	5,0
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 8 – 08/10/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cloretos	mg/L	0,24	0,81	0,37	0,12
Cobre	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	1,1E+01
Condutividade Elétrica	µS/cm	56,62	131	38,9	15,2
Cor aparente	uC	194,1	233,9	66,8	10,1
Cor verdadeira	uC	101,6	178,7	24,2	4,7
Cromo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
DBO _{5,20}	mg/L	10	20	5	2
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	4,1E+00	3,4E+01	3,1E+00	0,0E+00
Ferro	mg/L	0,03	0,04	<0,006	<0,006
Fosfato	mg/L	4,69	0,96	<0,1	<0,1
Nitrato	mg/L	0,38	0,44	0,77	0,99
Nitrito	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NTK	mg/L	2,6	1,9	1,6	1,4
pH	-	7,2	7,8	7,2	4,8
SDT	mg/L	74,7	86,7	38,3	-
Sólidos Totais	mg/L	77,0	87,0	39,0	-
SST	mg/L	2,3	0,3	0,7	-
Sulfato	mg/L	0,40	5,81	0,72	0,53
Temperatura	°C	20,1	20,2	20,1	20,1
Turbidez	UNT	11,9	3,2	2,3	1,0
Zinco	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 9 – 15/10/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	9,6E+02
Condutividade					
Elétrica	µS/cm	74,6	159,8	52,4	13,7
Cor aparente	uC	178,80	255,50	121,60	31,90
Cor verdadeira	uC	129,60	235,80	82,10	15,10
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	12,0	20,0	10,0	4,0
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	1,0E+00	6,8E+01	6,2E+00	0,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	-	-	-	-
pH	-	7,6	7,8	7,1	5,5
SDT	mg/L	101,0	135,0	33,5	-
Sólidos Totais	mg/L	106,0	137,0	37,0	-
SST	mg/L	5,0	2,0	3,5	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	24,3	24,3	24,3	24,4
Turbidez	UNT	7,1	1,4	3,5	3,4
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 10 – 31/10/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	9,1E+02
Condutividade Elétrica	µS/cm	75,61	156,3	49,69	11,12
Cor aparente	uC	234,9	268,6	65,9	6,2
Cor verdadeira	uC	194,7	249,6	42,0	2,8
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	6	3	3	2
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	1,4E+02	2,7E+01	5,2E+00	0,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	1,25	4,69	-	-
pH	-	7,4	7,9	7,2	6,2
SDT	mg/L	125,3	149,0	42,3	-
Sólidos Totais	mg/L	132,0	153,0	46,0	-
SST	mg/L	6,7	4,0	3,7	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	18,0	18,1	18,0	18,1
Turbidez	UNT	9,45	2,3	1,35	0,26
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 11 – 05/11/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cloretos	mg/L	1,59	4,84	3,11	0,20
Cobre	mg/L	0,009	0,006	0,004	<0,002
Coliformes totais	NMP/100 mL	-	-	-	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	77,15	167,50	63,41	5,54
Cor aparente	uC	197,5	279,5	130,9	0,0
Cor verdadeira	uC	178,4	258,3	98,6	0,0
Cromo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
DBO _{5,20}	mg/L	4	3	1,5	3
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	-	-	-	-
Ferro	mg/L	0,085	0,05	0,02	0,007
Fosfato	mg/L	5,12	0,72	0,20	<0,1
Nitrato	mg/L	0,28	0,45	0,23	0,40
Nitrito	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NTK	mg/L	3,63	4	2,63	1,88
pH	-	7,3	7,9	7,2	6,5
SDT	mg/L	116,0	167,3	74,3	-
Sólidos Totais	mg/L	125,0	170,0	79,0	-
SST	mg/L	9,0	2,7	4,7	-
Sulfato	mg/L	0,43	8,67	1,13	0,37
Temperatura	°C	16,3	16,4	16,1	16,5
Turbidez	UNT	6,66	0,74	1,92	0,75
Zinco	mg/L	0,011	0,024	0,018	0,007

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 12 – 10/11/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	-	-	-	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	66,29	140,7	51,36	6,34
Cor aparente	uC	257,8	268,9	74,4	0,0
Cor verdadeira	uC	217,1	244,3	57,6	0,0
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	6	5	3	4
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	3,63	4,00	2,63	1,88
pH	-	7,3	7,7	7,3	5,3
SDT	mg/L	135,0	189,0	82,3	-
Sólidos Totais	mg/L	141,0	192,0	83,0	-
SST	mg/L	6,0	3,0	0,7	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	24,5	25,0	24,2	24,4
Turbidez	UNT	12,60	2,14	0,65	0,02
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 13 – 17/11/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	3,9E+00
Condutividade Elétrica	µS/cm	59,01	178,30	76,03	12,82
Cor aparente	uC	267,0	279,8	144,8	3,5
Cor verdadeira	uC	242,5	263,9	110,2	0,4
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	3	8	2	4
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	1,72E+02	3,9E+01	2,5E+01	0,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	1,13	3,38	1,13	0,13
pH	-	7,5	7,9	7,2	5,1
SDT	mg/L	114,7	214,3	51,7	-
Sólidos Totais	mg/L	117,0	215,0	54,0	-
SST	mg/L	2,3	0,7	2,3	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	23,2	23,4	23,1	23,8
Turbidez	UNT	9,33	0,91	0,88	0,50
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 14 – 02/12/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	<0,005	<0,005	0,006	<0,005
Cloretos	mg/L	4,91	6,78	1,88	0,12
Cobre	mg/L	0,034	0,017	0,014	0,020
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	2,3E+01
Condutividade Elétrica	µS/cm	87,7	136,6	39,0	6,27
Cor aparente	uC	325,4	301,9	81,2	0,0
Cor verdadeira	uC	214,1	227,2	62,0	0,0
Cromo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
DBO _{5,20}	mg/L	3	8	2	4
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	2,9E+02	1,2E+02	5,4E+01	0,0E+00
Ferro	mg/L	0,353	0,086	0,022	0,034
Fosfato	mg/L	6,27	1,03	0,21	<0,1
Nitrato	mg/L	3,59	0,38	0,15	0,37
Nitrito	mg/L	0,07	0,09	<0,05	<0,05
NTK	mg/L	-	-	-	-
pH	-	7,0	7,5	7,2	5,7
SDT	mg/L	161,7	179,0	77,3	-
Sólidos Totais	mg/L	179,0	187,0	82,0	-
SST	mg/L	17,3	8,0	4,7	-
Sulfato	mg/L	4,26	9,93	0,67	0,41
Temperatura	°C	22,4	22,3	22,3	22,5
Turbidez	UNT	12,7	5,3	1,1	0,02
Zinco	mg/L	0,084	0,051	0,045	0,009

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 15 – 10/12/2015			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	9,6E+02
Condutividade Elétrica	µS/cm	106,5	185,6	42,8	5,63
Cor aparente	uC	292,2	361,0	125,5	3,3
Cor verdadeira	uC	247,9	322,5	97,5	3,0
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	16	9	7	1
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	9,7E+00	8,8E+01	5,5E+01	0,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	-	-	-	-
pH	-	7,3	7,8	7,0	5,0
SDT	mg/L	214,3	236,3	69,0	-
Sólidos Totais	mg/L	223,0	245,0	76,0	-
SST	mg/L	8,7	8,7	7,0	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	20,4	20,9	20,6	21,1
Turbidez	UNT	5,3	1,7	1,1	0,02
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 16 – 30/01/2016			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cloretos	mg/L	4,99	9,23	0,57	0,09
Cobre	mg/L	0,022	0,016	0,017	<0,002
Coliformes totais	NMP/100mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	1,8E+02
Condutividade Elétrica	µS/cm	100,9	113,1	24,3	13,2
Cor aparente	uC	335,1	293,6	55,2	8,5
Cor verdadeira	uC	133,1	229,9	34,0	6,3
Cromo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
DBO _{5,20}	mg/L	19,0	11,0	3,5	2,3
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	9,8E+01	4,83E+01	9,70E+00	0,0E+00
Ferro	mg/L	0,156	0,096	0,015	<0,006
Fosfato	mg/L	4,83	1,59	<0,1	<0,1
Nitrato	mg/L	18,65	0,16	0,04	0,76
Nitrito	mg/L	2,22	<0,05	<0,05	<0,05
NTK	mg/L	1,50	6,37	1,87	2,25
pH	-	6,5	7,1	6,8	5,9
SDT	mg/L	149,7	164,3	31,7	-
Sólidos Totais	mg/L	165,0	166,0	34,0	-
SST	mg/L	15,3	1,7	2,3	-
Sulfato	mg/L	9,48	11,9	0,31	0,23
Temperatura	°C	23,9	23,8	22,8	24,0
Turbidez	UNT	13,5	3,5	1,6	0,4
Zinco	mg/L	0,084	0,051	0,045	0,009

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 17 – 04/02/2016			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	-	-	-	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	145,50	220,40	56,68	8,44
Cor aparente	uC	285,5	321,5	314,0	1,0
Cor verdadeira	uC	275,8	318,7	285,2	0,9
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	-	-	-	-
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	-	-	-	-
pH	-	7,7	7,8	7,2	6,0
SDT	mg/L	248,3	284,3	112,3	-
Sólidos Totais	mg/L	251,0	286,0	118,0	-
SST	mg/L	2,7	1,7	5,7	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	25,7	26,1	24,8	29,5
Turbidez	UNT	1,21	0,41	3,90	0,19
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 18 – 18/02/2016			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	-	-	-	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	123,4	227,1	67,4	9,73
Cor aparente	uC	251,2	383,6	86,9	0,0
Cor verdadeira	uC	230,0	367,0	53,3	0,0
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	2,2	6,8	2,8	4,5
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	-	-	-	-
pH	-	7,6	7,9	7,2	6,6
SDT	mg/L	224,0	276,7	64,3	-
Sólidos Totais	mg/L	227,0	279,0	69,0	-
SST	mg/L	3,0	2,3	4,7	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	23,5	23,6	23,2	22,5
Turbidez	UNT	1,43	0,06	2,36	0,15
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 19 – 21/03/2016			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	>2.4E+03	>2.4E+03	>2.4E+03	2,1E+02
Condutividade Elétrica	µS/cm	82,93	164,30	49,71	16,68
Cor aparente	uC	241,3	281,4	62,7	5,1
Cor verdadeira	uC	181,3	251,6	35,5	0,0
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	6,0	6,5	1,0	1,0
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	7,9E+02	4,1E+00	1,1E+01	1,0E+00
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	6,3	5,0	5,4	5,5
pH	-	7,4	7,9	7,4	6,9
SDT	mg/L	156,0	181,0	48,0	-
Sólidos Totais	mg/L	163,0	184,0	52,0	-
SST	mg/L	7,0	3,0	4,0	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	20,3	20,6	20,3	20,3
Turbidez	UNT	6,28	1,16	1,55	0,26
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais

Parâmetro	Unidade	Amostras evento 20 – 07/04/2016			
		TV1	TV2	TC	Chuva
Chumbo	mg/L	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	-	-	-	-
Cobre	mg/L	-	-	-	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	-	-	-	-
Condutividade Elétrica	µS/cm	94,23	183,34	50,99	11,53
Cor aparente	uC	221,1	355,4	51,9	2,8
Cor verdadeira	uC	198,2	326,0	31,5	0,0
Cromo	mg/L	-	-	-	-
DBO _{5,20}	mg/L	3,0	5,0	1,0	1,5
Dureza	mg/L	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	NMP/100 mL	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-
NTK	mg/L	1,63	0,88	0,88	2,25
pH	-	7,3	7,7	7,3	5,9
SDT	mg/L	136,6	227,0	47,3	-
Sólidos Totais	mg/L	140,0	229,0	50,0	-
SST	mg/L	3,7	2,0	2,7	-
Sulfato	mg/L	-	-	-	-
Temperatura	°C	22,4	22,7	22,7	23,1
Turbidez	UNT	4,36	1,45	1,32	0,62
Zinco	mg/L	-	-	-	-

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais, SST: Sólidos Suspensos Totais