

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MURILO KEITI NAKANO KONO**

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO DE UM TELHADO VERDE LOCALIZADO NA  
CIDADE DE LONDRINA - PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2019**

**MURILO KEITI NAKANO KONO**

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO DE UM TELHADO VERDE LOCALIZADO NA  
CIDADE DE LONDRINA - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

Co-Orientadora: Prof. Ma. Isabela Bruna de Tavares Machado Bolonhesi

**LONDRINA**

**2019**



---

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO DE UM TELHADO VERDE LOCALIZADO NA  
CIDADE DE LONDRINA - PR**

por  
MURILO KEITI NAKANO KONO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 09 de julho de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado)

---

Prof. Me. Ana Paula Cosso Silva Araújo  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Aulus R. R. Bineli  
(UTFPR)

---

Profa. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me proporcionado forças, saúde e perseverança durante todo o curso.

A minha família por todo suporte, compreensão e ajuda desde o começo da minha caminhada.

Ao professor Dr. Ricardo Nagamine Costanzi, meu orientador, que me deu a oportunidade de trabalhar sob sua orientação.

A professora Me. Isabela Bruna de Tavares Machado, minha coorientadora, que me orientou no início do trabalho e continuou até o final dele.

Aos meus amigos que estão comigo desde o ensino fundamental e também, aos amigos que a universidade me apresentou, por todas as conversas e risadas compartilhadas, e que foram responsáveis por proporcionar alegria durante todo o período.

Aos funcionários da universidade, que proporcionaram um ambiente limpo e organizado para o estudo e trabalho.

Ao Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR, por disponibilizar alguns dados utilizados neste presente trabalho.

E a todos que de alguma forma estiveram presentes durante a realização deste trabalho e durante a graduação

## RESUMO

O aumento populacional e a urbanização desorganizada ameaçam constantemente os espaços disponíveis para áreas verdes urbanas, reduzindo áreas permeáveis da cidade e acarretando problemas como: enchentes, ocorrência de ilhas de calor urbano e falta de água e diminuição da qualidade do ar. Portanto, os telhados verdes aparecem como uma solução para minimizar estes impactos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do telhado verde como um bom isolante térmico que proporciona conforto ambiental para os habitantes da edificação. Para possibilitar a redução de recursos naturais e poluição foi realizado a comparação dos inventários de Ciclo de Vida para verificar qual sistema possui menor impacto ao meio ambiente, e assim, permitir o uso de novos projetos com sistemas verdes. O telhado verde estudado possuía 23,01 m<sup>2</sup>, e está localizado no município de Londrina-PR. Como material para a filtração do telhado verde extensivo foi utilizado Manta Geotextil BIDIM, membrana MAPEI Mapelastick Smart altamente elástica utilizada para a impermeabilização; argila expandida para a camada de drenagem; uma camada de substrato e uma camada de vegetação composta pela planta grama-amendoim (*Arachis repens*). As temperaturas do telhado verde foram monitoradas do dia 29/03/2019 ao dia 23/04/2019, 24 horas por dia. Foram registradas diferenças de até 8,5°C entre as temperaturas externas com relação ao sensor de temperatura instalado no interior da casa. No dia 23/04/2019 a temperatura externa era de 30°C e a interna 21,5°C. A eficiência do telhado verde em manter o conforto térmico no interior da casa, pode ser verificada através dessas diferenças de temperatura. Isto comprova que o uso dos telhados verdes altera a temperatura interna da edificação pelo aumento do conforto ambiental e pela capacidade térmica do telhado verde, e também, o telhado verde estudado neste trabalho apresentou-se como menos impactante ao meio ambiente, em comparação a laje maciça.

Palavras-chave: telhado verde, conforto térmico, desempenho ambiental, ilha de calor, avaliação de ciclo de vida

## ABSTRACT

Increased population and disorganized urbanization constantly threaten the space available for urban green areas, reducing permeable areas of the city and causing problems such as: floods, occurrence of urban heat islands and lack of water, decreased air quality. Therefore, green roofs appear as a solution to minimize these impacts. In this sense, the objective of this work was to evaluate the performance of the green roof as a good thermal insulation that provides environmental comfort for the inhabitants of the building. To enable the reduction of natural resources and pollution, the Life Cycle inventories were compared to verify which system has the lowest impact on the environment, and thus allow the use of new projects with green systems. The studied green roof had 23.01 m<sup>2</sup>, and is located in the municipality of Londrina-PR. As material for the filtration of the extensive green roof was used Geotextile BIDIM Blanket, MAPEI Mapelastec Smart highly elastic membrane used for waterproofing; expanded clay to the drainage layer; a substrate layer and a layer of vegetation composed of the plant (*Arachis repens*). Green roof temperatures were monitored from 03/29/2019 to 04/24/2019, 24 hours a day. Differences of up to 8.5°C were registered between external temperatures in relation to the temperature sensor installed inside the house. On 04/23/2019 the external temperature was 30°C and the internal temperature was 21.5°C. The efficiency of the green roof in maintaining the thermal comfort inside the house can be verified through these temperature differences. This proves that the use of green roofs changes the internal temperature of the building by increasing the environmental comfort and thermal capacity of the green roof, also, the green roof studied in this work presented itself as less impacting to the environment, compared to the conventional roof.

Keywords: green roof, thermal comfort, environmental performance, heat island, life cycle assessment

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL</b>	<b>12</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>12</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
<b>3.1. ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS</b>	<b>13</b>
<b>3.2. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS</b>	<b>15</b>
<b>3.3. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA</b>	<b>16</b>
3.3.1. Tipos de drenagem	17
3.3.2. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana	18
<b>3.4. TELHADO VERDE</b>	<b>19</b>
3.4.1. Tipos de telhado verde	20
3.4.2. Telhado verde extensivo	20
3.4.3. Telhado verde intensivo	21
3.4.4. Telhado verde semi-intensivo	21
<b>3.5. BALANÇO DE ENERGIA</b>	<b>21</b>
<b>3.6. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA</b>	<b>23</b>
3.6.1. Definição do objetivo e escopo	24
3.6.2. Análise do inventário de ciclo de vida	25
3.6.3. Avaliação de impacto ambiental	25
3.6.4. Interpretação de resultados	25
<b>3.7. ACV EM TELHADOS VERDES</b>	<b>26</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>4.1. LOCAL</b>	<b>29</b>
<b>4.2. MATERIAIS</b>	<b>30</b>
<b>4.3. COMPOSIÇÃO DO TELHADO</b>	<b>31</b>
<b>4.4. CRITÉRIOS ANALISADOS</b>	<b>31</b>
<b>4.5. QUALIDADE DA ÁGUA</b>	<b>31</b>
4.5.1. Coleta de amostra	31
4.5.2. Procedimentos de análise	31
4.5.3. Qualidade das águas coletadas	32
<b>4.6. TEMPERATURA</b>	<b>33</b>
4.6.1. Coleta de dados	33

4.6.2. Procedimentos de análise .....	34
<b>4.7. BALANÇO DE ENERGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4.8. ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA.....</b>	<b>37</b>
4.8.1. Acidificação .....	38
4.8.2. Depleção de ozônio .....	38
4.8.3. Ecotoxicidade.....	38
4.8.4. Eutrofização .....	38
4.8.5. Mudanças climáticas.....	39
4.8.6. Toxicidade humana.....	39
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1. QUALIDADE DA ÁGUA COLETADA .....</b>	<b>39</b>
5.1.1. pH .....	40
5.1.2. Turbidez .....	41
5.1.3. Cor .....	41
5.1.4. Condutividade elétrica.....	41
5.1.5. Nitrogênio e Fósforo.....	42
5.1.6. Ferro .....	42
5.1.7. DQO .....	43
5.1.8. Sólidos .....	43
<b>5.2. TEMPERATURA DO AMBIENTE E DO TELHADO VERDE .....</b>	<b>44</b>
5.2.1. Análise da temperatura ambiente e a radiação.....	44
5.2.2. Análise da temperatura ambiente e a velocidade do vento.....	45
5.2.3. Análise de temperatura, umidade relativa e precipitação.....	46
5.2.4. Análise temperatura ambiente, temperatura do telhado e temperatura no interior da casa.....	47
5.2.5. Temperatura mais quente e temperatura mais baixa .....	48
5.2.6. Cálculo de gastos com energia elétrica.....	56
<b>5.3. BALANÇO DE ENERGIA .....</b>	<b>57</b>
<b>5.4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA .....</b>	<b>65</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Mapa de classificação climática do Brasil.....	14
<b>Figura 2:</b> Estrutura de um telhado verde em camadas .....	20
<b>Figura 3:</b> Estrutura de uma ACV.....	24
<b>Figura 4:</b> Telhado verde da residência.....	30
<b>Figura 5:</b> Posicionamento dos sensores de temperatura.....	33
<b>Figura 6:</b> Temperatura ambiente do sensor e radiação solar .....	45
<b>Figura 7:</b> Temperatura ambiente do sensor, temperatura interna da casa e velocidade do vento .....	46
<b>Figura 8:</b> Temperatura ambiente, temperatura interna da casa, precipitação e umidade relativa .....	47
<b>Figura 9:</b> Temperatura ambiente x Temperatura Telhado Verde.....	48
<b>Figura 10:</b> Dia com a temperatura mais quente.....	49
<b>Figura 11:</b> Dia com a temperatura mais baixa .....	49
<b>Figura 12:</b> Dia com maior variação positiva de temperatura entre TSF e IC .....	50
<b>Figura 13:</b> Dia com maior variação negativa de temperatura entre TSF e IC.....	51
<b>Figura 14:</b> Comparação dos dados de Temperatura dos sensores com dados de Temperatura da SIMEPAR .....	52
<b>Figura 15:</b> Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 29/03 a 04/04/2019.....	53
<b>Figura 16:</b> Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 05/04/2019 a 11/04/2019 .....	53
<b>Figura 17:</b> Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 12/04/2019 a 18/04/2019 .....	54
<b>Figura 18:</b> Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 19/04/2019 a 23/04/2019 .....	54
<b>Figura 19:</b> Diferença entre temperatura ambiente e interior da casa.....	55
<b>Figura 20:</b> Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 29/03/2019 a 04/04/2019 .....	57
<b>Figura 21:</b> Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 05/04/2019 a 11/04/2019 .....	58
<b>Figura 22:</b> Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 12/04/2019 a 18/04/2019 .....	58
<b>Figura 23:</b> Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 19/04/2019 a 23/04/2019 .....	59

<b>Figura 24:</b> Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 29/03/2019 a 04/04/2019.....	<b>60</b>
<b>Figura 25:</b> Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 05/04/2019 a 11/04/2019.....	<b>61</b>
<b>Figura 26:</b> Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 12/04/2019 a 18/04/2019.....	<b>61</b>
<b>Figura 27:</b> Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 19/04/2019 a 23/04/2019.....	<b>62</b>
<b>Figura 28:</b> Histograma de Capacidade térmica do telhado verde no período diurno .....	<b>64</b>
<b>Figura 29:</b> Histograma de Capacidade térmica do telhado verde no período noturno .....	<b>64</b>
<b>Figura 30:</b> Comparação de acidificação terrestre dos sistemas .....	<b>66</b>
<b>Figura 31:</b> Comparação de depleção de ozônio dos sistemas .....	<b>67</b>
<b>Figura 32:</b> Comparação de ecotoxicidade em água doce dos sistemas.....	<b>67</b>
<b>Figura 33:</b> Comparação de ecotoxicidade marinha dos sistemas.....	<b>68</b>
<b>Figura 34:</b> Comparação de ecotoxicidade terrestre dos sistemas .....	<b>68</b>
<b>Figura 35:</b> Comparação de eutrofização em água doce dos sistemas .....	<b>69</b>
<b>Figura 36:</b> Comparação de mudanças climáticas dos sistemas .....	<b>69</b>
<b>Figura 37:</b> Comparação de toxicidade humana dos sistemas .....	<b>70</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Classificação climática para o Brasil .....	14
<b>Quadro 2:</b> Materiais e as respectivas quantidades utilizadas .....	31
<b>Quadro 3:</b> Parâmetro mensurado e equipamento utilizado.....	32
<b>Quadro 4:</b> Diretrizes utilizadas para comparação da qualidade das águas escoadas pelo telhado verde .....	32
<b>Quadro 5:</b> Classificação do uso de águas para fins não potáveis.....	33
<b>Quadro 6:</b> Equações para calcular termos da Equação 3.....	35
<b>Quadro 7:</b> Materiais utilizados na literatura e respectivos autores.....	37
<b>Quadro 8:</b> Valores obtidos na análise físico-química da água .....	40
<b>Quadro 9:</b> Comparação de médias de radiação com Palmeira (2016) .....	59
<b>Quadro 10:</b> Comparação com os valores do mês de Abril.....	63
<b>Quadro 11:</b> Impactos do sistema Telhado Verde.....	65
<b>Quadro 12:</b> Impactos do sistema de Laje Maciça .....	66
<b>Quadro 13:</b> Contribuição de cada material para os impactos analisados de telhado verde .....	70
<b>Quadro 14:</b> Contribuição de cada material para os impactos analisados da laje maciça .....	71

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a urbanização ameaçam constantemente os espaços disponíveis para áreas verdes urbanas. O processo de construção de novos loteamentos e ocupação de áreas periféricas de forma desorganizada tem gerado problemas como: enchentes em épocas de precipitação intensa, aumento de temperatura em escala mesoclimática, ocorrência de ilhas de calor urbano e falta de água (JÚNIOR *et al.*, 2013).

Nos últimos anos, a compactação e impermeabilização do solo diminuíram drasticamente as áreas permeáveis das cidades. Uma solução eficiente que está sendo utilizada, principalmente na Europa, como um meio de minimizar estes impactos é o telhado verde (SILVA, 2011). O sistema de cobertura vegetal em telhados pode contribuir com a redução do volume de água escoada superficialmente para áreas de drenagem, através de processos de interceptação, armazenamento de água no solo e evapotranspiração (YANG *et al.*, 2008).

O uso de coberturas verdes também contribui no combate às ilhas de calor devido a impermeabilização com materiais cimentícios e asfálticos (NIACHOU, 2001), que, por sua vez, aumentam o consumo de energia no interior das construções. Por isso, faz-se necessário o desenvolvimento de estruturas que consigam promover um conforto térmico atendendo os requisitos de envoltura da edificação (ASCIONE, 2013).

Pode-se incluir como benefícios secundários do telhado verde: melhora da qualidade do ar como sequestrador de poluentes (YANG *et al.*, 2008), aumento da biodiversidade e habitats perdidos em áreas urbanizadas (KIM, 2004) e qualidade de vida.

Segundo a *National Roofing Contractors Association - NRCA* (2008), o telhado verde é, por definição, uma vegetação aplicada em um substrato instalado em qualquer nível impermeabilizado da estrutura construída. Geralmente, suas camadas são constituídas de um sistema de impermeabilização, uma barreira de proteção das raízes, uma camada de drenagem, uma camada de isolamento térmico, substrato e vegetação.

Para a construção de um telhado verde é necessário um estudo prévio, com avaliação do tipo de vegetação a ser inserida, os diferentes materiais utilizados no sistema, o tipo de isolante térmico e hidráulico, bem como a avaliação da quantidade de água retida no solo e a estrutura do local de instalação do telhado, verificando a necessidade de adaptações e reforços para a área estrutural (ALBERTO, 2013).

Apesar das vantagens citadas, o real potencial do telhado verde em relação à sustentabilidade ambiental deve ser mensurado, pois haverá impacto ambiental devido ao

uso de matérias-primas durante a produção e geração de resíduos (CONTARINI et al., 2015).

A fim de mensurar o desempenho ambiental total de um edifício e a quantificação dos impactos, considerando uma larga faixa de categorias de danos, a ferramenta mais apropriada é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que segundo ABNT NBR ISO 14040 (2009), é um método no qual o produto ou processo é avaliado em todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas, etapa de produção, fase de utilização, manutenção até a eliminação de resíduos. Com este trabalho, será possível realizar o levantamento de impactos da produção de cada material de um Telhado Verde

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho energético de um telhado verde localizado na região sul do Brasil, na cidade de Londrina – Paraná.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Levantar o inventário de impactos de um sistema de cobertura convencional e de telhado verde;
- Caracterizar a qualidade da água na saída do telhado;
- Verificar o conforto térmico proporcionado pelo sistema de TEV.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS

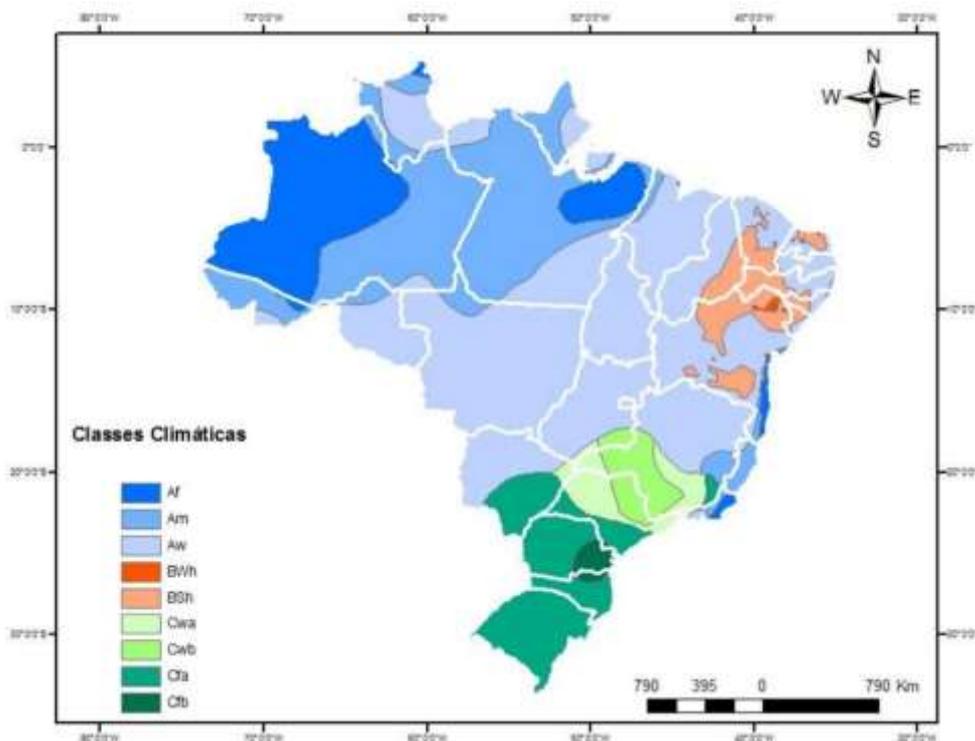
As primeiras análises observacionais climáticas começaram a partir do século XIX, devido a influência do processo de urbanização. A importância do estudo sobre climas aumentou devido a maior interferência de ações antropogênicas, onde essas ações resultaram em mudanças no clima local (LOMBARDO, 1985). Assim, as trocas de calor que ocorrem no interior das áreas urbanas são responsáveis pela formação de ilhas de calor (OKE, 2005).

De acordo com Cruz *et al.* (2001), as alterações climáticas se tornam importantes na medida que interferem na atividade humana, no espaço e sua organização, qualidade de vida, conforto ambiental e equilíbrio do ambiente.

O sistema de classificação climática proposto por Koppen (1900) é utilizado mundialmente em sua versão original. O método se baseia no pressuposto de que a vegetação natural é a melhor expressão do clima de uma região (ROLIM *et al.*, 2007). São considerados também os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação.

O mapa do Brasil definido por Koppen-Geiger apresentado na Figura 1 foi construído a partir de dados mensais de temperatura do ar e de precipitação pluvial, e o dividiu em nove classes climáticas, como consta no Quadro 1.

**Figura 1:** Mapa de classificação climática do Brasil.



Fonte: Da Silva Sampaio *et al.* (2011).

**Quadro 1:** Classificação climática para o Brasil

<b>Tipos climáticos de Koppen-Geiger</b>	
Af	Equatorial úmido
Am	Tropical de monção (chuvas no verão)
Aw	Tropical de savana com estação seca de inverno
BWh	Árido desértico seco e quente
BSh	Semi árido seco e quente
Cfa	Temperado úmido com verão quente
Cfb	Temperado úmido com verão temperado
Cwa	Temperado úmido com inverno seco e verão quente
Cwb	Temperado úmido com inverno seco e verão morno

Fonte: Da Silva Sampaio *et al.* (2011).

O mapa ilustrado na Figura 1, classifica o estado do Paraná, em maior parte como Temperado úmido com verão quente (Cfa) e uma pequena porção como Temperado úmido com verão temperado (Cfb). A cidade de Londrina, localizada ao norte Paraná, possui clima

temperado úmido com verão quente e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão (MAACK, 1968).

Ter conhecimento a respeito das condições pluviométricas da região é de suma importância para proteger a comunidade de possíveis calamidades decorrentes de inundações. Com essa informação é possível realizar o mapeamento de áreas de risco propensas à enchentes, e assim, implementar programas, projetos e obras com caráter preventivo visando evitar o acontecimento de maiores inconveniências.

Segundo Justino et al. (2011), dentre os fatores climáticos destacam-se a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido atinge-se a capacidade de infiltração da água no solo provocando um excesso de precipitação que escoar superficialmente, além da duração, que é diretamente proporcional ao escoamento.

Os fatores que influenciam o escoamento superficial podem ser de ordem climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia (TREVISOL, 2002).

Em relação aos índices pluviométricos da área de estudo do presente trabalho, segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Londrina (2015), a temperatura média anual do município é de 22°C. Nos meses mais quentes, a temperatura média é de 28°C e nos meses mais frios, a média é inferior a 18°C. A faixa de precipitação no ano é de 1.400 a 1.600 mm, sendo que a faixa de precipitação nos meses menos chuvosos, junho a agosto é de 225 a 250 mm e nos meses mais chuvosos, dezembro a fevereiro, é de 500 a 600 mm.

### **3.2. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**

O crescimento urbano implica em alterações na cobertura e configuração do solo natural, a implantação de diferentes tipos de estruturas como casas, prédios, calçadas e ruas pavimentadas começam a delimitar unidades de ocupação. Em conjunto com o desenvolvimento urbano, a impermeabilização do solo, modifica a ocorrência natural do ciclo hidrológico (CRUZ et al., 2001).

Um ambiente que antes era rural, e agora está impermeabilizado direciona a água pluvial a um escoamento superficial, devido à redução de infiltração, evaporação e interceptação, além de provocar aceleração do movimento da água dentro da bacia (CRUZ

et al., 2001). De acordo com Tucci (2008), as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude em função do aumento de áreas impermeabilizadas e da construção da rede de condutos pluviais.

A impermeabilização é um fator importante para se considerar ao realizar o gerenciamento dos impactos causados pelo desenvolvimento urbano nos sistemas de drenagem (LEE, HEANEY, 2003). Tucci (2008) cita como impactos gerados pelo processo de urbanização o aumento de vazões máximas em várias vezes e da sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento por canais e impermeabilização da superfície, o aumento na produção de sedimentos pela falta de proteção das superfícies e geração de resíduos sólidos, a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea em detrimento do lançamento de substâncias químicas através de produtos de higiene, transporte de materiais sólidos e de ligações clandestinas de esgoto sanitário e pluvial.

As enchentes e inundações são impactos ambientais resultantes do processo de impermeabilização do solo, relacionados ao escoamento superficial. Enchentes são resultados de precipitação hídrica sobre a bacia hidrográfica. A parte que não se infiltra no solo escoar pela superfície até encontrar um curso d'água, que, por sua vez, ao receber a sobrecarga tem sua vazão aumentada (TUCCI, 2008). Dessa forma, as concentrações urbanas favorecem as enchentes devido à ocupação do espaço e uso inapropriado do solo, sobretudo devido às condições ineficientes de drenagem urbana.

### **3.3. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

Canholi (2005) cita como causas das inundações, a quase total impermeabilização dos solos nas zonas urbanas, os sistemas de drenagem de águas pluviais ineficientes, acúmulo de resíduos sólidos e outros detritos em bocas de lobo e corpos d'água que impedem o escoamento normal das águas, sistema de alertas lentos, pouco abrangentes e ineficientes e à gerência inadequada ou a não existência de outros mecanismos que minimizem o escoamento superficial em áreas impermeabilizadas.

Zimmermann et al. (2016) constataram em seu trabalho que o aumento da impermeabilização do solo em conjunto com o aumento de precipitação devido às consequências da mudança climática, resultam em um aumento de escoamento superficial. E concluíram que aumentar as áreas verdes, é uma forte estratégia para adaptar o clima local e as mudanças urbanas.

Para minimizar os efeitos da urbanização no ciclo hidrogeológico, a engenharia começa a realizar o planejamento dos sistemas de drenagem urbana e de medidas de controle, que atuam em diversas escalas.

### 3.3.1. TIPOS DE DRENAGEM

De acordo com Tucci (1995), os sistemas de drenagem urbana são constituídos de duas partes:

- **Microdrenagem:** Promovem o escoamento das águas de chuvas em área urbana por meio das redes coletoras. Ao chegarem às ruas as águas se concentram nas sarjetas até alcançarem as bocas de lobo. A partir destas estruturas de captação as águas escoam abaixo do nível da rua, por meio dos tubos de ligações sendo encaminhados aos poços de visitas e às galerias de águas pluviais.

- **Macro drenagem:** Representam grandes troncos coletores relativos aos canais e galerias localizados nos fundos de vale. As obras de macro drenagem visam melhorar as condições de escoamento das águas, de forma a atenuar os problemas de erosões, assoreamento e inundações ao longo dos principais canais nos fundos de vales.

De acordo com Canholi (2005), as novas tecnologias para sistemas de drenagem têm por objetivo retardar os escoamentos da água pluvial, propiciando: retenção das águas pluviais em sistemas de armazenamento, amortecimento de vazões de pico e redução de volumes de enchentes.

Cruz *et al.* (1998), define reservatórios de detenção como dispositivos de armazenamento que permitem o retardo do escoamento, possibilitando a recuperação da capacidade de amortecimento que a bacia perdeu devido à impermeabilização. Estes dispositivos podem ser pequenos reservatórios residenciais, áreas esportivas e estacionamentos que possam armazenar água para irrigação de grama, lavagem de automóveis e superfícies, por exemplo (CRUZ *et al.*, 1998).

Convencionalmente define-se a microdrenagem como a responsável pela captação da água pluvial em toda a bacia e pela sua condução até a macro drenagem, lançadas em cursos d'água naturais, no oceano, em lagos ou até em solos bastante permeáveis (VIEIRA *et al.*, 2011; CAVALHEIRO, 2008).

Com isso, convencionalmente, os sistemas de drenagem urbana devem ser destinados a recolher as águas pluviais precipitadas que escorrem sobre a superfície de

uma região, e conduzir a um destino final. O problema deste conceito seria a sua solução baseada apenas no cálculo de vazões e dimensionamento de condutos e galerias (SOUZA, 2013).

### **3.3.2. SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA**

O desenvolvimento em geral, deve ser relacionado com um processo de formulação de políticas que permitem um desenvolvimento sustentável sob o ponto de vista econômico, social e ecológico. Deve haver suficiente inversão na educação e saúde da população de maneira a não criar uma dívida social para as gerações futuras. E os recursos naturais devem ser utilizados de maneira a não criar dívidas ecológicas, por excesso de exploração da capacidade de sustento e da capacidade produtiva da Terra (PRONK e HAQ, 1992).

Assim, durante as últimas décadas, surgiu o termo drenagem urbana sustentável. De acordo com Poletto (2012), dentre os sistemas sustentáveis que estão sendo desenvolvidos e implementados, pode-se destacar:

- Pavimentos permeáveis;
- Pavimentos semipermeáveis;
- Reservatórios de detenção e retenção;
- Trincheiras de infiltração;
- Poços de infiltração;
- Micro reservatórios;
- Reservatórios de telhado;
- Reservatórios Subterrâneos;
- Tiras de gramado;
- Coberturas Verdes ou Telhados Verdes;

Estes dispositivos adotados em sistemas de drenagem procuram mitigar os efeitos da urbanização por meio da redução do escoamento superficial e preveem aumentos significativos nas taxas de infiltração.

Os sistemas citados podem ser utilizados em conjunto ou separados, dependendo do projeto a ser escolhido, visando necessidades e possibilidades do local, além do que, deve proporcionar boa relação custo/benefício com viés socioambiental. No geral, os sistemas possuem resultado significativo quando aplicados em conjunto (POLETO, 2012).

A perspectiva da sustentabilidade associada à drenagem urbana introduz uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade (POMPEO, 2000).

### 3.4. TELHADO VERDE

Telhados verdes são estruturas que podem retardar provisoriamente as águas de chuva e encaminhá-las às redes de drenagem ou a outro exutório, na medida em que o solo satura e sua capacidade de armazenamento diminui. A capacidade de armazenagem limita-se às dimensões do telhado (PINTO & PINHEIRO, 2011).

O paisagismo apresentado por telhados verdes, aliado à redução das temperaturas internas das edificações, amenização da temperatura externa gerado por ilhas de calor nas grandes cidades, pode ajudar a controlar o efeito estufa, melhorar a qualidade do ar por meio da fotossíntese, e reduzir o escoamento de águas pluviais para as vias públicas (D'ELIA, 2009).

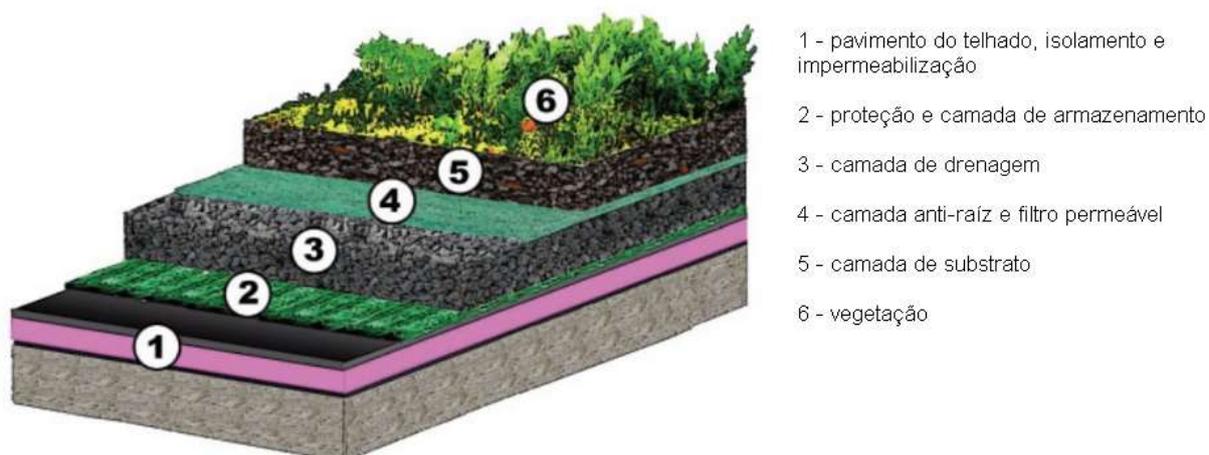
De acordo com Pérez *et al.* (2001), os telhados verdes são geralmente formados pelas seguintes camadas, ilustradas na Figura 2:

- Camada de vegetação;
- Camada de substrato: solo, o qual fornece nutrientes e tem a capacidade de reter água;
- Camada de filtro: Normalmente geotêxteis de polipropileno ou membranas de poliéster
- Camada de drenagem: deve ser capaz de reter água quando chove e assegurar uma boa drenagem e arejamento do substrato e das raízes. Utilizam-se principalmente materiais de pedra porosa, como argila expandida, xisto expandido, pedra-pomes e pozolana natural.
- Camada de proteção: Proporciona uma proteção mecânica das camadas

mais baixas, especialmente para a camada de impermeabilização.

- Barreira de Raiz e camada de impermeabilização: Protege o edifício da ação das raízes e da água, evitando o problema de infiltração. Normalmente são utilizados materiais betuminosos, membranas de PVC e outros feitos com borracha sintética ou polietileno.

**Figura 2:** Estrutura de um telhado verde em camadas



**Fonte:** Adaptado de Snodgrass e McIntyre (2010).

### 3.4.1. TIPOS DE TELHADO VERDE

Há três tipos de telhado verde: telhado verde extensivo, telhado verde intensivo, e telhado verde semi-intensivo (YANG, 2008).

### 3.4.2. TELHADO VERDE EXTENSIVO

Yang (2008) explica que os telhados verdes extensivos, são montados com plantas de baixa altura e lento crescimento, possuem uma profundidade média menor que 15 cm. São caracterizados por exigir pouca ou nenhuma manutenção e podem ser estabelecidos por meio de tapetes vegetais pré-fabricados e sementeira de sementes. Geralmente são colonizados por musgos, suculentas, flores silvestres e gramíneas que podem sobreviver no baixo nível de nutrientes nos substratos (SPALA *et al*, 2008; BERNDTSSON 2010; JIM AND TSANG, 2011; ASCIONE *et al*. 2013).

### 3.4.3. TELHADO VERDE INTENSIVO

Telhados verdes intensivos possuem uma camada mais grossa de solo, precisam de irrigação, e possuem grande retenção de água, além de que apresentam condições férteis para as plantas. A espessura de substrato varia entre 15 e 50 cm (PEREIRA, 2014). Silva *et al.* (2016) defende que a espessura do telhado verde intensivo varie entre 15 e 70 cm. Neste sistema, são cultivadas plantas herbáceas, arbustos, gramíneas, e em alguns casos, até árvores. Para Catalano *et al.* (2016), é preciso uma manutenção frequente e irrigação contínua.

O peso desse tipo de telhado é maior do que os telhados convencionais. Por isso faz-se necessário realizar um estudo sobre a estrutura, e se for preciso, fazer modificações estruturais para reforçá-la (SPALA *et al.*, 2008; BERNDTSSON 2010; JIM AND TSANG, 2011; ASCIONE *et al.*, 2013).

### 3.4.4. TELHADO VERDE SEMI-INTENSIVO

O telhado verde semi-intensivo é uma combinação entre o extensivo e o intensivo, com 25% de área de telhado extensivo, ou menos (YANG, 2008). Segundo Catalano *et al.* (2016), semi-intensivo é um tipo intermediário de telhado verde com espessura de substrato que varia entre 15 e 20 cm. É composto por gramíneas e plantas de médio porte.

## 3.5. BALANÇO DE ENERGIA

Os telhados ocupam uma fração considerável do total da área da superfície terrestre, isso significa que possuem propriedades físicas importantes que determinam o clima urbano. Os telhados convencionais, contribuem diretamente no efeito de ilha de calor e nos alagamentos. Para o proprietário de uma construção, um telhado escuro resulta em taxas de consumo de energia mais altas durante períodos com temperatura mais elevada, devido a energia utilizada para o resfriamento. Os telhados verdes aplicados em larga escala podem mitigar esses problemas por possuir valores de albedo moderadamente maiores e podem reter água, que posteriormente é evapotranspirada para a atmosfera (Gaffin *et al.*, 2010).

Uma metodologia simples, chamada Balanço de energia, está disponível para estudar a influência de telhados no efeito de ilha de calor e no consumo de energia das construções (OKE, 1987). É também uma forma de avaliar as respostas do ecossistema às

condições ambientais, representado pelos fluxos de calor latente, de calor sensível e de calor no solo (Krishnan et al., 2012; Chen et al. 2009).

De acordo com Sena (2012), a energia necessária para ocorrer as interações entre a superfície e a atmosfera é oriunda do Sol, na forma de radiação de onda curta. Durante o dia, a temperatura aumenta à medida que recebe radiação solar e transfere parte dessa energia para a atmosfera na forma de calor. Contudo, durante a noite, a superfície tende a perder energia, ficando mais fria que a atmosfera, nesse caso, a energia é transferida na direção oposta.

Bowen (1926), desenvolveu uma metodologia baseada no quociente entre os fluxos de calor sensível e latente, combinando as variáveis atmosféricas e a energia disponível na superfície evaporante. Ele foi o pioneiro nos estudos de balanço de energia sobre uma superfície vegetada. A Razão de Bowen é a relação entre os fluxos de calor latente e sensível emitidos por uma superfície de água durante o processo de evaporação, em função das pressões do vapor e das temperaturas observadas (BORGES et al., 2008)

Segundo Gaffin et al. (2010), em um telhado verde, existem sete grandes fluxos de energia, sendo estes:

- a radiação solar incidente de ondas curtas;
- o reflexo da radiação solar de ondas curtas;
- a radiação térmica emitida pela atmosfera (ondas longas);
- a radiação térmica emitida pela superfície do telhado verde (ondas longas);
- a perda de calor por convecção ou ganho de energia da atmosfera;
- a perda de calor por condução ou ganho da construção;
- a evapotranspiração, sob a forma de vapor de água.

Borges *et. al.*, (2008) afirma que é de grande importância conhecer os componentes do balanço de energia sobre superfícies cultivadas, possibilitando estimar as perdas de água por evapotranspiração e caracterização do microclima local, além de poder contribuir para utilização racional da água pelas culturas.

### 3.6. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O desenvolvimento de métodos e ferramentas que auxiliam na compreensão, controle e redução de impactos ambientais indesejáveis, são estimulados por interesses econômicos e sociais. Nesse sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica desenvolvida com o propósito de identificar, quantificar e diminuir possíveis impactos ambientais associados a produtos manufaturados e consumidos (NBR ISO 14040, 2009).

Segundo Tavares (2006), a ACV visa o levantamento detalhado de todas as etapas ao longo da vida de um produto, isto é, do “berço ao túmulo”, que diz respeito desde a natureza da matéria-prima, recursos energéticos necessários, uso e disposição dos resíduos e subprodutos em cada etapa, e o produto em si após sua vida útil.

Uma razão para a abordagem desta ferramenta diz respeito à natureza dos efeitos ambientais, quando e como ocorrem, e quais são suas consequências. Quantificar quanto o desenvolvimento e uso de um produto ou serviço pode contribuir para o esgotamento de recursos naturais ou prejudicar na geração de resíduos indesejáveis (TAVARES, 2006).

De acordo com Mourad (2002), utilizando a ACV é possível simular cenários considerando diversas alternativas para auxiliar a empresa na decisão de questões estratégicas e justificar investimentos por meio de ganhos ambientais.

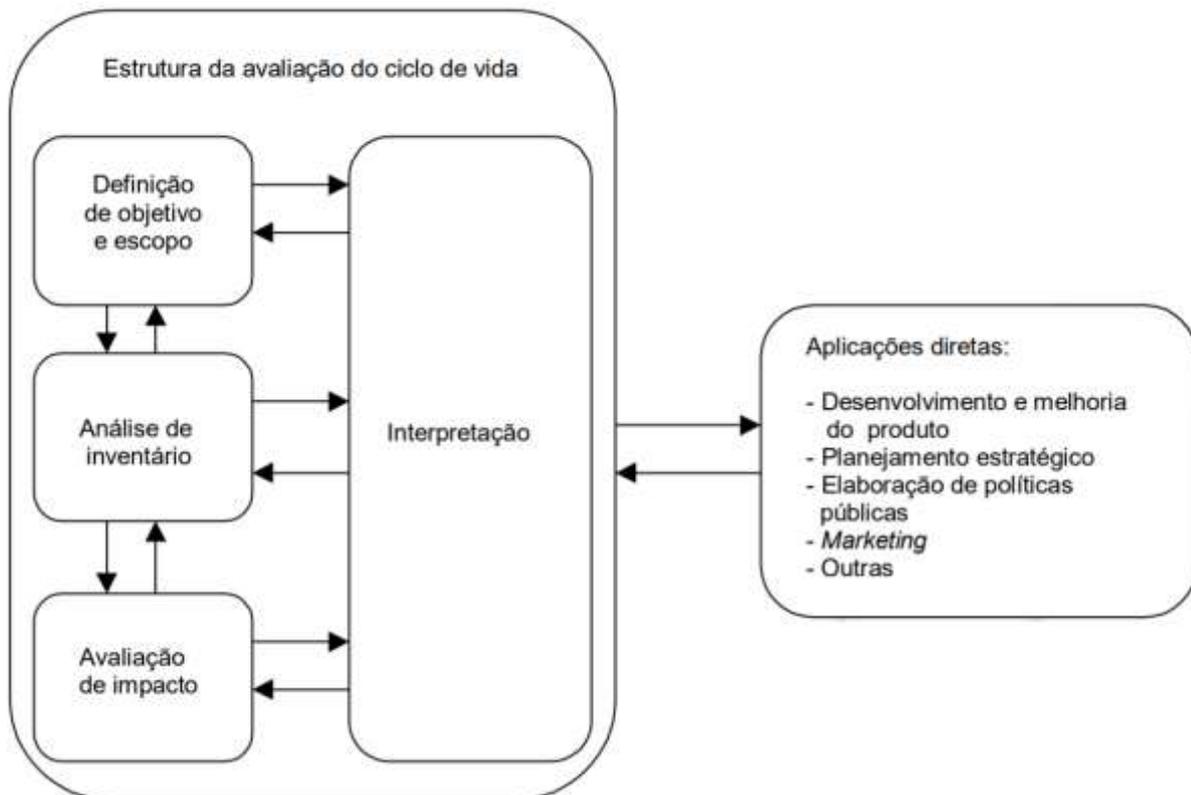
Para eleger o melhor cenário, é necessário saber os impactos de cada substância em determinada área, sendo este o objetivo da ACV, a otimização no sistema, desde proteção dos recursos naturais, meio ambiente, e também, a saúde humana.

Zobel (2002) diz que é interessante que o projeto esteja inserido em um SGA (Sistema de Gerenciamento Ambiental), devido ao fato de que uma ACV parte de um conceito holístico, visando à integração de Qualidade Tecnológica do Produto, Qualidade Ambiental e Valor Agregado. Tal suporte facilita a definição do Escopo da ACV além da obtenção de dados necessários para a análise. Lira (2017) compara dois tipos de telhados, um telhado convencional e um telhado verde. Foi analisado em seu projeto a depleção abiótica e o potencial de aquecimento global ( $CO_{2eq}$ ), e detectaram quais eram os pontos críticos. Ou seja, quais etapas foram responsáveis por maiores valores em determinada categoria ambiental e qual material, ou componente, foi o maior contribuinte para impactar o meio ambiente. O *software* utilizado para realizar uma ACV, transforma os valores de emissões em dados concretos de impacto ambiental.

A norma NBR ISO 14040 (2009) divide a ACV em quatro etapas (Figura 3), sendo:

- A) Definição do objetivo e escopo;
- B) Análise do inventário;
- C) Avaliação de impactos;
- D) Interpretação dos resultados.

**Figura 3:** Estrutura de uma ACV



Fonte: NBR ISO 14040 (2009)

### 3.6.1. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

Para determinar a meta de uma ACV, devem ser definidos com clareza: a aplicação pretendida, as razões para realizar o estudo, e para quem serão comunicados os resultados da análise (NBR ISO 14040: 2009).

A NBR ISO 14040 (2009) determina que o escopo deve incluir: o sistema do produto, as funções do sistema de produto, a unidade funcional, as fronteiras do sistema de produto, procedimentos de alocação, os tipos de impacto e a metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada, os requisitos dos dados, suposições, as

limitações, os requisitos da qualidade dos dados iniciais, o tipo de análise crítica e, o tipo e formato do relatório requerido.

Os resultados esperados por uma ACV são termos de comparação em relação ao desempenho ambiental entre os processos. É necessário utilizar unidades funcionais, para que as análises avaliem elementos que possam permutar.

### **3.6.2. ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA**

Esta etapa é a identificação e quantificação do consumo de recursos ambientais e emissões geradas associadas a um produto em todo o seu ciclo de vida, dentro das fronteiras estabelecidas na fase anterior (LIRA, 2017).

Um inventário bem conduzido atenta-se à metodologia utilizada para a coleta e registro de dados, uma vez que a qualidade de dados é uma das principais limitações de uma ACV, e são importantes para entender a confiabilidade dos resultados do estudo e interpretar corretamente o resultado (SETAC, 1991; GUINÉE, 1993; LIRA, 2017).

### **3.6.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL**

São desenvolvidos critérios de valoração para riscos e impactos ambientais correlacionados aos fluxos apresentados na análise de inventário em diferentes categorias, meio ambiente, saúde humana e uso de recursos. Os impactos ambientais e os recursos de entrada são quantificados com base na análise do inventário (CHAU *et al*, 2005; TAVARES, 2006). De forma geral, os resultados ambientais são obtidos a partir dos resultados numéricos do inventário (SAADE *et al*, 2014).

As ACVs que visam a comparação de produtos ou processos devem utilizar os mesmos critérios para avaliação, para que sejam obtidos resultados confiáveis.

### **3.6.4. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS**

Segundo a NBR ISO 14040 (2009), a interpretação é a fase em que as análises do inventário e da avaliação de impacto são combinadas de forma consistente, visando alcançar conclusões e recomendações de medidas de melhoria. Tudo isso aponta para as oportunidades de redução de emissões de resíduos e, consumo de recursos naturais

(TAVARES, 2006).

Como a ACV é uma metodologia complexa, os resultados devem ser apresentados de forma compreensível, completa e consistente, de acordo com a definição de objetivo e escopo do estudo (LIRA, 2017).

### 3.7. ACV EM TELHADOS VERDES

Na literatura internacional, alguns autores em suas pesquisas levaram em consideração a metodologia de ACV em telhados verdes. A seguir, estão expostos alguns trabalhos internacionais que abordam o assunto.

Saiz *et al*, (2006) realizaram uma pesquisa de ACV de sistemas de cobertura verde para comparar com o sistema convencional de um edifício residencial em Madri. Foram consideradas três fases de ciclo de vida: produção e transporte de materiais; operação; e manutenção do edifício, assumindo-se uma vida útil de 50 anos, considerando o telhado verde extensivo. Utilizou-se o *software* SimaPro para abordar a ACV. Os resultados mostraram que os impactos ambientais foram reduzidos de forma mais significativa em relação à geração de eletricidade.

Kosareo e Ries (2007) analisaram uma ACV por meio da comparação entre os aspectos ambientais e potenciais impactos associados com a construção, manutenção e disposição de telhado verde de 1152 m<sup>2</sup> construído nos EUA. Foram consideradas na ACV as fases de execução, operação, manutenção e demolição. O *software* SimaPro e o método de avaliação *Impact 2002+* foram utilizados. O trabalho comparou uma cobertura convencional de lastro de pedra, um telhado verde intensivo e um extensivo. O modelo que apresentou menor consumo elétrico e de gás, foi o telhado verde intensivo. Isso ocorreu devido ao seu baixo valor de condutividade térmica, proporcionado pelo meio de crescimento do telhado verde.

Blackhurst *et al*. (2010) aplicaram uma ACV em um telhado verde extensivo nos EUA. Assumindo uma vida útil de 30 anos, utilizaram a análise econômica *input-output* como metodologia de avaliação para três categorias de impacto: uso de energia, escoamento de águas pluviais e emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Consideraram três fases de ACV: a produção do material, construção do telhado, e uso. Os resultados sugeriram que os telhados verdes são estratégias viáveis para reduzir GEE e gerenciar águas pluviais.

Peri *et al.* (2012) realizaram a ACV de um substrato de telhado verde em construções na Itália. Como unidade funcional do sistema, utilizaram 1 m<sup>2</sup> de um telhado verde extensivo. A vida útil estabelecida foi de 50 anos, e as fases consideradas foram: produção, manutenção e fim de vida. O *software* SimaPro com base de dados Ecoinvent foi escolhido para a análise. Os autores defendem a ideia de que os telhados verdes extensivos são uma ferramenta de bom desempenho ambiental e sugerem que os produtores de telhados verdes providenciem mais dados sobre o descarte dos produtos, para facilitar as análises do ciclo de vida.

Bianchini e Hewage (2012) compararam as camadas de um telhado verde extensivo e um intensivo, também na Itália. Na ACV analisaram a fase de produção através do *software* SimaPro com a metodologia de *Eco-indicator*. Os resultados mostram que os TEV's possuem mais vantagens que desvantagens para reduzir a poluição do ar. Além disso, possuem importância como uma opção sustentável para a indústria da construção civil e para a sociedade.

Hong, Kim e Koo (2012) avaliaram o substrato e a vegetação de um telhado verde extensivo com vida útil de 40 anos. Também foram avaliados a ACV de emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e o custo de ciclo de vida (CCV), apenas a fase de uso foi considerada e utilizaram o *EnergyPlus*. Foi observado uma melhoria no desempenho energético com o uso de telhado verde.

Rivela *et al.* (2013) realizaram uma ACV de telhados verde extensivo de cinco cidades da Espanha: Cádiz, Valencia, Vigo, Madri e Soria. A fase considerada foi a de produção. Escolheram o CML 2000 como método de avaliação. Concluíram que os subsistemas que mais causam impactos ambientais são as coberturas de superfícies feitas de poliéster e os isolantes térmicos feitos a base de poliestireno expandido. A escolha do tipo de estrutura a qual o telhado se apoiará é crucial para o impacto do conjunto, dessa maneira, a sua otimização deve ser priorizada.

Lamnatou e Chemisana (2014) analisaram uma ACV realizada em um telhado verde intensivo e extensivo, que também incluía o uso de uma placa fotovoltaica. Estipularam uma vida útil de 30 anos, e como método de avaliação utilizaram Ecoinvent 99, Impact 2002+ e CED. Verificou-se eficiência na implantação de placas fotovoltaicas em um telhado verde. Em uma nova etapa, mudaram os métodos de avaliação para ReCiPe, SimaPro e Ecoinvent.

Rincón *et al.* (2014) estudaram um telhado verde extensivo com uma camada de

drenagem constituída por borracha reciclada, com vida útil de 40 anos. A ACV foi do berço ao portão, utilizando o *software* SimaPro com o método LCAmanage. De acordo com os estudos dos autores, a camada drenante de borracha reciclada é recomendada para a instalação em edifícios, visto que concluíram que é mais sustentável ambientalmente comparado ao sistema de cobertura convencional sem isolamento térmico e ao telhado verde com a camada drenante de cascalho pozolana.

Chenani *et al.* (2015) realizaram a ACV de dois telhados verdes, com o objetivo de determinar o potencial impacto ambiental de dois sistemas com substratos diferentes, um substrato era composto por argila expandida, tijolo triturado e adubo e o outro substrato era composto por adubo, areia e pedra-pomes. A vida útil de 40 anos, e utilizaram o *software* SimaPro com a base de dados Ecoinvent. As fases de ACV analisadas foram a de produção, transporte de matérias primas, uso e destinação final. As maiores cargas ambientais foram relacionadas com a lã de rocha, camadas de drenagem de plástico e argila expandida.

Contarini e Meijer (2015) em sua ACV analisaram vários tipos de cobertura com uma vida útil de 30 anos. Os métodos ReCiPe e Dutch foram utilizados, e o Ecoinvent utilizado como base de dados. A conclusão do estudo foi que os sistemas de cobertura com revestimento reflexivo e telhados verdes possuem os mais altos valores nas categorias de impacto, porém, melhoram a vida útil da membrana impermeável e reduzem o efeito da ilha de calor, proporcionando uma resposta positiva sobre a carga de refrigeração do edifício. O telhado verde possui elevados danos para a categoria de consumo de recursos devido à grande quantidade de materiais necessários no sistema.

Cubi *et al.* (2015) utilizaram placas fotovoltaicas, assim como Lamnatou e Chemisana (2014), mas nesse caso, eles compararam telhados verdes extensivos, com telhados brancos reflexivos e telhados com painéis fotovoltaicos. A ACV foi realizada para as fases de produção, transporte e operação. Os *softwares* utilizados foram o SimaPro com base de dados Ecoinvent e método de avaliação, Impact 2002+, e o Energy Plus, considerando uma vida útil de 50 anos para ambos. A conclusão obtida foi de que a cobertura com placas fotovoltaicas apresentou maior desempenho em todas as categorias avaliadas. O telhado verde resultou em impactos positivos na maior parte das categorias, incluindo as emissões de GEE.

El Bachawati *et al.* (2016) realizaram um estudo comparativo no Líbano, entre um telhado verde extensivo já instalado e, três coberturas fictícias: telhado branco reflexivo,

tradicional com cascalho e telhado verde intensivo. A ACV foi do berço ao túmulo, analisada pelo software SimaPro com base de dados Ecoinvent e vida útil de 45 anos. Concluíram que o TEV extensivo foi a melhor opção em todas as categorias de impacto ambiental.

Em relação aos trabalhos nacionais, Tavares *et al.* (2014) realizaram uma comparação de sete sistemas de cobertura, sendo quatro telhados verdes, duas lajes pré-moldadas e um telhado com estrutura em madeira e cobertura em telha de cerâmica. Nessa ACV, apenas a fase de pré-uso foi considerada. Calcularam a quantidade de energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub> de cada sistema proposto. Concluíram que em três dos quatro sistemas de telhados verdes tiveram índices menores quando comparados às outras coberturas em laje, apresentando-se como alternativa de menor impacto ambiental.

Lira *et al.* (2016) realizaram um levantamento de artigos científicos publicados no Brasil e no mundo, onde concluíram que é necessário padronizar materiais constituintes das camadas do telhado, a disposição das camadas e, os métodos de avaliação utilizados para facilitar uma comparação entre as pesquisas.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. LOCAL DE ESTUDO**

O local escolhido para a realização da coleta de dados foi uma residência localizada em um condomínio fechado na região Sul da cidade de Londrina, no Paraná, que possui um telhado verde do tipo extensivo instalado. As coordenadas do condomínio são 23°20'44.77"S e 51°11'8.42"O.

**Figura 4:** Telhado verde da residência



**Fonte:** Autoria própria

O clima em Londrina é descrito segundo a classificação climática de Köppen como Cfa, clima subtropical úmido, com temperatura do ar média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do ar média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes e geadas pouco frequentes e, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, porém sem estação seca definida (WREGGE et. al, 2011; ALVARES et. al, 2014).

A precipitação pluviométrica média mensal no ano de 2018 registrado pelo Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR em Londrina, foi de 130 mm. O mês com maior número de dias de chuva e maior precipitação foi janeiro, e a menor precipitação foi julho (IAPAR, 2019).

#### **4.2. COMPOSIÇÃO DO TELHADO**

O sistema utilizado no estudo foi um telhado verde extensivo composto por: Manta Geotêxtil BIDIM para a camada de filtração, membrana MAPEI Mapelastic Smart altamente elástica utilizada para a impermeabilização, argila expandida para a camada de drenagem, camada de substrato e a camada de vegetação com planta grama-amendoim (*Arachis repens*). O telhado verde possui 23,01 m<sup>2</sup>, com dimensões de 5,75m x 4,01m.

### 4.3. MATERIAIS

Os materiais utilizados em campo para medição da temperatura do telhado verde constam no Quadro 2.

**Quadro 2:** Materiais e as respectivas quantidades utilizadas

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>
Sensor de temperatura DS18B20	6 unidades
Placa Arduino Mega 2560	2 unidades
Joelho de PVC 90°	1 unidade

Fonte: Autoria própria

### 4.4. CRITÉRIOS ANALISADOS

#### 4.4.1. QUALIDADE DA ÁGUA

##### 4.4.1.1. COLETA DE AMOSTRA

Para avaliar a qualidade da água na saída do sistema de telhado verde, foram realizadas duas coletas, as amostra 1 e 2 foram coletadas nos dias 09/05/2019 e 11/05/2019, respectivamente. Estas foram coletadas numa caixa de passagem localizada na parte externa da residência, onde toda a água infiltrada no telhado verde é destinada. Um sistema de coleta foi instalado a partir da utilização de um cotovelo de PVC de 90° e 100 mm de diâmetro, as amostras foram armazenadas em temperatura de 4 °C para a análise.

##### 4.4.1.2. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

No Quadro 3 estão apresentadas as variáveis que foram mensuradas e analisadas, bem como os equipamentos que foram utilizados. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UTFPR-LD e seguiram as recomendações do do *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (APHA, 2012), entretanto, a análise de Ferro Total foi solicitada a um laboratório externo.

**Quadro 3:** Parâmetro mensurado e equipamento utilizado

Parâmetro	Equipamento
pH	PHmetro
Série de sólidos (mg.L <sup>-1</sup> )	Estufa, Mufla
Cor Aparente (ptCo)	Espectrofotômetro
Turbidez (NTU)	Turbidímetro
Condutividade elétrica (µS.cm <sup>-1</sup> )	Condutivímetro
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Espectrofotômetro
Nitrogênio NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	Digestor/Destilador
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	Espectrofotômetro
Ferro Total (mg.L <sup>-1</sup> )	Análise laboratório externo

Fonte: Próprio autor

#### 4.4.1.3. QUALIDADE DAS ÁGUAS COLETADAS

Não há uma legislação específica no Brasil que trate a respeito de águas pluviais escoadas por coberturas verdes. Para realizar a comparação da qualidade dessas águas, foi necessário buscar diretrizes complementares, estas estão apresentadas no Quadro 4.

**Quadro 4:** Diretrizes utilizadas para comparação da qualidade das águas escoadas pelo telhado verde

Diretriz	Disposição
ABNT NBR 15527/2007	Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos
Resolução CONAMA nº 357/05	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes
ABNT NBR 13969/97	Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos
Portaria nº 2914/2011	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Fonte: Autoria própria

No contexto da presente pesquisa, foram consideradas algumas classes dos instrumentos legais para a comparação com as amostras, sendo estas, destacados no Quadro 5 abaixo.

**Quadro 5:** Classificação do uso de águas para fins não potáveis

<b>Classificação</b>	<b>Uso da água</b>
ABNT NBR 13969/97 - Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.
CONAMA nº 357 - Classe II	Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto

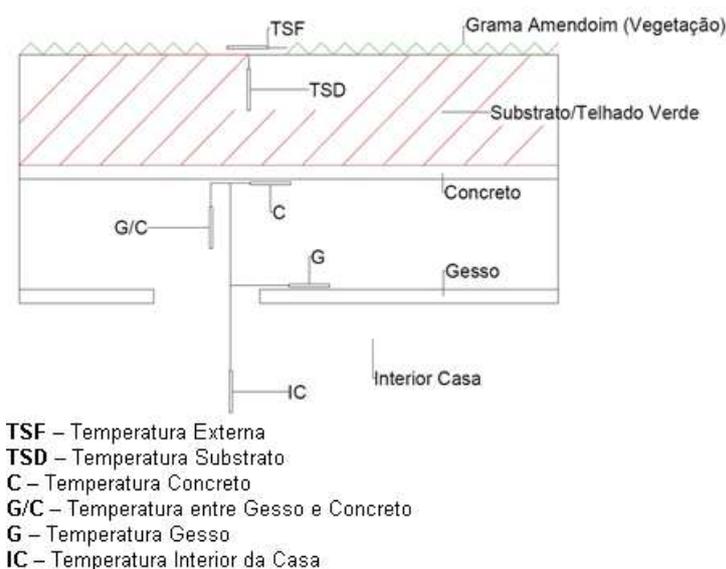
**Fonte:** Autoria própria

## 4.4.2. TEMPERATURA

### 4.4.2.1. COLETA DE DADOS

O sistema de coleta de dados no local no telhado verde foi realizado de forma automatizada utilizando uma placa Mega 2560 e 6 sensores de temperatura modelo DS18B20. A Figura 4 ilustra a forma em que os sensores foram instalados, dessa maneira, obteve-se um perfil vertical de temperatura do telhado verde. Os dados foram coletados via transmissão digital por computador.

**Figura 5:** Posicionamento dos sensores de temperatura



**Fonte:** Autoria própria

#### 4.4.2.2. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Foram realizadas análises comparativas entre a temperatura ambiente e a temperatura no telhado a fim de verificar qual é a capacidade de conforto térmico do telhado verde sobre o ambiente construído.

#### 4.4.3. BALANÇO DE ENERGIA

Os dados de temperatura foram utilizados para avaliação do perfil de temperatura de um TEV. A análise a ser realizada será focada no gasto de energia necessário para o conforto ambiental da edificação.

Também foram medidos a partir de estação meteorológica do SIMEPAR, dados de radiação, umidade, temperatura do ar e velocidade do vento, com a finalidade de realizar uma estimativa sobre o balanço de energia existente no TEV.

Gaffin et al. (2010), propôs na Equação 3, um modelo para o balanço de energia, utilizando fluxos de energia e a capacidade térmica do telhado. Esse modelo foi o mesmo utilizado por Palmeira (2016) em sua dissertação e foi utilizado neste trabalho também.

$$OC \downarrow - OC \uparrow + OL \downarrow - OL \uparrow - Q_{convecção} - Q_{condução} - Q_{latente} = CT_{tv} \times \frac{dT_t}{dt} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:

OC a radiação em ondas curtas ( $W.m^{-2}$ );

OL a radiação em ondas longas ( $W.m^{-2}$ );

$Q_{convecção}$  o transporte de calor por convecção ( $W.m^{-2}$ );

$Q_{condução}$  o transporte de calor por condução ( $W.m^{-2}$ );

$Q_{latente}$  o calor latente ( $W.m^{-2}$ );

$CT_{tv}$  a capacidade térmica do telhado verde ( $MJ.m^{-2}.K^{-1}$ );

$dT_t$  a diferença de temperatura da superfície do telhado verde; e

$dt$  a diferença de tempo.

As setas  $\downarrow$  e  $\uparrow$ , referem-se à entrada e saída de energia do sistema, respectivamente.

O primeiro componente ( $OC\downarrow$ ) é a radiação de ondas curtas que entra no sistema, é produto da soma da radiação solar direta e da radiação solar difusa. Essa é a parcela de energia solar que chega efetivamente até a superfície. Para esta variável, foi utilizado o

valor disponibilizado pela SIMEPAR.

Para os outros componentes da Equação 3, o Quadro 6 mostra as equações utilizadas para calcular os termos restantes.

**Quadro 6:** Equações para calcular termos da Equação 3

Variáveis (W.m <sup>-2</sup> )	Equações
OC↑	$OC \uparrow = \alpha \times OC \downarrow$ (Eq. 4)
OL↓	$OL \downarrow = (0,52 + 0,065 \times e^{1/2}) \times \sigma \times TSF^4$ (Eq. 5)
OL↑	$OL \uparrow = \varepsilon_s \times \sigma \times TSD^4$ (Eq. 6)
Qconvecção	$Q_{convecção} = \gamma_1 \times (TSD - TSF)$ (Eq. 7)
Qcondução	$Q_{condução} = \kappa \times (TSD - IC)/dz$ (Eq. 8)
Qlatente	$Q_{latente} = Q_{convecção}/\beta$ (Eq. 9)

**Fonte:** Adaptado de Gaffin et al. (2006); Kreith e Bohn (1922) e Vilani et al. (2007).

Sendo:

$\alpha$  o albedo;

$\sigma$  a constante de Stefan Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ );

TSF a temperatura do ar (sensor externo),

$e$  a pressão de vapor d'água na atmosfera;

$\varepsilon_s$  a emissividade da superfície do telhado verde;

TSD a temperatura da superfície vegetal do telhado verde;

$u$  a velocidade do vento;

$\gamma_1$  o coeficiente de convecção ( $\text{W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ );

$\kappa$  a condutividade térmica da camada de cobertura ( $\text{W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ );

IC a temperatura do ar interna da (espaço abaixo do telhado verde);

$dz$  a espessura da cobertura telhado verde; e

$\beta$  a Razão de Bowen do fluxo de calor sensível (H) e latente (LE).

Para a equação 4, não foi realizada a medição para o albedo, dessa forma utilizou-se o valor de 0,23, um valor padrão pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação FAO-56 (*Food and Agriculture Organization*), que considera uma grama hipotética com altura de 0,12m, com resistência de superfície de  $70 \text{ s.m}^{-1}$  e um albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998).

As temperaturas devem estar expressas em K (Kelvin), a velocidade do vento em  $\text{m.s}^{-1}$ , a radiação e fluxos de calor em  $\text{W.m}^{-2}$  e pressão em milibares. Para a definição do coeficiente de emissividade do TV ( $\epsilon_s$ ) para a Equação 6 foi utilizado o valor de 0,95 especificado por Palmeira (2016).

Para o coeficiente de convecção, Niachou et al. (2001) analisaram as propriedades térmicas e a eficiência energética de uma cobertura verde extensiva para estimar o impacto da cobertura verde no consumo energético de uma edificação em Atenas, na Grécia. Utilizando o software TRNSYS para calcular a massa e a transferência de calor para o interior das edificações, os autores observaram que, o coeficiente de transferência de calor variam de 6 (com cobertura verde) a  $16 \text{ W.m}^2\text{K}^{-1}$  (sem cobertura verde), para um edifício sem isolamento térmico, se mantém estável em  $0,2 \text{ W.m}^2\text{K}^{-1}$  com ou sem cobertura verde) para edifícios com isolamento térmico moderado e varia entre 0,02 a  $0,06 \text{ W.m}^2\text{K}^{-1}$  para edifícios com bom isolamento térmico. Desta forma, para este trabalho foi utilizado o coeficiente  $\gamma$  igual a  $6 \text{ W.m}^2\text{K}^{-1}$  para os cálculos da Equação 7.

Com referência à equação 8, no caso de coberturas verdes, o valor do coeficiente de condutividade térmica é de difícil obtenção, devido ao seu caráter heterogêneo (PERUSSI, 2016). Dessa forma, por motivos de semelhança na estrutura do telhado, o valor utilizado foi de  $0,568 \text{ W.m.K}^{-1}$ , valor que foi utilizado por Palmeira (2016), e o valor de dz foi de 0,20m.

A variável  $\beta$  (Razão de Bowen), foi utilizada neste trabalho a partir da Equação 10, aplicada por Biudes *et al.* (2009), e reescrita na forma da Equação 11.

$$\beta = H/LE \quad (10)$$

$$\beta = \gamma \times \Delta T / \Delta e \quad (11)$$

Sendo:

H o fluxo de calor sensível;

LE o fluxo de calor latente;  $\Delta$

$T$  a diferença de temperatura do ar entre dois níveis ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\Delta e$  é a diferença de pressão de vapor d'água do ar entre dois níveis (kPa) - os níveis são 2,64m e 2,94m de altura, desconsiderando a diferença de altitude;

$\gamma$  é a constante psicrométrica.

A constante psicrométrica  $\gamma$  (kPa °C<sup>-1</sup>) é dada em função da pressão atmosférica P (kPa), e calculada pela Equação 12 (ALLEN et al., 1998):

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} \times P \quad (12)$$

A pressão de vapor d'água do ar saturado ( $e_s$ ) em (kPa) foi calculada conforme a Equação 13. Sendo a pressão de vapor d'água do ar atual ( $e$ ) calculada a partir de  $e_s$ , e da umidade relativa (UR) na Equação 14 (BIUDES et al., 2009).

$$e_s = 0,6108 \times EXP \left( \frac{7,5 \times T_{ar}}{237,7 + T_{ar}} \right) \quad (13)$$

$$e = e_s \times UR \quad (14)$$

#### 4.4.4. ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

Para as análises do inventário de ciclo de vida, foi realizado um levantamento dos dados na literatura disponível, os valores de impactos utilizados são os mesmos observados por autores em suas pesquisas. Os dados de literaturas levantados dos impactos de cada material utilizado e seu respectivo autor foram inseridos no Quadro 6.

**Quadro 7:** Materiais utilizados na literatura e respectivos autores

<b>Material Avaliado</b>	<b>Método</b>	<b>Autor</b>
Steelframing com drywall internas e placa cimentícia externa (m <sup>3</sup> )	CML 2001, Impact + 2002, ReCiPe 2008	Bueno (2014)
Argila Expandida (m <sup>2</sup> )	CML 2001	Chenani et al. (2014)
Manta Geotextil (m <sup>2</sup> )	CML 2001	Chenani et al. (2014)
Argamassa (m <sup>3</sup> )	CML - IA	Paula (2016)
Substrato (Kg)	CML 2001	Chenani et al. (2014)
Concreto (m <sup>3</sup> )	CML - IA	Paula (2016)
Aço (Vegalhão) (kg)	CML - IA	Ozdemir et al. (2018)
Madeira MDP (m <sup>3</sup> )	CML 2001	Silva (2012)

**Fonte:** Autoria própria

Cada um dos impactos encontrados para a comparação dos sistemas foram brevemente descritas a seguir, baseando-se em Chehebe (1998), Goedkoop et al. (2009) e Wenzel et al. (1997).

#### **4.4.4.1. Acidificação**

Refere-se principalmente às substâncias ácidas como a emissão de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e de enxofre (SO<sub>x</sub>) para a atmosfera, e depositados na água e no solo. Ocorre a adição de cátion de hidrogênio (H<sup>+</sup>) que resulta na redução do pH, e assim, conduzindo ao aumento da acidez da água e/ou do solo. Como efeitos, ocorre a chuva ácida, impactando sobre a fauna e flora. Os resultados de impacto nesta categoria, em geral, são expressos em dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) equivalente, em kg SO<sub>2</sub>-eq. / kg de emissão;

#### **4.4.4.2. Depleção de Ozônio**

Diz respeito à redução da camada de ozônio (O<sub>3</sub>) na estratosfera provocada por emissões de substâncias como os clorofluorcarbonos (CFCs), que interferem nas reações normais do ciclo do oxigênio. Este fenômeno proporciona uma maior incidência da radiação ultravioleta sobre a superfície da Terra, podendo causar doenças nos seres humanos, desequilíbrios nos ecossistemas, entre outros malefícios. Em geral, a depleção de ozônio normalmente é expressa em escala de kg de CFC-11-eq. ou R-11-eq. / kg de emissão;

#### **4.4.4.3. Ecotoxicidade**

É a relativa ação prejudicial, algumas vezes irreversível, de substâncias tóxicas à fauna e flora pelas atividades antrópicas. Tais efeitos podem afetar os organismos vivos, a função e a estrutura do ecossistema. A unidade de referência para a ecotoxicidade depende do método de AICV adotado. O CML (2001) assume apenas a ecotoxicidade terrestre e aquática, sendo a unidade de referência o diclorobenzeno (DCB) equivalente, em kg DCB-eq. / kg de emissão.

#### **4.4.4.4. Eutrofização**

Trata-se do enriquecimento abrupto e excessivo de nutrientes na água ou no solo, especialmente a partir de substâncias à base de nitrogênio ou fósforo. A eutrofização impacta sobre os ecossistemas, pois na água, pode conduzir a uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, afetando diversos organismos ali presentes. No solo e também na água pode alterar a biodiversidade nos ecossistemas. O fator de

caracterização para a eutrofização é medido em fosfato (PO<sub>4</sub>) equivalente para o método CML (2001), em kg PO<sub>4</sub>-eq / kg de emissão.

#### **4.4.4.5. Mudanças Climáticas**

Está relacionado à emissão de gases de efeito estufa como o CO<sub>2</sub> e o metano (CH<sub>4</sub>) causando o aumento da temperatura terrestre na baixa atmosfera. As consequências do aquecimento global estão entre o aumento da temperatura média global da Terra e mudanças climáticas regionais repentinas, afetando o ecossistema, o bem-estar humano, etc. O aquecimento global é expresso em kg CO<sub>2</sub>-eq. / kg de emissão;

#### **4.4.4.6. Toxicidade Humana**

É ocasionada pelas atividades antrópicas que emitem substâncias tóxicas sobre a saúde humana seja por ingestão ou inalação. Nesta categoria não são considerados os efeitos tóxicos gerados em decorrência de exposições no ambiente de trabalho, mas sim, os medidos na atmosfera. Inclui efeitos toxicológicos crônicos, efeitos carcinogênicos e não-carcinogênicos, impactos associados a uma determinada massa de um elemento químico emitida ao ambiente, e etc. O método CML (2001) considera apenas a toxicidade humana terrestre e aquática, sendo a unidade de referência em kg de DCB-eq. / kg de emissão.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. QUALIDADE DA ÁGUA COLETADA**

O Quadro 8 apresenta as características físico-químicas da água pluvial infiltrada no sistema de telhado verde nos dias 09/05/2019 e 11/05/2019. As amostras serão nomeadas como Amostra 1 para a água coletada do dia 09/05/2019, e Amostra 2 para a água coletada do dia 11/05/2019.

**Quadro 8:** Valores obtidos na análise físico-química da água

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	ABNT NBR 15527/2007	ABNT NBR 13969/97 - Classe 2	Portaria nº 2914/2011	Resolução CONAMA nº 357/05 - Classe II
pH	4,16	7,05	6,0 - 8,0	6,0 - 8,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Precipitação acumulada (mm)	4,6	42,2	-	-	-	-
Turbidez (NTU)	19,8	33,8	5,0	5,0	-	100
Cor (ptCo)	346	124	15	-	15	75
Condutividade (uS/cm)	482,9	180,6	-	-	-	-
Sólidos totais (mg/L)	510	200	-	-	-	-
Sólidos fixos (mg/L)	240	120	-	-	-	-
Sólidos Voláteis (mg/L)	270	80	-	-	-	-
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	92,12	18,48	-	-	-	-
Fósforo (mg/L)	0,53	0,34	-	-	-	0,05
Ferro (mg/L)	0,85	0,24	-	-	0,3	-
DQO (mg/L)	174	30	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria

### 5.1.1. pH

Observa-se no Quadro 7, um valor de pH de 4,16 para a Amostra 1, caracterizando a água como ácida. E para a Amostra 2, o pH analisado é de 7,05, ou seja, de caráter neutro.

Os telhados verdes possuem influência na qualidade da água da chuva escoada. O valor aferido na Amostra 2, sugere que o telhado contribuiu positivamente para a redução de acidificação das águas pluviais. Segundo Nicholson *et al.* (2009), as coberturas verdes apresentam um potencial de adsorver íons de hidrogênio. Provocando um aumento do pH da água de chuva que percola pelo telhado verde, resultando na sua neutralização.

Verifica-se que para a coleta da Amostra 2, houve uma maior precipitação

acumulada, que pode ter interferido positivamente no parâmetro pH. O período longo sem chuvas antes do dia 09/05/2019, está correlacionada com a concentração de poluentes depositados pela atmosfera no solo, o que pode explicar o caráter ácido da água na Amostra 1, mesmo após a filtração do telhado verde. As maiores concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e ferro (Fe) também estão paralelamente relacionadas ao pH ter sido consideravelmente mais ácido que a Amostra 2.

### **5.1.2. Turbidez**

A Amostra 1 apresentou turbidez menor que a Amostra 2, 19,8 NTU e 33,8 NTU, respectivamente. Um aspecto pode ter sido determinante para esse valor, pois a Amostra 1 ficou armazenada por um período mais longo, permitindo uma maior sedimentação dos sólidos em suspensão devido a presença de partículas de ferro que podem ter auxiliado no processo de coagulação, aumentando a transparência da água relativo a concentração de sólidos suspensos. Outro provável agente responsável pela água mais turva na Amostra 2, foi o maior volume de chuva.

### **5.1.3. Cor**

A Amostra 1 apresentou cor aparente maior que a Amostra 2, 346 ptCo e 124 ptCo, respectivamente. A coloração mais escura observada na Amostra 1 é comprovada através da leitura de cor no espectrofotômetro, indica presença de mais íons metálicos naturais, como o Fe, que está em conformidade com os valores da análise de Ferro Total realizada. O tom ferroso intenso mostra que o conjunto drenagem, planta e substrato influencia diretamente na coloração da água escoada (SAVI, 2015).

### **5.1.4. Condutividade elétrica**

Na análise comparativa de condutividade elétrica, verificou-se que o nível da Amostra 1, aproximadamente  $483 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  é significativamente maior que a Amostra 2, valor de  $180 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  sendo caracterizada pela grande quantidade de sólidos dissolvidos e teor de ferro presentes na água coletada.

Buffam *et al.* (2016) constataram que o telhado verde extensivo estudado, atuou significativamente como fonte de condutividade elétrica. A água da chuva coletada *in natura*

apresentou condutividade elétrica igual a  $15 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ , e a água pluvial coletada pela cobertura verde no referido trabalho apresentou valor de  $152 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ . Este valor é próximo da Amostra 2 coletada neste trabalho.

#### **5.1.5. Nitrogênio e Fósforo**

As altas concentrações de nitrogênio e fósforo nas duas amostras, sugerem uma relação com o tipo de solo utilizado, a idade do telhado verde e do fertilizante utilizado no telhado. O valor de  $92,12 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$  de nitrogênio na Amostra 1 é preocupante. Lima *et al.* (2005), observaram que efluentes domésticos apresentam valores característicos de  $50 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$  de nitrogênio.

A presença de grandes quantidades de nitrogênio pode impactar corpos hídricos se a água pluvial for direcionada para o sistema de drenagem urbana com a possibilidade de ocorrer eutrofização de corpo hídrico. Também, dificulta enormemente o reúso de água para sistemas prediais a partir do telhado verde.

Os valores de fósforo variaram de 0,5 a 0,3 mg/L, estão próximos de valores de esgotos domésticos e também podem causar impactos em corpos hídricos. Esperava-se que os valores de nutriente obtidos neste estudo fossem relativamente baixos em termos de concentração devido a possibilidade de filtração e absorção em sistemas de telhado verde. Porém, devido ao tipo de recheio e provavelmente ao uso de adubos inorgânicos acrescidos ao sistema, os nutrientes lixiviados foram relativamente próximos de esgotos domésticos.

Desta forma, deve-se atentar para o uso adequado de adubo em telhados verdes com a aplicação de taxas adequadas e próximas de valores mínimos para cada tipo de vegetação utilizada.

#### **5.1.6. Ferro**

Pessoa (2016), observou em amostras de águas de chuva coletadas diretamente da atmosfera, valores de concentração de ferro entre  $0,006$  e  $0,01 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ . Após a passagem da água pelos telhados verdes, constatou que a concentração de ferro aumentou mais de dez vezes na maioria das coletas. Ao comparar os valores obtidos neste estudo com a água

de chuva coletada por Pessoa (2016), verifica-se um aumento significativo de ferro do solo nas Amostras 1 e 2, e o não cumprimento com a legislação utilizada para comparação. Deste modo, especula-se que o telhado verde atua como uma potencial fonte do micronutriente ferro.

#### **5.1.7. DQO**

No parâmetro demanda química de oxigênio (DQO), a Amostra 1 apresentou maior valor, o que indica maior concentração de matéria orgânica em decomposição. O uso de argila expandida, pode não ser eficiente em relação à retenção de matéria orgânica do sistema de telhado verde. O valor de 174 mg.L<sup>-1</sup> é alto em relação a valores obtidos por Teixeira et al. (2017), com variação entre 17 a 86 mg.L<sup>-1</sup>, porém o resultado obtido na Amostra 2 de 30 mg/L encontra-se nessa entre os valores dessa faixa observada.

#### **5.1.8. Sólidos**

Os sólidos voláteis variaram de 40 a 53 % nas amostras realizadas, o que denota uma porcentagem alta de material orgânico associado aos sólidos presentes na água pluvial após drenagem no telhado verde. Os sólidos totais foram maiores na amostra 1 devido a pequena precipitação ocorrida. Já na amostra 2, os sólidos totais com valor de 200 mg.L<sup>-1</sup> apresentaram valor característico menor que de esgotos domésticos (Piveli, 2005).

No que se refere aos documentos normatizadores, a passagem da água pelo substrato sofreu algumas alterações nos parâmetros analisados relacionados à qualidade da água. Observou-se o não atendimento da Amostra 1 à NBR 15527/2007 (pH, turbidez, cor), à NBR 13969/97 (pH, turbidez), à Portaria N<sup>o</sup>. 2.914 (pH, cor e ferro), à Resolução CONAMA 357/05 - Classe II (pH, cor e fósforo). A Amostra 2, não atendeu à NBR 15527/2007 (turbidez, cor), à NBR 13969/97 (turbidez), à Portaria N<sup>o</sup>. 2.914 (cor), à Resolução CONAMA 357/05 - Classe II (cor e fósforo).

De acordo com Vijayaraghavan *et al.* (2012), os telhados verdes aparecem como uma alternativa de melhora da qualidade ambiental em grandes cidades, porém ainda é um tópico de preocupação devido aos impactos da cobertura verde na qualidade de águas pluviais. Nutrientes em alta concentração como, nitrogênio e fósforo podem levar a eutrofização de corpos de água e reduzir a qualidade da bacia hidrográfica.

Pode-se observar, que o telhado verde comprometeu a qualidade de água da chuva, onde a água se apresentou com muito sedimento, nitrogênio e fósforo, provindos do substrato do telhado verde. Para a reutilização dessa água, estes são fatores que podem ser determinantes para a escolha dessa alternativa sustentável. É necessário realizar mais análises laboratoriais envolvendo outros parâmetros de qualidade da água, e também do substrato utilizado no sistema.

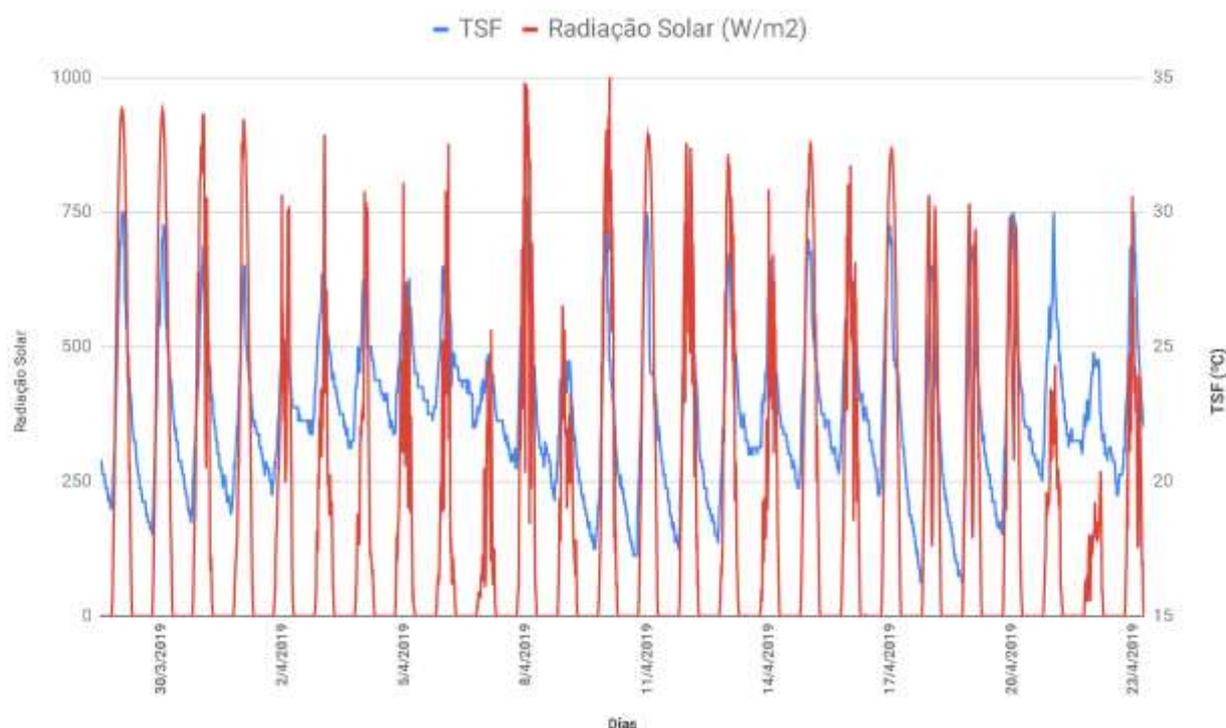
## **5.2. TEMPERATURA DO AMBIENTE E DO TELHADO VERDE**

### **5.2.1. Análise da temperatura ambiente e a radiação**

Os valores registrados das variáveis temperatura, precipitação, umidade relativa, radiação solar e velocidade de rajada do vento para o período de estudo são apresentados neste capítulo.

Os dados de temperatura foram coletados durante o período de 29 de março de 2019 a 23 de abril de 2019. Durante a análise dos dados, calculou-se uma média para os valores dos sensores de temperatura espalhados na parte exterior do solo (TSF), que foi utilizado posteriormente como valor de referência para temperatura ambiente e para os sensores enterrados no solo (TSD).

Observando a Figura 6, verifica-se que as temperaturas começam a subir à medida que a radiação aumenta, e quando a radiação reduz, os valores de temperatura também são reduzidos. Santos (2016), observou que valores de pico de temperatura em telhados verdes, ocorrem com um atraso em média de duas horas depois do pico de radiação, fato ocorrido neste estudo também.

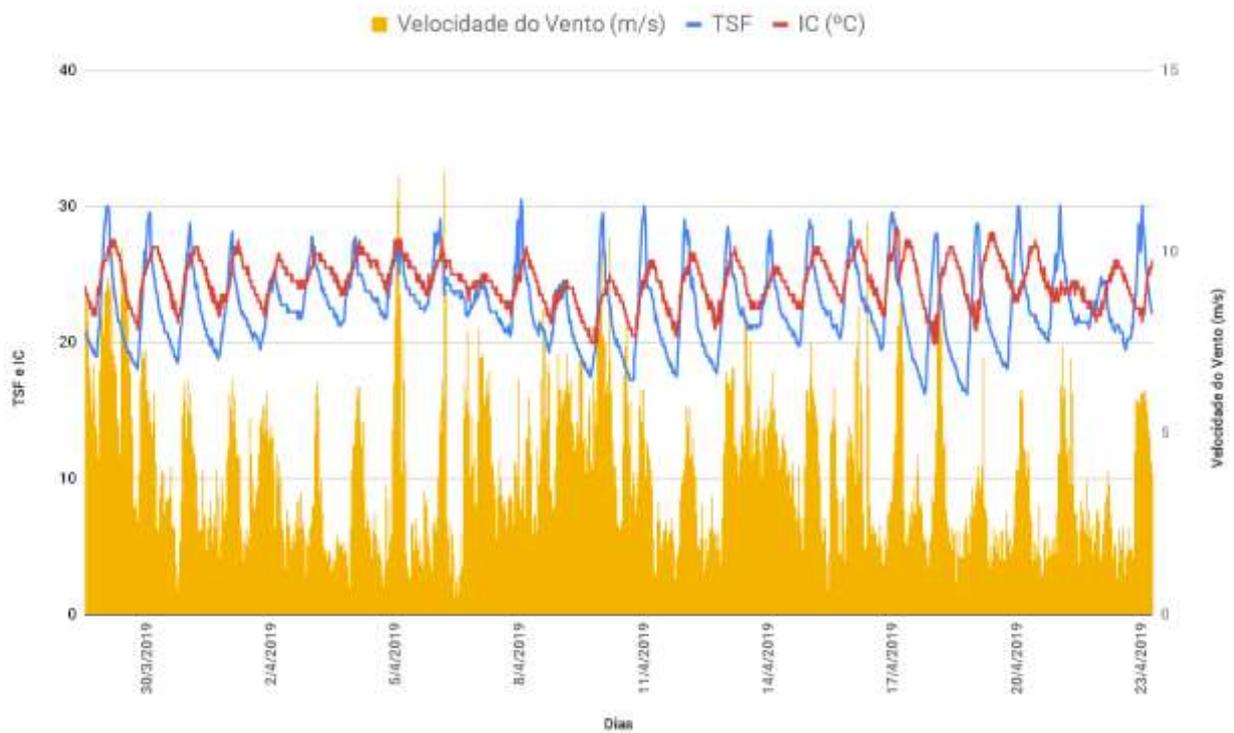
**Figura 6:** Temperatura ambiente do sensor e radiação solar

Fonte: Autoria própria

### 5.2.2. Análise da temperatura ambiente e a velocidade do vento

Analisando a temperatura em conjunto com a velocidade do vento na Figura 7, a temperatura interna da casa é maior quando a velocidade do vento é maior, porém isso não é constante, o vento possui variações irregulares. Os picos para a velocidade do vento, ocorreram após os picos da temperatura ambiente, no entanto, isto não é uma relação direta. O coeficiente de correlação linear simples calculado, com valor de 0,35, foi verificado, indicando que existe uma relação muito pequena entre as duas variáveis, isto é, as alterações sofridas em uma variável não foram acompanhadas por alterações na outra.

**Figura 7:** Temperatura ambiente do sensor, temperatura interna da casa e velocidade do vento

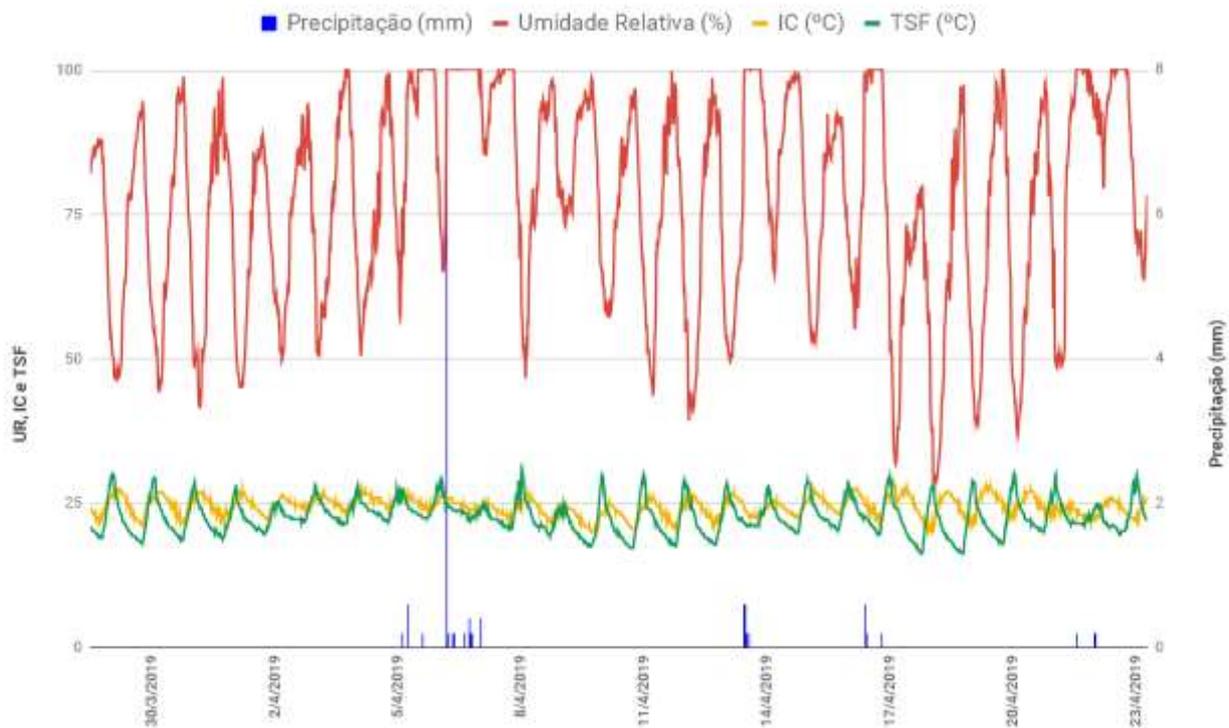


Fonte: Aatoria 46rópria

### 5.2.3. Análise de temperatura, umidade relativa e precipitação

Durante o período de coleta de dados, a maior precipitação registrada foi no dia 06/04/2019. A Umidade Relativa aumentou para 100%, como era de se esperar, e a temperatura sofreu redução também. Em outras ocorrências de precipitação, o comportamento foi o mesmo.

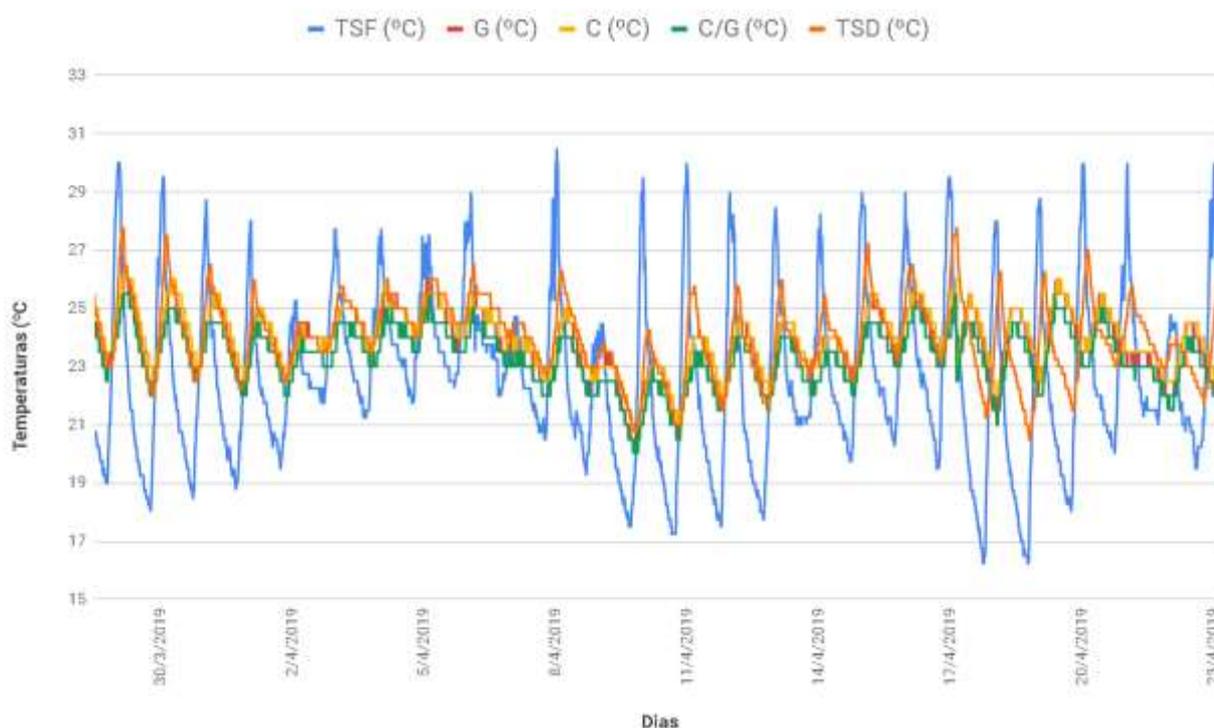
**Figura 8:** Temperatura ambiente, temperatura interna da casa, precipitação e umidade relativa



Fonte: Aatoria 47rópria

#### 5.2.4. Análise temperatura ambiente, temperatura do telhado e temperatura no interior da casa

Para a temperatura do telhado verde, considera-se os sensores utilizados para a medição na sua estrutura, o sensor instalado no gesso (G), o sensor entre o gesso e o concreto (C/G), o sensor no concreto ©, e os sensores que estão no substrato do telhado (TSD), que foram comparadas com a temperatura ambiente medida (TSF). A Figura 9 apresenta os valores das temperaturas do telhado verde e dos sensores durante o período de medição.

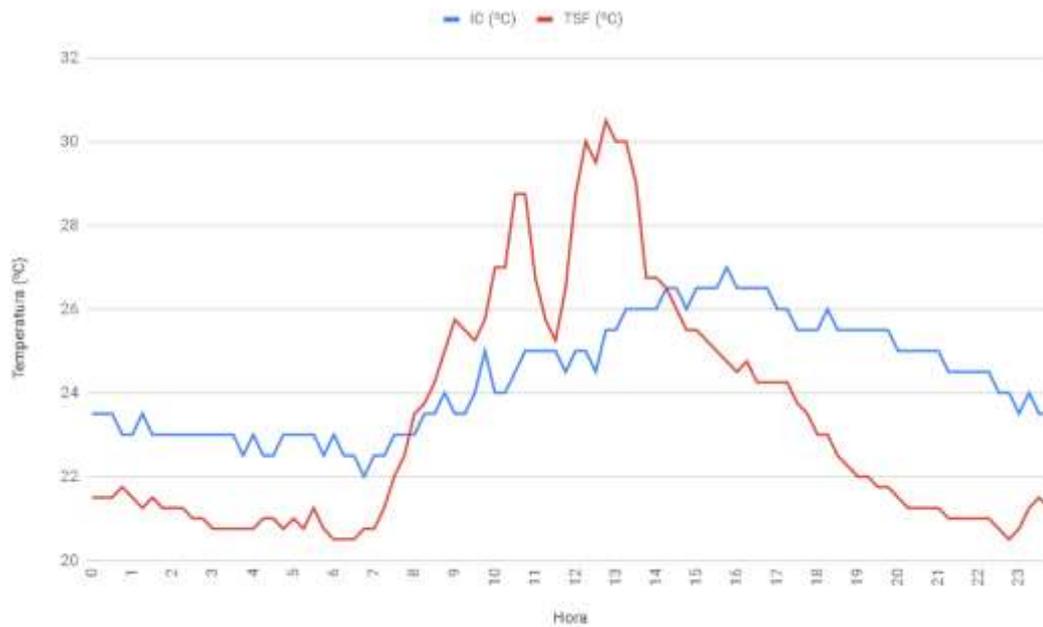
**Figura 9:** Temperatura ambiente x Temperatura Telhado Verde

**Fonte:** Autoria própria

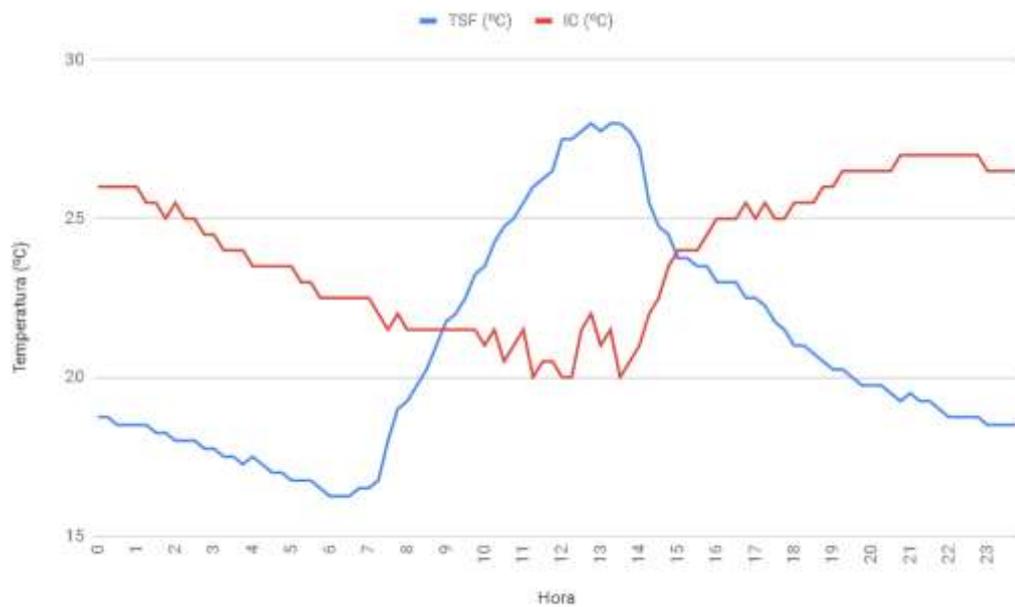
As temperaturas de superfície do telhado apresentam maiores variações ao longo do tempo, o que pode ser explicado pela variação da radiação e pelo efeito de perda de calor por convecção associado aos ventos. As temperaturas internas do telhado verde e da superfície interna variam menos e de forma aproximada quanto aos valores e taxas de aumento e diminuição de temperatura.

### 5.2.5. Temperatura mais quente e temperatura mais baixa

A Figura 10 ilustra as temperaturas do dia 08/04/2019, no qual a temperatura externa chegou ao valor mais alto dentre os outros medidos, chegando a 30,5°C às 12h45m. Neste horário a temperatura no interior da casa era de 25,5°C.

**Figura 10:** Dia com a temperatura mais quente**Fonte:** Autoria própria

Na figura 11 está representado o dia 18/04/2019, dia que a menor temperatura externa foi de 16,25°C às 06h30m. No interior da casa a temperatura era de 22,5°C.

**Figura 11:** Dia com a temperatura mais baixa**Fonte:** Autoria própria

A grande diferença de temperatura interna e externa denota a capacidade térmica do telhado verde e a possibilidade de manutenção de temperaturas mais amenas no verão e/ou dias mais quentes e com maior radiação e de temperaturas maiores no inverno. A amplitude térmica de temperatura do telhado verde na superfície foi de 14,25 °C entre o dia mais quente e o dia mais frio. Já no interior da edificação a amplitude térmica foi de 3 °C. A variação externa foi de aproximadamente 375% acima da variação interna do TV.

Nas figuras 12 e 13 estão representados os dias em que houve a maior variação positiva e negativa entre a temperatura ambiente registrada e a temperatura no interior da casa.

**Figura 12:** Dia com maior variação positiva de temperatura entre TSF e IC



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 13:** Dia com maior variação negativa de temperatura entre TSF e IC



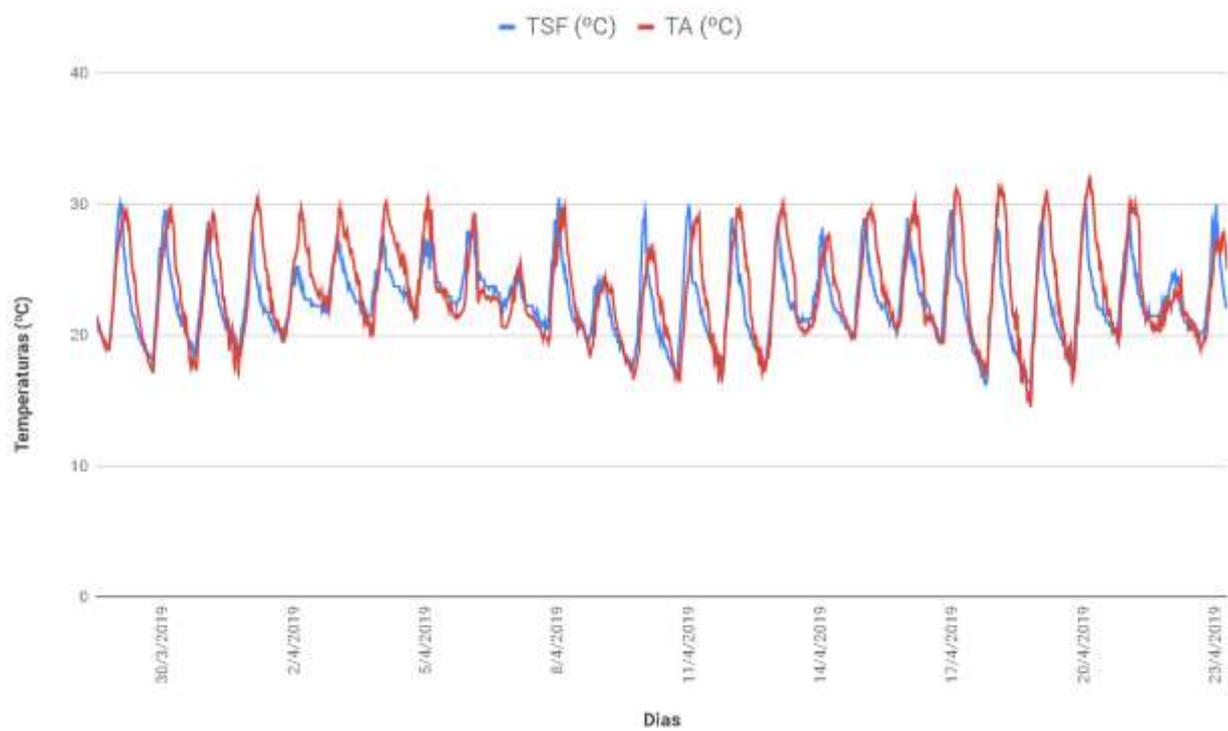
**Fonte:** Autoria própria

No dia 23/04, a maior variação foi de 8,5°C às 12h30m. A temperatura em TSF foi de 30°C e a IC foi de 21,5°C. E no dia 19/04, a maior variação foi de -8,5°C às 3h00m. A temperatura em TSF foi de 17°C e IC foi de 25,5°C.

A eficiência do telhado verde em manter o conforto térmico no interior da casa, pode ser verificada através das diferenças de temperatura apresentadas. Neste caso, a variação interna foi de 4 °C e a da superfície externa de 13 °C. A variação externa foi de 225% em relação a variação interna.

Na Figura 14 abaixo, comparou-se os valores de temperatura observados nos sensores instalados na parte exterior do telhado (TSF) com os dados obtidos pelo SIMEPAR (TA). As temperaturas estão próximas, sendo possível obter uma melhor interpretação dos resultados. A maior temperatura registrada pelo sensor TSF foi de 30,5°C, enquanto no mesmo horário, a TA registrou 28°C.

**Figura 14:** Comparação dos dados de Temperatura dos sensores com dados de Temperatura da SIMEPAR

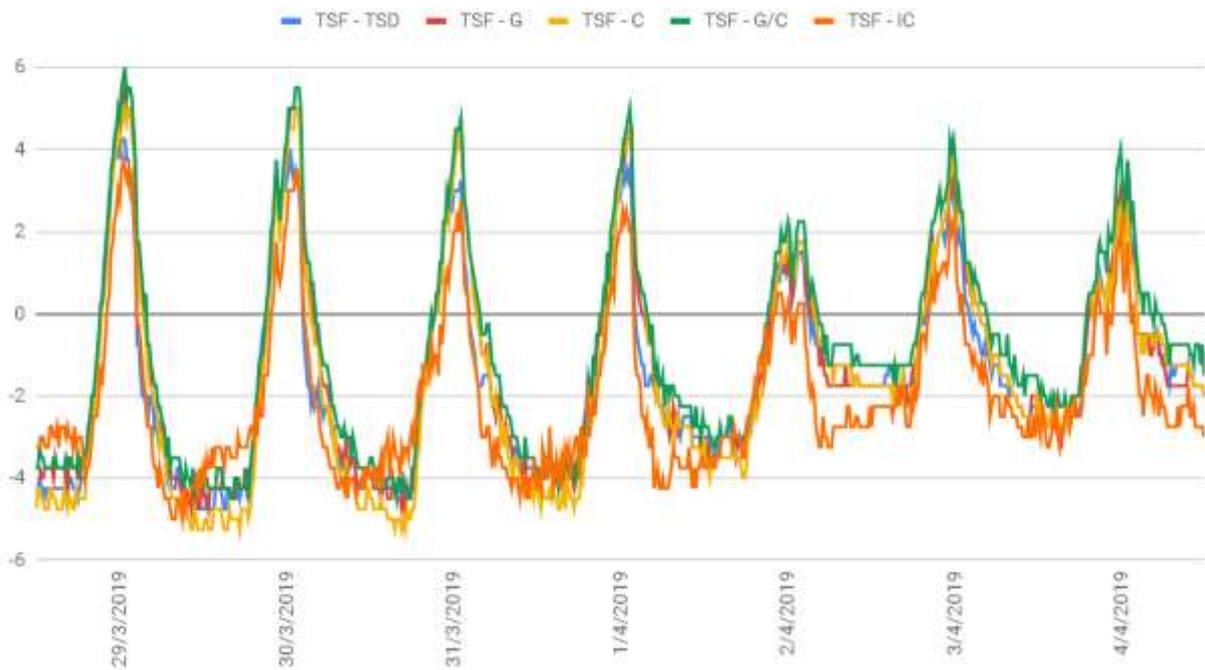


**Fonte:** Autoria própria

Nas figuras 15 a 18, estão apresentadas, as diferenças entre a temperatura ambiente medida pelo sensor externo (TSF), e os sensores do telhado e o sensor interno.

**Figura 15:** Diferença entre temperatura ambiente e sensor-s - 29/03 a 04/04/2019

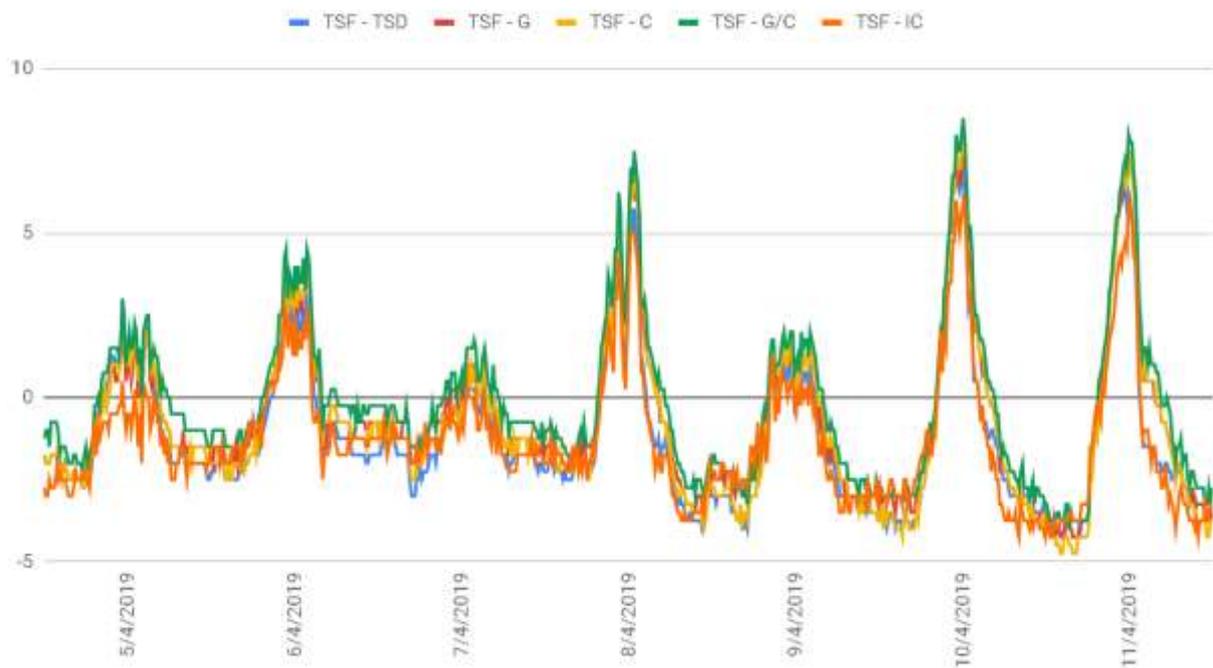
Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 29/03 a 04/04/2019



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 16:** Diferença entre temperatura ambiente e sensor-s - 05/04/2019 a 11/04/2019

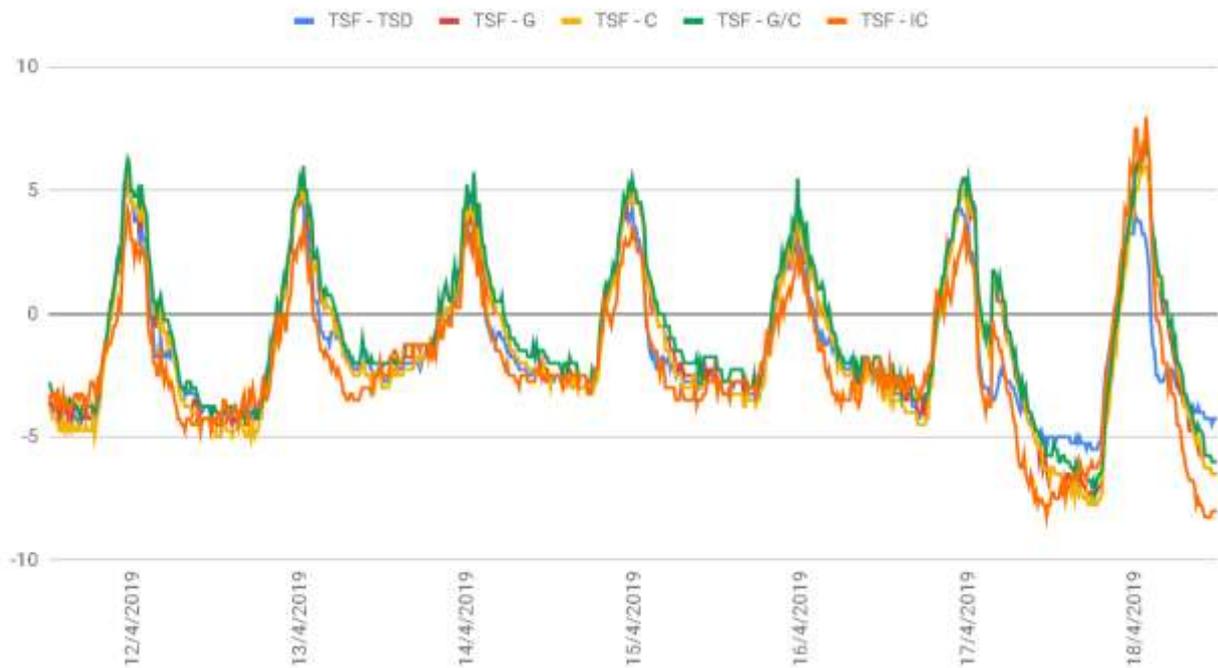
Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 05/04/2019 a 11/04/2019



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 17:** Diferença entre temperatura ambiente e sensor-s - 12/04/2019 a 18/04/2019

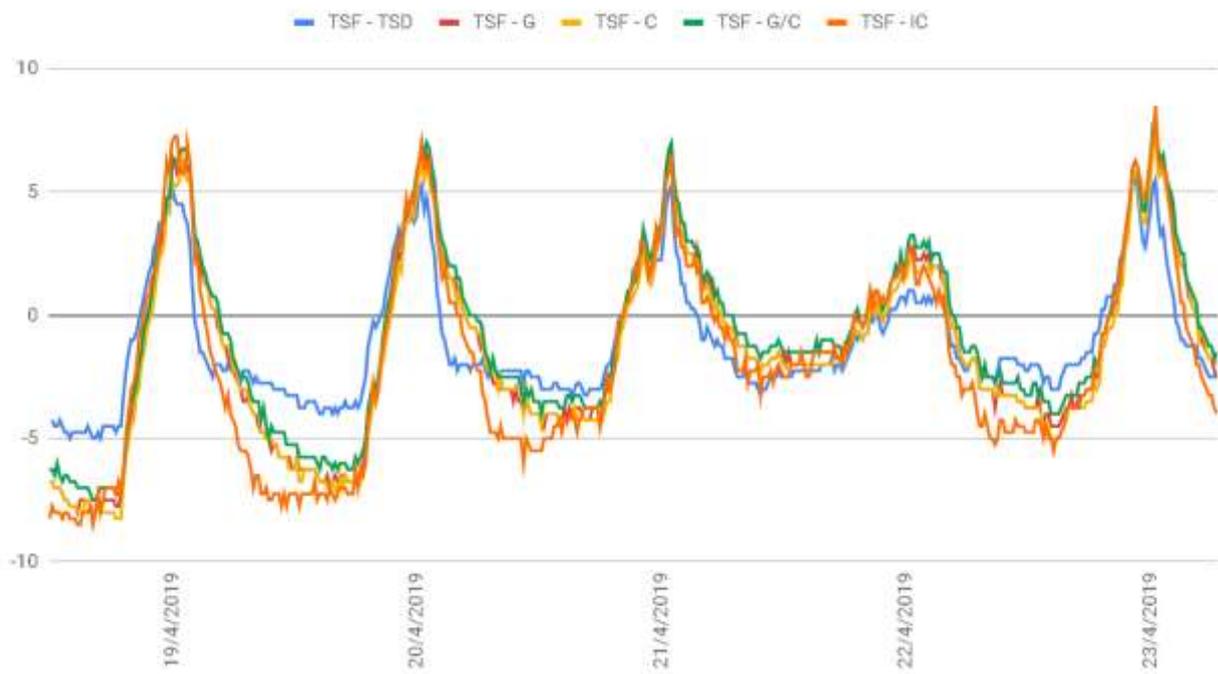
Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 12/04/2019 a 18/04/2019



**Fonte:** Autoria própria

**Figura 18:** Diferença entre temperatura ambiente e sensor-s - 19/04/2019 a 23/04/2019

Diferença entre temperatura ambiente e sensores - 19/04/2019 a 23/04/2019

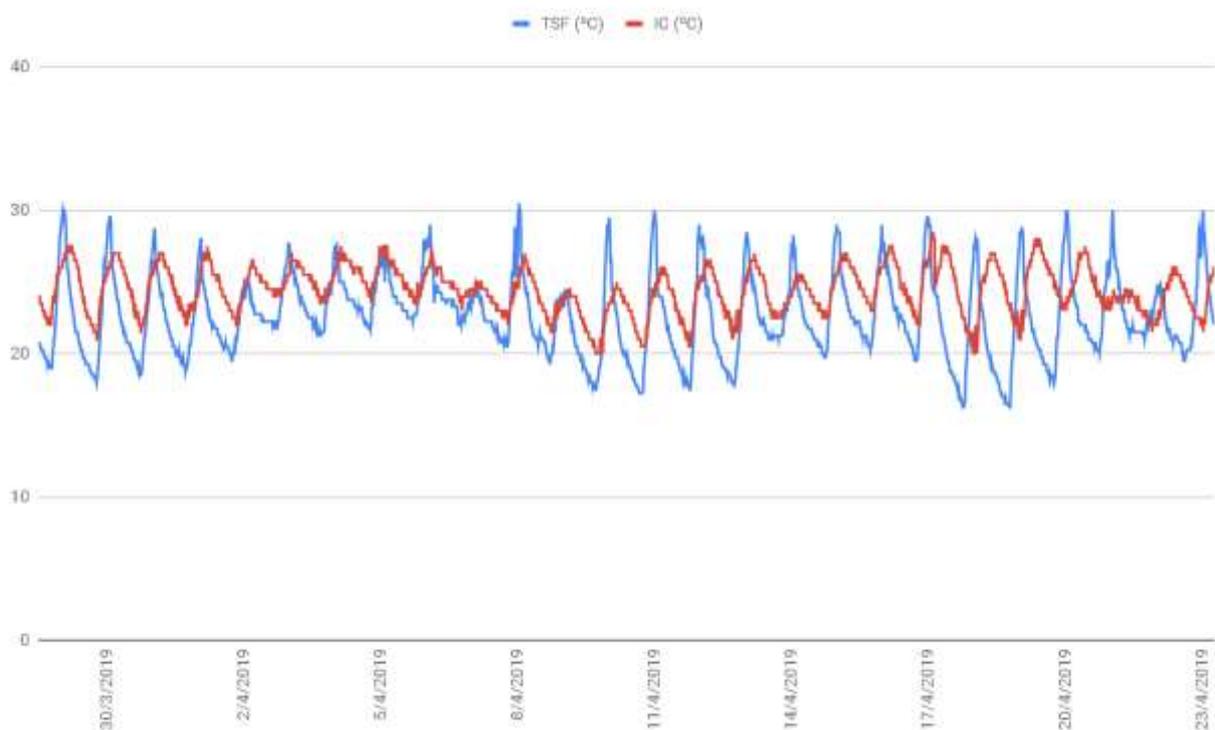


**Fonte:** Autoria própria

Foram registradas diferenças de até 8,5°C entre as temperaturas externas com relação ao sensor instalado no interior na casa. Isto comprova que o uso dos telhados verdes altera a temperatura interna da edificação pelo aumento do conforto térmico e pela capacidade térmica do TV. Os benefícios da vegetação no telhado verde são: a redução da radiação solar direta e menor temperatura do ar devido ao sombreamento e a evapotranspiração (SPANGENBERG, 2004).

Na Figura 19, analisaram-se os valores de temperatura do sensor suspenso no interior da casa. Pode-se verificar que o telhado verde se mostrou eficiente como solução para proporcionar conforto térmico no interior da residência.

**Figura 19:** Diferença entre temperatura ambiente e interior da casa



**Fonte:** Autoria própria

Nos períodos em que a temperatura ambiente era mais elevada, o telhado verde reduziu a temperatura para o ambiente interno. Assim como nos períodos em que a temperatura foi baixa, o telhado verde propiciou um ambiente mais quente com temperaturas confortáveis. As temperaturas baixas auxiliam na melhora de condições de conforto térmico, e também limitam o uso de energia utilizada para resfriamento.

Para a temperatura ambiente (TSA) obteve-se a média de 22,65°C com um desvio

padrão de 1,31. Para a temperatura interna na residência, a média foi de 24,44°C com um desvio padrão de 0,99.

Os valores obtidos durante a coleta de dados neste trabalho demonstram que o telhado verde proporciona conforto térmico para o ambiente em que está instalado. Sua eficiência em relação as temperaturas sugerem que essa tecnologia é uma alternativa técnica viável para amenizar as temperaturas geradas pelas ilhas de calor nos grandes centros urbanos.

### 5.2.6. Cálculo de gastos com energia elétrica

Considera-se neste estudo, 23 °C como a temperatura de conforto térmico para os integrantes da residência. Para atingir essa temperatura, no interior das casas, escritórios, laboratórios são utilizado aparelhos como ar condicionado e aquecedores. O telhado verde contribui com a redução ou aumento da temperatura interna da casa, dessa forma, menos energia é consumida por estes equipamentos que proporcionam a temperatura ideal para o conforto térmico.

Para simular o cálculo de gastos de energia utilizada por equipamentos de climatização interna, foi utilizada a Equação 15.

$$Q = m \times C \times \Delta T \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

Q = Quantidade calor (kWh.dia)

m = Massa do ar em volume (m<sup>3</sup>)

C = Calor específico do ar (kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

ΔT = Diferença de temperatura para o conforto térmico (°C)

Para m, utilizou-se o valor de 90,528 m<sup>3</sup>, calculado pela multiplicação da área do telhado (23,01 m<sup>2</sup>) pela altura de 3,2m. O valor de C utilizado foi 1,0048 kJ.kg<sup>-1</sup> (CENGEL, 2009). E ΔT, foi a diferença de temperatura entre a temperatura interna da casa (IC) e a temperatura de conforto térmico.

O valor encontrado para o mês de Abril em quantidade de energia foi de 15,01 kWh.dia. Considerando o valor de 0,7865 R\$/kWh, a tarifa de energia da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) para residências, o valor gasto com climatização interna

pela residência foi de R\$ 11,80.

### 5.3. BALANÇO DE ENERGIA

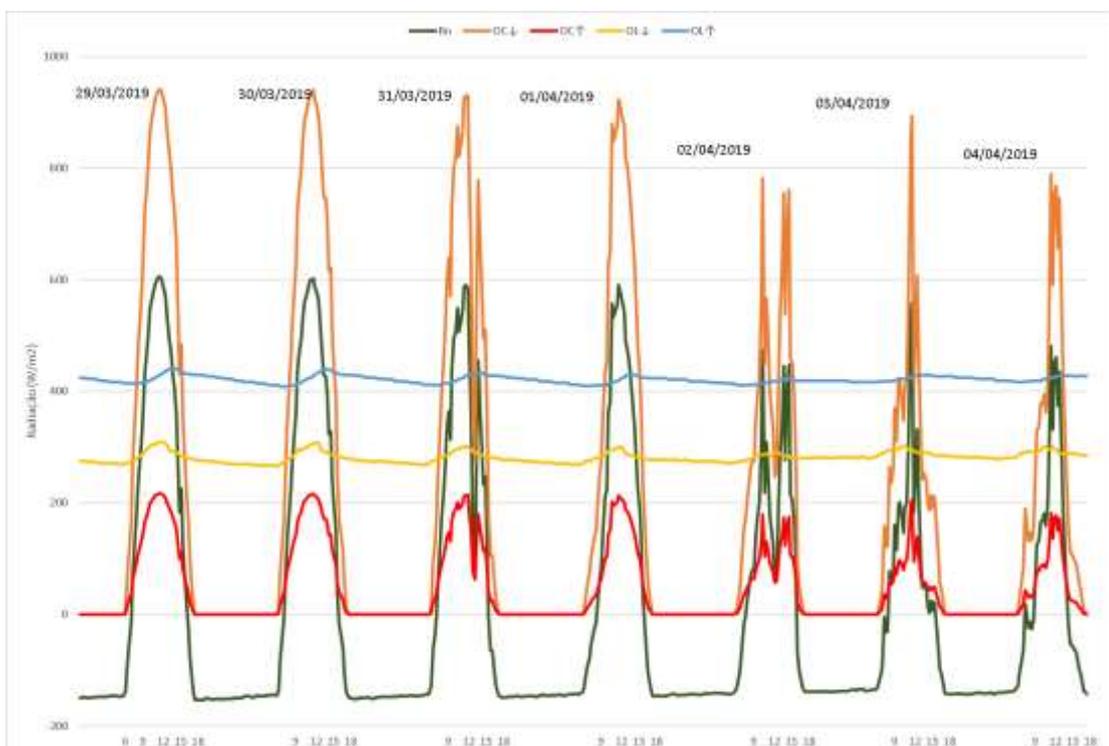
Este item apresenta uma análise dos resultados gerados no telhado verde estudado acerca da análise dos componentes do balanço de energia obtidos, e a determinação do seu balanço energético.

O saldo de radiação ( $R_n$ ), calculado à partir da Equação 16, é composto pelo balanço de radiação de ondas curtas ( $OC_{\downarrow} - OC_{\uparrow}$ ) e longas ( $OL_{\downarrow} - OL_{\uparrow}$ ), e os fluxos de calor latente ( $Q_{latente}$ ), por convecção ( $Q_{convecção}$ ) e por condução ( $Q_{condução}$ ) obtidos pelas equações 7, 8 e 9.

$$R_n = (OC_{\downarrow} - OC_{\uparrow}) + (OL_{\downarrow} - OL_{\uparrow}) \quad (16)$$

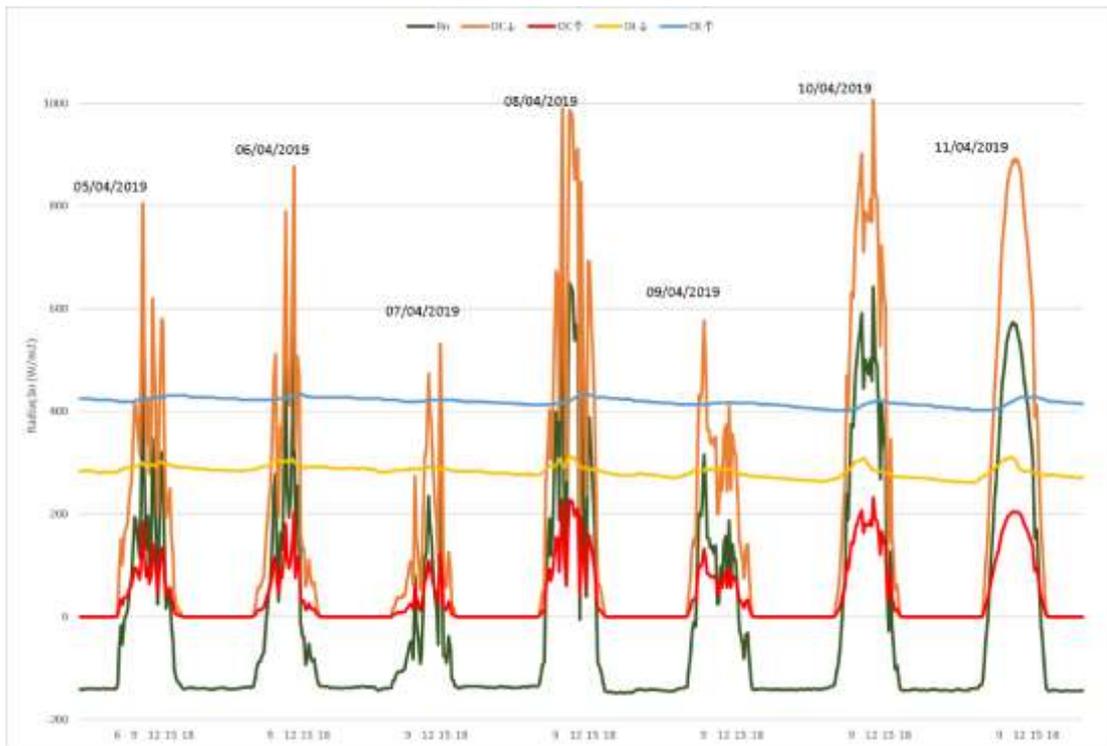
Nas figuras 20 a 23 estão representadas graficamente as variações horárias por dia e horários no período das 6 às 18 horas dos componentes medidos para o saldo de radiação na superfície do telhado verde. Essa faixa horária foi definida devido ao fato de que a radiação positiva ocorre em horário diurno.

**Figura 20:** Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 29/03/2019 a 04/04/2019



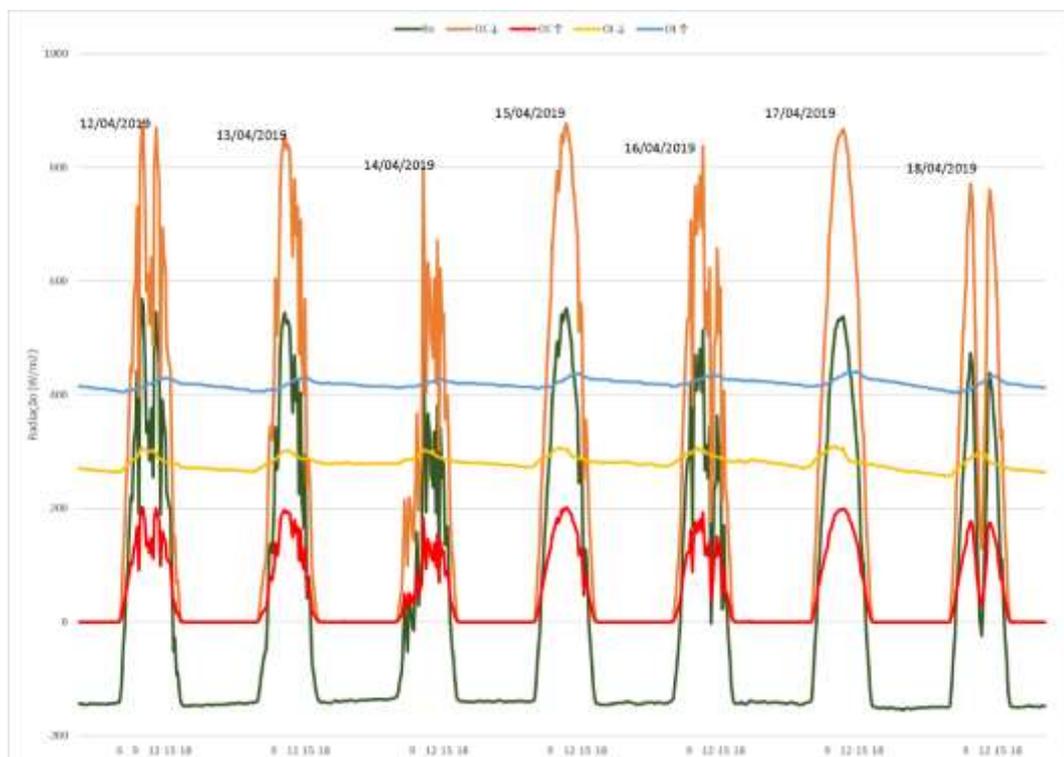
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 21:** Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 05/04/2019 a 11/04/2019



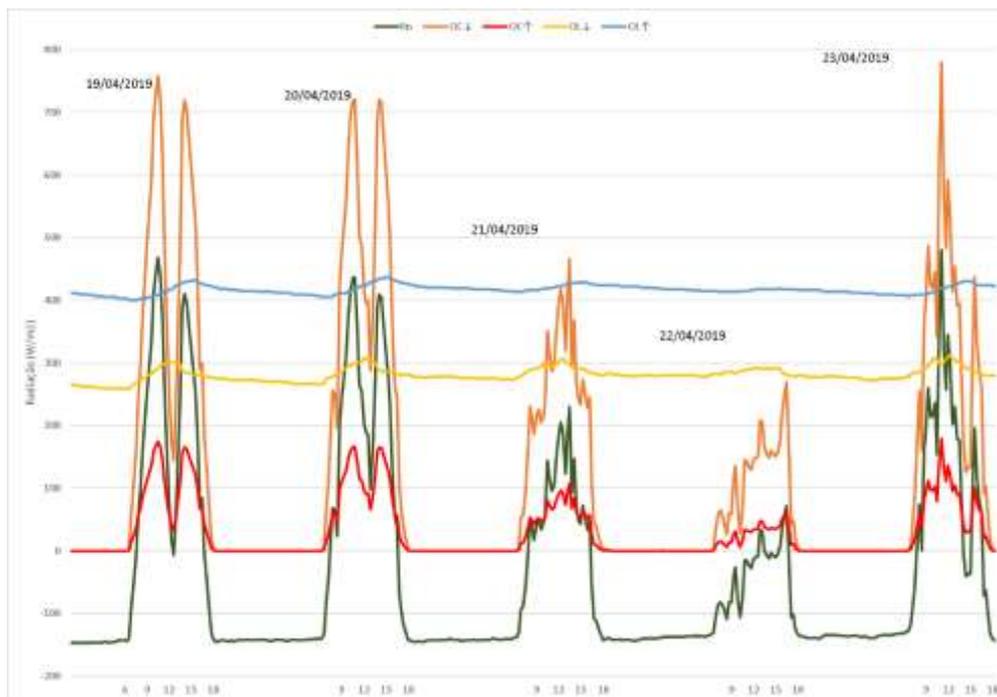
Fonte: Autoria própria

**Figura 22:** Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 12/04/2019 a 18/04/2019



Fonte: Autoria própria

**Figura 23:** Variações horárias por dia dos componentes do balanço de radiação – 19/04/2019 a 23/04/2019



**Fonte:** Autoria própria

Os valores encontrados para a radiação global incidente ( $OC_{\downarrow}$ ) durante todo o período se apresentaram na faixa entre 0 e  $1007,00 \text{ W.m}^{-2}$ , para  $OC_{\uparrow}$  entre 0 e  $231,61 \text{ W.m}^{-2}$ , a  $OL_{\downarrow}$  entre  $256,65$  e  $312,14 \text{ W.m}^{-2}$ , e para  $OL_{\uparrow}$  entre  $399,70$  e  $440,69 \text{ W.m}^{-2}$ .

O saldo de radiação ( $R_n$ ) ficou entre  $-155,16$  a  $649,92 \text{ W.m}^{-2}$  Palmeira (2016), calculou médias dos valores para o seu período de estudo, considerando apenas os valores no intervalo das 8 às 17h. Para fins de comparação, calculou-se a energia média de radiação do telhado em estudo também no intervalo das 7 às 18h, Estes valores são apresentados no Quadro 9.

**Quadro 9:** Comparação de médias de radiação com Palmeira (2016)

	Palmeira (2016) ( $\text{W.m}^{-2}$ )	Telhado Verde Extensivo ( $\text{W.m}^{-2}$ )
$OC_{\downarrow}$	391,08	395,96
$OC_{\uparrow}$	73,02	91,04
$OL_{\downarrow}$	373,39	289,09
$OL_{\uparrow}$	425,81	420,69
$R_n$	265,73	173,20

**Fonte:** Autoria própria

O comportamento dos componentes do balanço de radiação apresentou valores mais elevados, com exceção das ondas longas, ocorrendo durante o período diurno, onde a energia disponível é dominada pelas trocas de radiação de OCs.

Não ocorreram variações significativas no período das 19 às 5 horas, devido ao fato de que neste período, o  $R_n$  é composto apenas pelos fluxos de ondas longas. Assim, as perdas na superfície são controladas pela temperatura da superfície e pela emissividade (OKE, 1987; GALVÃO, 2000). O balanço de OLs neste período, mostrou-se negativo, significando que a superfície está emitindo mais energia radiante que a atmosfera.

A emissividade do TV e a temperatura do ar afetam diretamente o parâmetro  $OL\uparrow$ . O desempenho de  $OL\uparrow$  apresentou maiores valores e variações nos horários com maiores temperaturas e radiação.

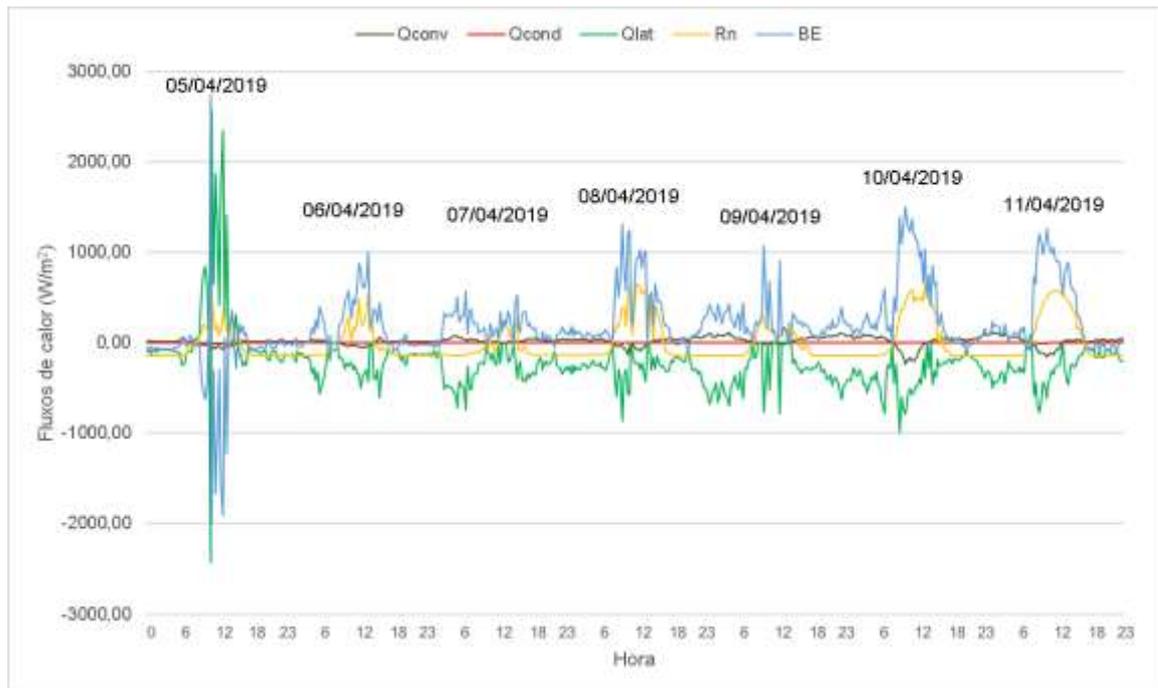
Os componentes  $R_n$ ,  $Q_{condução}$ ,  $Q_{convecção}$  e  $Q_{latente}$  e o cálculo do balanço de energia estão ilustrados nas figuras 24 a 27.

**Figura 24:** Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 29/03/2019 a 04/04/2019



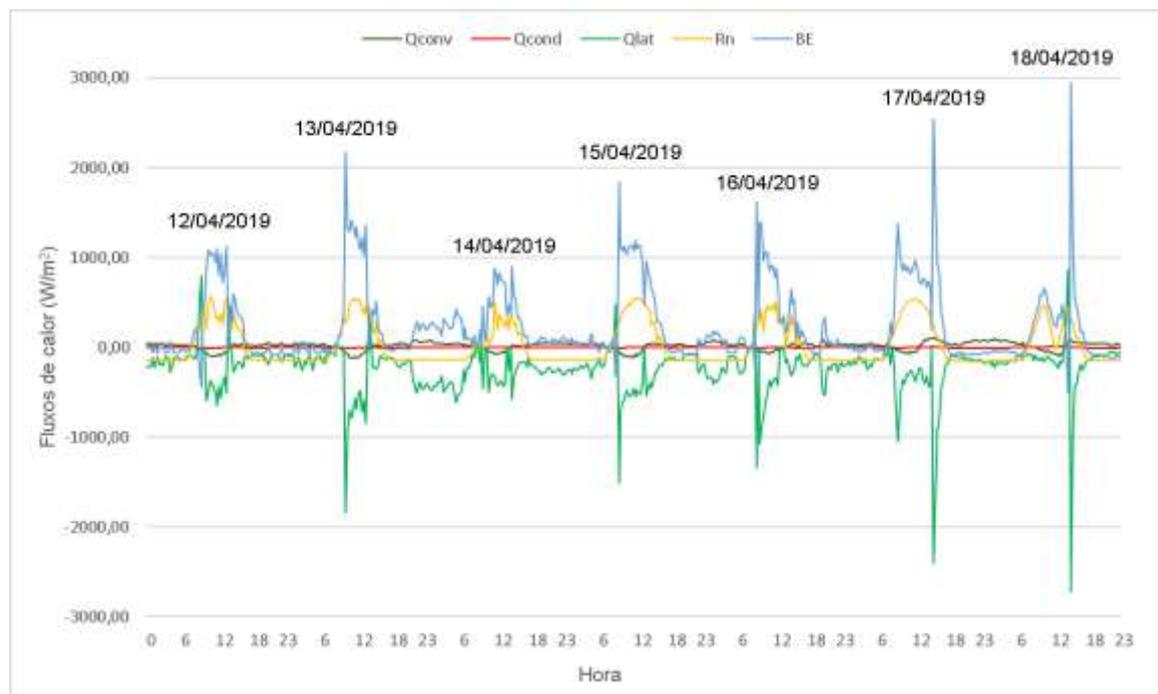
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 25:** Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 05/04/2019 a 11/04/2019



Fonte: Autoria própria

**Figura 26:** Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 12/04/2019 a 18/04/2019



Fonte: Autoria própria

**Figura 27:** Balanço de energia e fluxos de calor do telhado verde – 19/04/2019 a 23/04/2019



**Fonte:** Autoria própria

O calor latente ( $Q_{\text{latente}}$ ) apresentou-se em maior parte do período com valores negativos, indicando mais perda de calor da vegetação do telhado verde para a atmosfera, ou seja, o telhado estava mais aquecido que a atmosfera. As menores perdas foram observadas pelo fluxo de calor por condução.

Com relação ao calor de convecção ( $Q_{\text{convecção}}$ ), este é influenciado por velocidades de vento acima de  $1,75 \text{ m.s}^{-1}$  (GAFFIN et al., 2011). Durante o período de estudo, a velocidade do vento medido pelo SIMEPAR apresentou média de  $3,47 \text{ m.s}^{-1}$ , valor acima dessa margem, interferindo diretamente na vegetação. Este fato promove perda de calor para o ambiente. Deve-se observar que a variável vento foi medida em local próximo do estudo junto a estação meteorológica do SIMEPAR.

Gaffin et al. (2016) dizem que o calor de convecção se trata de calor sensível. Assim, é um processo complexo que envolve a turbulência dos ventos, gradientes de temperatura, e fluxos da camada limite. Em função do valor do coeficiente de convecção utilizado não ser exatamente o do telhado verde em estudo, o fluxo pode ter sido estimado de forma aproximada.

Sobre o calor de condução ( $Q_{\text{condução}}$ ), este fluxo é influenciado pela espessura

ou profundidade da camada analisada. A camada de cobertura do telhado possuía 0,20m, o que justifica os baixos valores para este fluxo.

Os fluxos de calor apresentaram comportamento semelhante durante o período de estudo, os valores foram mais baixos durante o período diurno (7 às 18h), aumentando ao anoitecer e voltando a abaixar ao amanhecer.

Os resultados obtidos foram comparados aos resultados de Palmeira (2016) para o mês de Abril, mesmo mês deste estudo. Os valores estão apresentados no Quadro 10. Os valores são referentes ao intervalo das 7 às 18h.

**Quadro 10:** Comparação com os valores do mês de Abril

	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	Qcondução (W.m <sup>-2</sup> )	Qconvecção (W.m <sup>-2</sup> )	Qlatente (W.m <sup>-2</sup> )	Balanco de Energia (W.m <sup>-2</sup> )
<b>Palmeira (2016) – Abril/2016</b>	73,49	0,66	-6,24	-18,55	97,62
<b>Telhado Verde Extensivo – Abril/2019</b>	173,20	-1,13	-11,24	-217,97	407,54

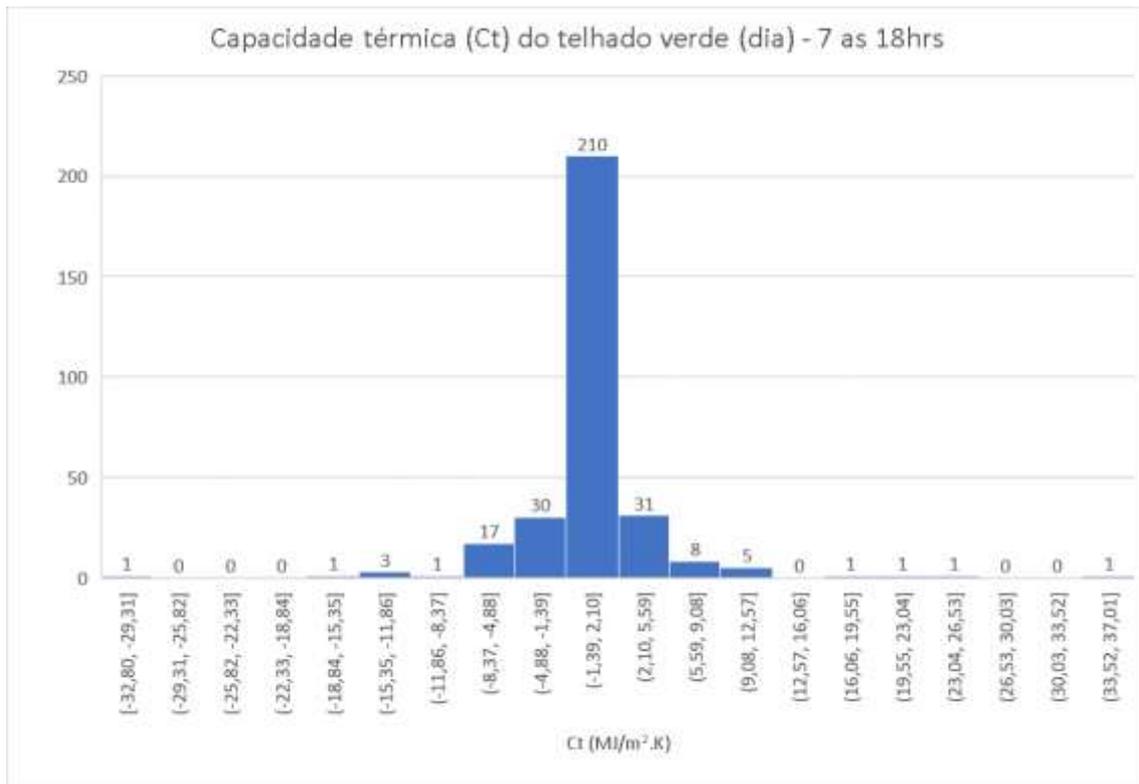
**Fonte:** Autoria própria

Os valores em ordem de magnitude foram próximos aos encontrados por Palmeira (2016), exceto pelo valor de Qlatente e pelo balanço de energia com diferenças de 11,75 e 4,17 vezes, respectivamente.

O cálculo para o balanço energético utilizado neste trabalho, referente ao lado direito da Equação 3, representa a taxa de variação do teor de calor ou energia do telhado verde. A taxa foi calculada como a taxa de variação de temperatura no intervalo de uma hora, vezes o coeficiente de capacidade térmica do telhado verde (CTtv).

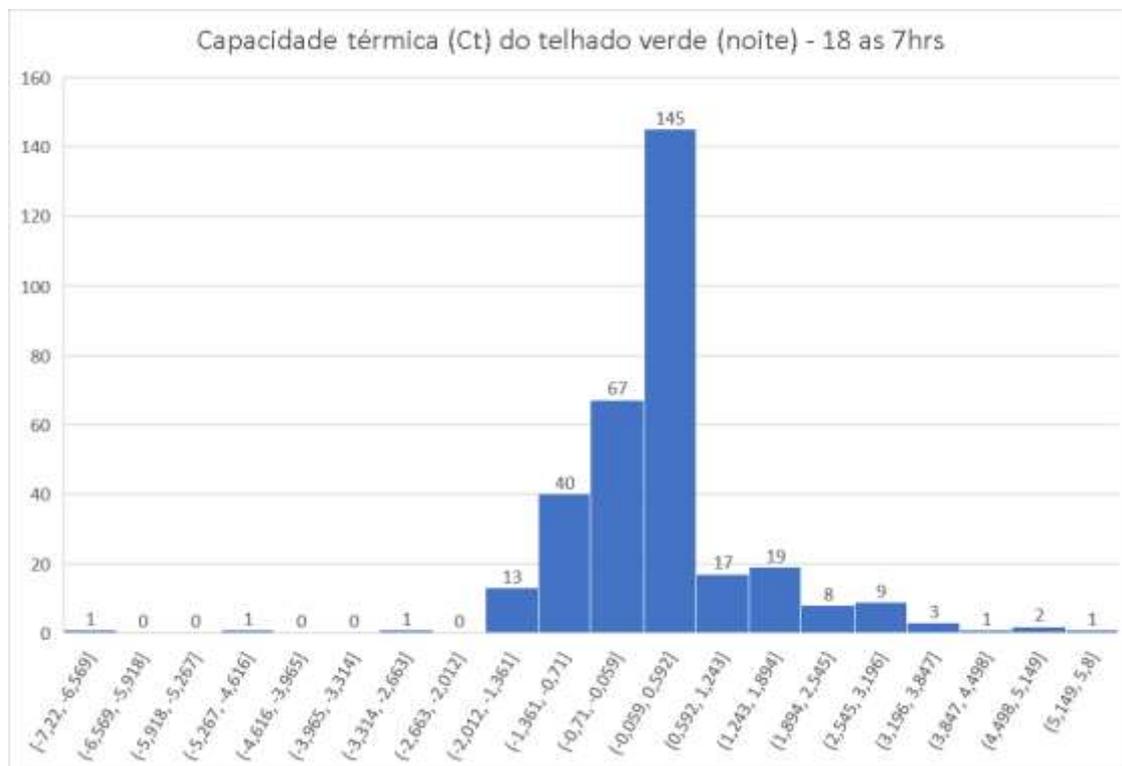
Nas figuras 28 e 29 estão apresentados o histograma do CTtv, bem como a frequência dos valores obtidos para o período do dia (7 às 18h) e da noite (18 às 7h) a partir dos dados coletados.

**Figura 28:** Histograma de Capacidade térmica do telhado verde no período diurno



Fonte: Autoria própria

**Figura 29:** Histograma de Capacidade térmica do telhado verde no período noturno



Fonte: Autoria própria

Os valores para CT<sub>tv</sub> encontrados por Palmeira (2016) variaram de 1,78 a 2,87 MJ.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>, e os valores deste estudo variaram de -32,8 a 37,01 MJ.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>. Porém, esses valores com grande diferença ocorreram apenas uma vez, sendo que a maior frequência dos valores de CT<sub>tv</sub>, 210 vezes, permaneceram entre -1,39 a 2,10 MJ.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup> de dia e, 145 vezes, entre -0,059 a 0,592 MJ.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup> de noite.

Resultados para os valores diurnos que são próximos com os de paredes padronizadas na ABNT NBR 15.220:2003, entre 120 a 445 KJ.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>, e também se incluem no intervalo encontrado por Palmeira (2016) que variou de 1,78 a 2,87 MJ.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>. Quando o balanço de energia, ou seja, o lado esquerdo da Equação 3 resultar em valores positivos, significa que o telhado verde está ganhando mais energia por unidade de tempo do que perdendo (GAFFIN et al., 2011).

#### 5.4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA

O Quadro 11 diz respeito aos impactos do sistema de Telhado Verde, e o Quadro 12 para o sistema de Laje Maciça.

**Quadro 11:** Impactos do sistema Telhado Verde

Categorias de Impacto	Steel framing com drywall internas e placa cimentícia externa (m <sup>3</sup> )	Argila Expandida (m <sup>2</sup> )	Manta geotêxtil (m <sup>2</sup> )	Argamassa (kg)	Substrato (Kg)	Telhado Verde
Acidificação terrestre [kg SO <sub>2</sub> eq]	3,50E-01	0,0237	0,002	0,9433	0,049	1,37E+00
Depleção de ozônio [kg CFC-11 eq]	1,77E-05	0	0	1,89E-05	0,00E+00	3,66E-05
Ecotoxicidade em água doce [kg 1,4-DB eq]	4,15E-01	0,3841	0,15	36,7	0,55	3,82E+01
Ecotoxicidade marinha [kg 1,4-DB eq]	4,00E-01	1742,2	302	9,45E+04	2,10E+03	9,86E+04
Ecotoxicidade terrestre [kg 1,4-DB eq]	1,52E-02	0,0633	0,0009	0,6514	0,067	7,98E-01
Eutrofização em água doce [kg P eq]	2,83E-03	0,0021	0,001	0,3384	0,008	3,52E-01
Mudanças climáticas [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	1,50E+02	3,2703	0,58	438,6	7,60E+00	6,00E+02
Toxicidade Humana [kg 1,4-DB eq]	5,53E+00	2,2117	0,14	50,41	2,8	6,11E+01

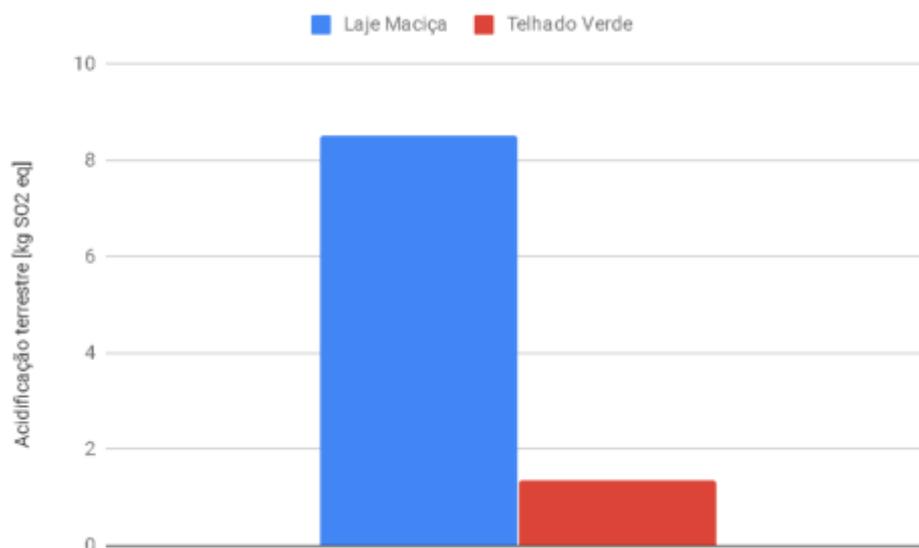
Fonte: Autoria própria

**Quadro 12:** Impactos do sistema de Laje Maciça

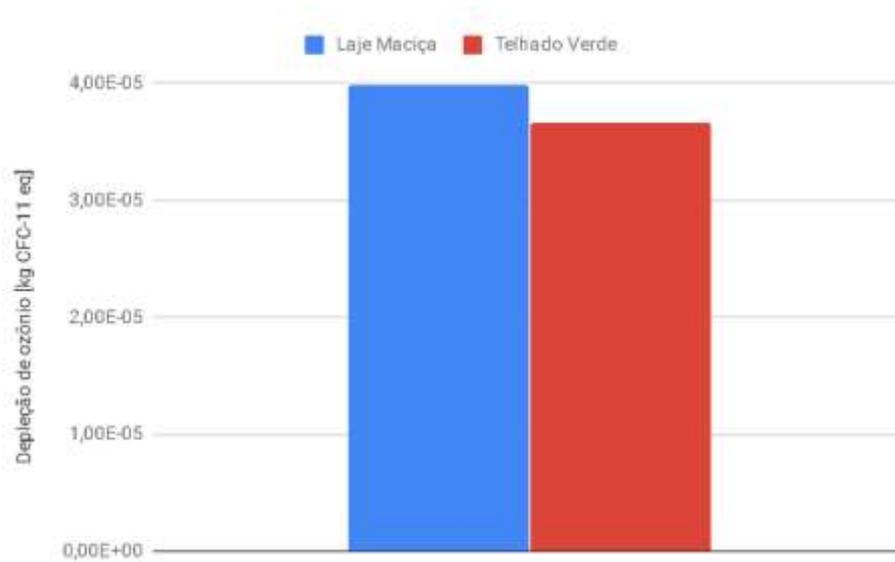
Categorias de Impacto	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (Vegalhão) (kg)	Madeira MDP (m <sup>3</sup> )	Laje Maciça
Acidificação terrestre [kg SO <sub>2</sub> eq]	0,6215	5,50E+00	2,4	8,5215
Depleção de ozônio [kg CFC-11 eq]	1,28E-05	2,70E-05	-	3,98E-05
Ecotoxicidade em água doce [kg 1,4-DB eq]	21,84	5,20E+00	11,33	38,37
Ecotoxicidade marinha [kg 1,4-DB eq]	6,35E+04	2,70E+04	12211,63	1,03E+05
Ecotoxicidade terrestre [kg 1,4-DB eq]	0,3856	4,30E-02	0,43	0,8586
Eutrofização em água doce [kg P eq]	0,2245	4,60E-01	0,132	0,8165
Mudanças climáticas [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	273,76	7,20E+02	333,28	1327,04
Toxicidade Humana [kg 1,4-DB eq]	34,22	5,90E+01	8,66	101,88

Fonte: Autoria própria

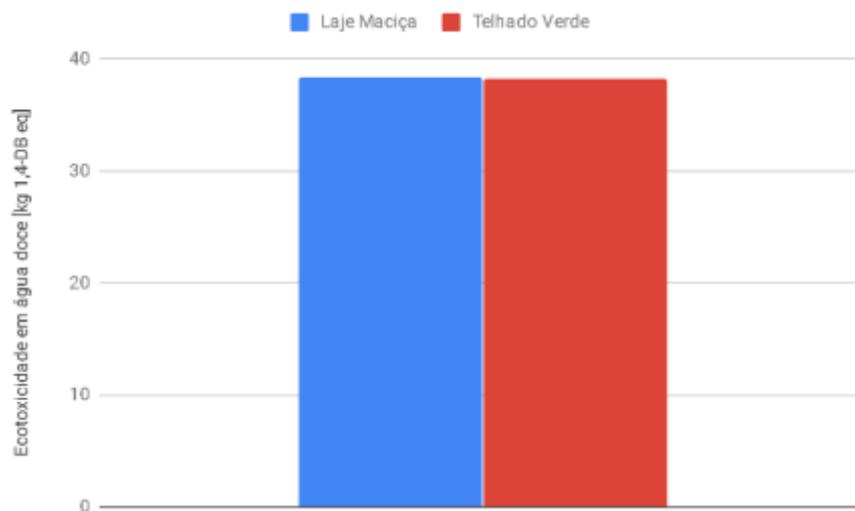
Os valores obtidos foram comparados por categorias de impacto e ilustrados graficamente nas figuras a seguir.

**Figura 30:** Comparação de acidificação terrestre dos sistemas

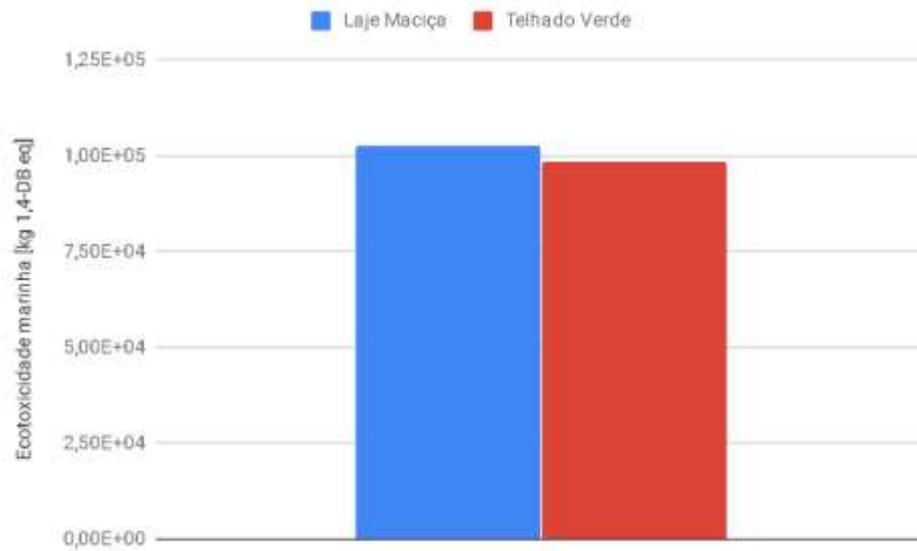
Fonte: Autoria própria

**Figura 31:** Comparação de depleção de ozônio dos sistemas

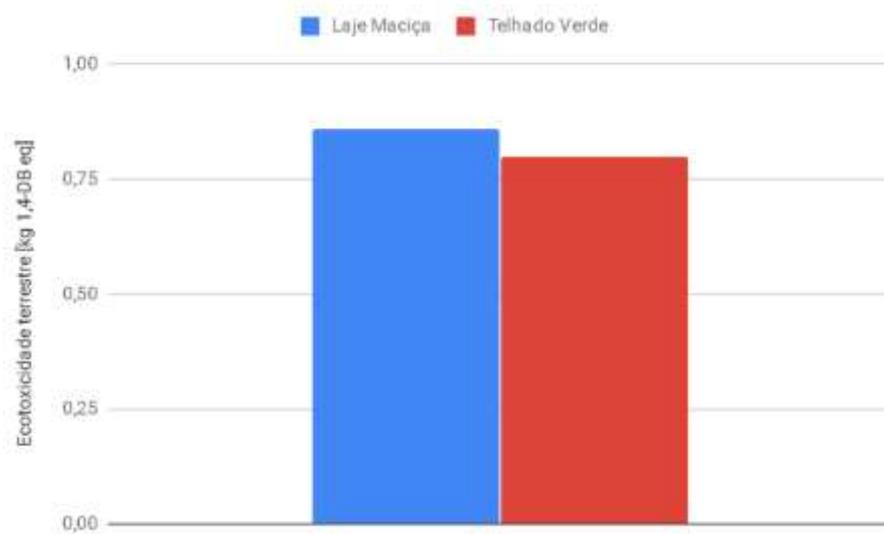
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 32:** Comparação de ecotoxicidade em água doce dos sistemas

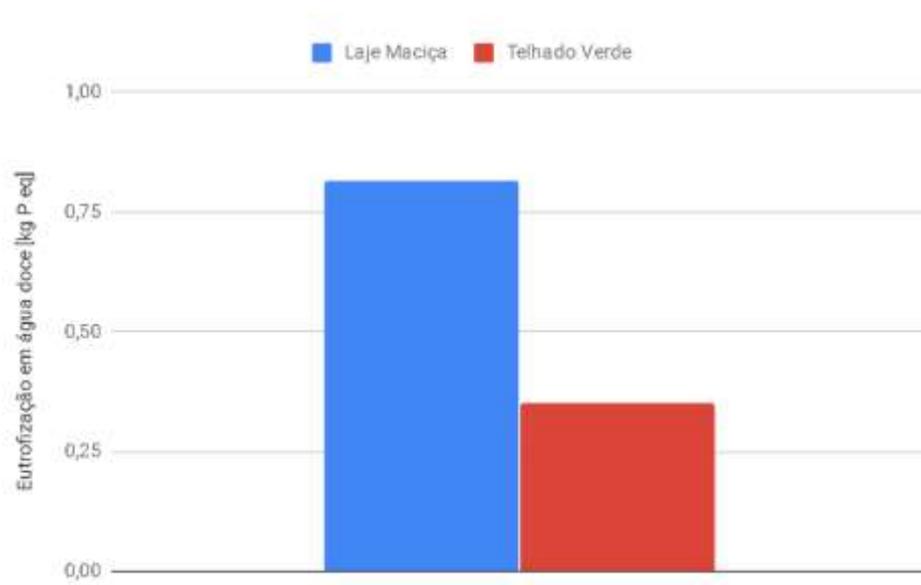
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 33:** Comparação de ecotoxicidade marinha dos sistemas

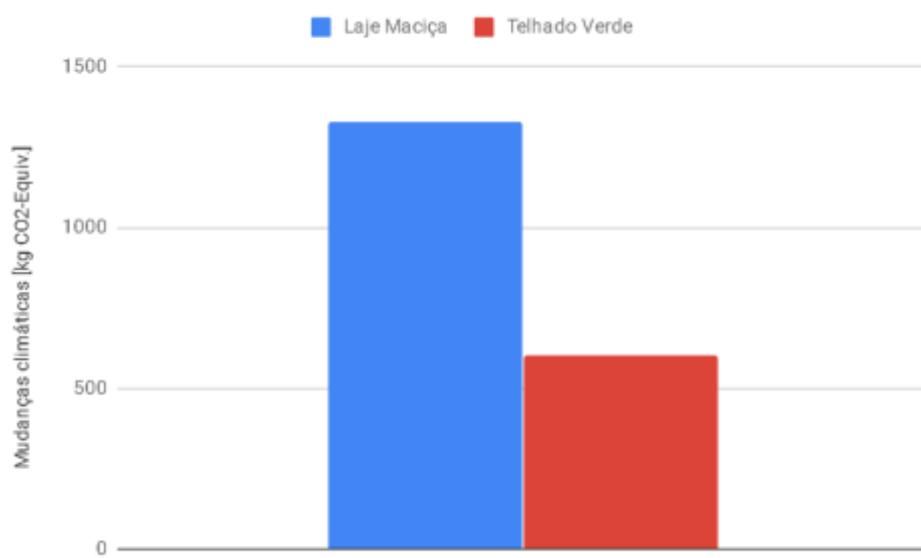
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 34:** Comparação de ecotoxicidade terrestre dos sistemas

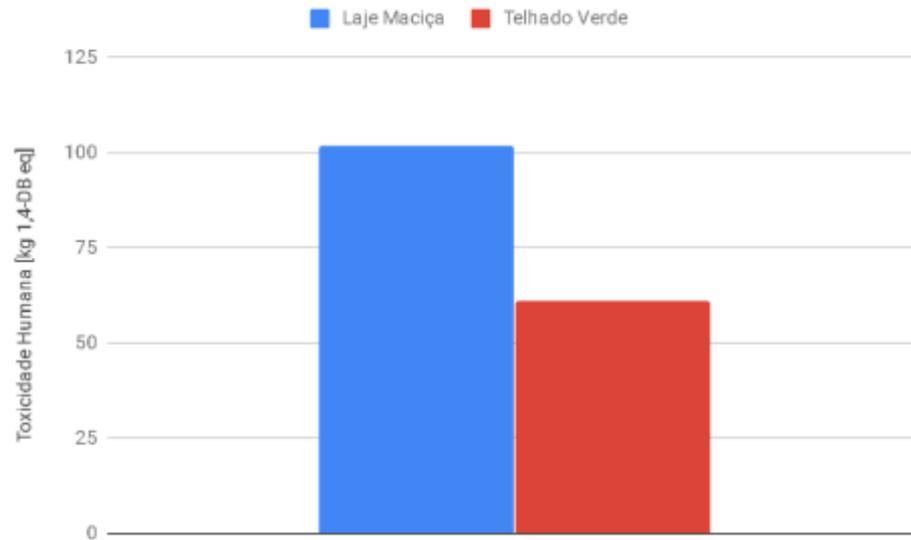
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 35:** Comparação de eutrofização em água doce dos sistemas

**Fonte:** Autoria própria

**Figura 36:** Comparação de mudanças climáticas dos sistemas

**Fonte:** Autoria própria

**Figura 37:** Comparação de toxicidade humana dos sistemas

**Fonte:** Autoria própria

Com base nos resultados apresentados, a laje maciça apareceu como mais impactante ao meio ambiente em todas as categorias analisadas. Para os valores não foram consideradas as distâncias, tipos de transporte utilizados, quantidade de energia utilizada, especificamente para os sistemas em estudo.

Nos quadros 13 e 14, estão apresentadas as porcentagens da contribuição de cada material para cada impacto analisado.

**Quadro 13:** Contribuição de cada material para os impactos analisados de telhado verde

Categorias de Impacto	Steel framing com drywall internas e placa cimentícia externa (m <sup>3</sup> )	Argila Expandida (m <sup>2</sup> )	Manta geotêxtil (m <sup>2</sup> )	Argamassa (m <sup>3</sup> )	Substrato (Kg)	Telhado Verde
Acidificação terrestre [kg SO <sub>2</sub> eq]	25,58%	1,73%	0,15%	68,95%	3,58%	100,00%
Depleção de ozônio [kg CFC-11 eq]	48,36%	0,00%	0,00%	51,64%	0,00%	100,00%
Ecotoxicidade em água doce [kg 1,4-DB eq]	1,09%	1,01%	0,39%	96,08%	1,44%	100,00%
Ecotoxicidade marinha [kg 1,4-DB eq]	0,00%	1,77%	0,31%	95,79%	2,13%	100,00%
Ecotoxicidade terrestre [kg 1,4-DB eq]	1,91%	7,93%	0,11%	81,65%	8,40%	100,00%
Eutrofização em água doce [kg P eq]	0,80%	0,60%	0,28%	96,05%	2,27%	100,00%
Mudanças climáticas [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	25,00%	0,55%	0,10%	73,09%	1,27%	100,00%
Toxicidade Humana [kg 1,4-DB eq]	9,05%	3,62%	0,23%	82,52%	4,58%	100,00%

**Fonte:** Autoria própria

**Quadro 14:** Contribuição de cada material para os impactos analisados da laje maciça

<b>Categorias de Impacto</b>	<b>CONCRETO (m3)</b>	<b>Aço (Vegalhão) (Kg)</b>	<b>Madeira MDP (m³)</b>	<b>Laje Maciça</b>
<b>Acidificação terrestre [kg SO2 eq]</b>	7,29%	64,54%	28,16%	100,00%
<b>Depleção de ozônio [kg CFC-11 eq]</b>	32,16%	67,84%	0,00%	100,00%
<b>Ecotoxicidade em água doce [kg 1,4-DB eq]</b>	56,92%	13,55%	29,53%	100,00%
<b>Ecotoxicidade marinha [kg 1,4-DB eq]</b>	61,82%	26,29%	11,89%	100,00%
<b>Ecotoxicidade terrestre [kg 1,4-DB eq]</b>	44,91%	5,01%	50,08%	100,00%
<b>Eutrofização em água doce [kg P eq]</b>	27,50%	56,34%	16,17%	100,00%
<b>Mudanças climáticas [kg CO2-Equiv.]</b>	20,63%	54,26%	25,11%	100,00%
<b>Toxicidade Humana [kg 1,4-DB eq]</b>	33,59%	57,91%	8,50%	100,00%

**Fonte:** Autoria própria

Para o telhado verde, a argamassa mostrou-se como o material com maior contribuição para os impactos ambientais deste sistema. E no sistema de laje maciça, o Aço foi o material com maior contribuição nos impactos ambientais.

## 6. CONCLUSÃO

O comportamento térmico do telhado verde mostrou-se como era esperado, proporcionando pequenas variações de temperatura interna em relação aos valores de temperatura externa. Foi comprovado que o telhado verde proporcionou o conforto térmico da residência em estudo, sendo observado diferenças de temperatura de até 8,5°C com a temperatura superficial externa.

A maioria das medidas realizadas apresentaram temperatura interna menor que a temperatura externa nas horas mais quentes do dia, e temperatura interna maior que a externa nas horas mais frias.

As radiações de onda longa e curta apresentaram índices mais elevados durante o dia e mais baixos durante a noite. Sendo que, no período diurno, o saldo de radiação ( $R_n$ ) que é composto pela radiação de onda curta (OC) e as trocas de energia são relacionadas com o albedo da superfície. No período noturno,  $R_n$  é composto pelos fluxos de onda longa, e as perdas na superfície são controladas pela temperatura na superfície e sua emissividade. O balanço de OL foi negativo praticamente em todo o período de monitoramento, demonstrando que a superfície do TV emitiu mais energia radiante que a atmosfera.

O balanço de energia resultou em valores positivos durante quase todo o período de monitoramento, concluindo-se que o sistema do telhado verde está ganhando e armazenando mais energia por unidade de tempo do que perdendo.

A qualidade de água pluvial do telhado verde em estudo apresentou características inadequadas para o reúso em sistemas de vaso sanitário. Porém, pode atender sistemas de irrigação e limpeza de pátios externos.

O impacto ambiental do telhado verde foi menor que o sistema em laje maciça em todas as categorias de impacto analisadas. Demonstrando que o sistema de telhado verde é menos impactante ambientalmente, além de proporcionar mais benefícios não observados em coberturas convencionais como conforto térmico, redução de escoamento de água superficial.

Para a análise energética e de conforto ambiental o TV possui uma função importante para as áreas urbanas, com possibilidade de economia de energia no ambiente e de proporcionar um aumento de áreas verdes. Assim, políticas públicas de incentivo a construção de TVs devem ser implementadas como uma solução para melhorar o

mesoclima de áreas urbanas.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTO, E. Z. et al. **Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis**. Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress. p.171-173. 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climat classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ASCIONE F., BIANCO N., DE ROSSI F., TURNI G., VANOLI G. P. **Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?** Appl. Energy, 104 (2013)
- ABNT. 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.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 15220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527**. Água de chuva, Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro, 2007.
- BENTO, R. C., CARDOSO, P. F., KOMESU, A., OMETTO, A. R., ROSSI, E., & ROSSIGNOLO, J. A.. **Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**. In: 55º Congresso Brasileiro do Concreto. 2013.
- BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. **How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials**. Building and Environment, v. 48, p.57-65, 2012.
- BLACKHURST, M.; HENDRICKSON, C.; MATTHEWS, H. S. **Cost-Effectiveness of Green Roofs**. Journal of Architectural Engineering, v. 16, p.136-143, 2010.
- BUENO,C. **Avaliação de ciclo de vida na construção civil: análise de sensibilidade**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2005

- BRASIL. **PORTARIA 2.914**. Ministério do Estado da Saúde-MS. Norma de qualidade da água para consumo humano. Portaria nº 2.914, D.O.U. de 14/12/11, República Federativa do Brasil, 2011.
- CAMPOLINA, J. M., SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. da S. **Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. e-ISSN 2236 1170 - v. 19, n. 2, p. 735-750. 2015.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CAVALHEIRO, M.G. **O processo de cheia em bacias hidrográficas urbanas**. Presidente Prudente: UNOESTE, 2008
- CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Tranferência de Calor e Massa**. Amgh Editora, 2009.
- CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos – ferramenta gerencial da ISO 14.000**. Rio de Janeiro: Qualitymark. 1998
- CHENANI, S. B.; LEHVÄVIRTA, S.; HÄKKINEN, T. **Life cycle assessment of layers of green roofs**. Journal of Cleaner Production, v. 90, p.153-162, 2015
- CONTARINI, A.; MEIJER, A. **LCA comparison of roofing materials for flat roofs**. Smart and Sustainable Built Environment, Vol. 4, 2015..
- CRUZ, Gilson Campos Ferreira da. **Clima Urbano de Ponta Grossa – PR: Uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira**. Ponta Grossa, 2009. 366 f
- CRUZ, M. A. S.,; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos - RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos.: Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos**. Volume 3 n.4 Out/Dez 1998, 19-31
- CRUZ, Marcus Aurélio Soares et al. **Valorização da água no meio urbano: um desafio possível**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 14, 2001.
- CUBI, E.; ZIBIN, N.; THOMPSON, S.; BERGERSON, J. **Sustainability of Rooftop Technologies in Cold Climates: Comparative Life Cycle Assessment of White Roofs, Green Roofs, and Photovoltaic Panels**. Journal of Industrial Ecology, v. 20, p.249-262, 2015.

- DA SILVA SAMPAIO, Marcelly et al. **Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite**. 2011
- DE PAULA, R. C. **Avaliação do ciclo de vida (ACV) de argamassas e concretos produzidos com resíduos de construção e demolição (RCD)**. Rio de Janeiro, 2016.
- EL BACHAWATI, M. et al. **Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of traditional gravel ballasted, white reflective, and vegetative roofs: A Lebanese case study**. Journal of Cleaner Production, v. 137, p.833-842. 2016.
- GUEDES. T. L. **Avaliação da Qualidade da Água de Chuva em Florianópolis (SC) e seu Potencial de Aproveitamento**. 2017. UNISUL - Universidade Do Sul De Santa Catarina, Palhoça, SC.
- GOEDKOOPE, M. et al. **ReCiPe 2008 – a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation**. 2009.
- GUINÉE, B., HEIJUNGS, R. **A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life-cycle assessment**. Environ Toxicol Chem 1995;14. p. 17–25.
- HONG, T.; KIM, J.; KOO, C. **LCC and LCCO2 analysis of green roofs in elementary schools with energy saving measures**. Energy and Buildings, v. 45, p.229-239, 2012.
- JUNIOR, A. A. O; NETO, P. A; MENDIONDO, E. M;. **Análise da Retenção Hídrica em Telhados Verdes a Partir da Eficiência do Coeficiente de Escoamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s.l.], v. 19, n. 2, p.41-52, 2014.
- JUSTINO, A. E.; PAULA, M.H.; PAIVA, R.C.E.; **Análise do efeito da impermeabilização dos solos e drenagem de água pluvial no município de Uberlândia –MG**. Espaço em Revista, vol. 13, n.2; p. 16-30, ISSN: 1519-7816, 2011.
- KIM K. **The Application of the Biosphere Reserve Concept to Urban Areas: The Case of Green Rooftops for Habitat Network in Seoul**. Ann. N. Y. Acad. Sci. 2004;1023:187–214
- KIM, J.; HONG, T.; KOO, C. **Economic and Environmental Evaluation Model for Selecting the Optimum Design of Green Roof Systems in Elementary Schools**. Environmental Science & Technology, v. 46, p.8475-8483, 2012.
- KOSAREO, L.; RIES, R. **Comparative environmental life cycle assessment of green roofs**. Building and Environment, v. 42, n. 7, p.2606-2613, 2007.

- LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. **Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle–based environmental indicators.** Building and Environment, v. 93, p.376-384, 2015.
- LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. **Photovoltaic-green roofs: a life cycle assessment approach with emphasis on warm months of Mediterranean climate.** Journal of Cleaner Production, v. 72, p.57-75, 2014.
- LEE, J. G.; HEANEY, J. P. **Estimation of urban imperviousness and its impacts on storm water systems.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 129, n. 5, p. 419-426, Sept./Oct. 2003
- LIMA, S. M., HENRIQUE I. N., CEBALLOS, B. D., SOUZA, J. D., & ARAÚJO, H. D. (2005). **Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9 (Suplemento).
- LIRA, J. S. M. M. (2017). **Depleção abiótica e potencial de aquecimento global no ciclo de vida de telhado verde comparativamente a um telhado convencional.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-04A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120p.
- LIRA, J.; CALDAS, L.; SPOSTO, R. **Estado da arte sobre Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) aplicada a Telhados Verdes.** In: II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2016, João Pessoa. Anais do II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2016.
- LIRA, J.; SPOSTO, R. **Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO2A) assessment of roofing systems: conventional system and green roof.** In: SBE16 BRAZIL & PORTUGAL, 2016, Vitória. SUSTAINABLE URBAN COMMUNITIES TOWARDS A NEARLY ZERO IMPACT BUILT ENVIRONMENT. Vitória: SBE, 2016. v. 3, p. 351 - 360.
- LOMBARDO, Magda. **A ilha de calor nas metrópoles – o exemplo de São Paulo.** São Paulo: Hucitec, 1985
- MOURAD, A. L.; GARCIA, E.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações.** Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.
- NIACHOU, A . et al. **Analysis of green roof thermal properties and investigation of its energy performance.** Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.
- NICHOLSON, N. CLARK, S.E. WRE, D. LONG, B. V. SPICHER, J. STEELE, K. A. **Rainwater Harvesting for Non-Potable Use in Gardens: A Comparison of Runoff Water Quality**

- from Green vs. Traditional Roofs.** World Environmental and Water Resources Congress: Great Rivers, ASCE. 2009.
- NRCA - National Roofing Contractors Association (EUA) - **NRCA Green Roof Systems Manual.** 2007.
- OKE, T. R. **Boundary layer climates.** 2 ed. London and New York: Routledge, 2005. 435p
- ÖZDEMİR, A., GÜNKAYA, Z., ÖZKAN, A., ERSEN, O., BILGIÇ, M., & BANAR, M. **Lifecycle assessment of steel rebar production with induction melting furnace: Case study in Turkey.** *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 22(2), 04017027. 2017.
- PALMEIRA A. N. **Balanço de energia em telhado verde.** 2016. 96p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
- PEREIRA, M. F. B. **Conteúdo energético e emissões de CO2 em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: estudo de caso.** 2014. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- PEREIRA, S. W. **Avaliação ambiental dos processos produtivos de pisos cerâmicos por meio de análise do ciclo de vida.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- PÉREZ, G.; VILA A.; RINCÓN L.; SOLÉ C.; CABEZA L. F. **Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material.** Elsevier, 2011.
- PERI, G.; TRAVERSO, M.; FINKBEINER, M.; RIZZO, G. **Embedding “substrate” in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the 110 whole chain in a Mediterranean site.** *Journal of Cleaner Production*, v. 35, n. 1, p.274-287, 2012.
- PESSOA, J. O. **Quantidade e qualidade de águas pluviais escoadas a partir de telhados verdes extensivos em Santa Maria – RS.** 2016. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016
- PIVELI, R. P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos.** São Paulo: ABES, 2005. 285 p.
- PINTO, L. H; PINHEIRO, S. A;. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** Belo Horizonte: FEAM, 2006. 30 p
- POLETO C.; TASSI R. **Sustainable urban drainage systems.** Prof. Muhammad Salik Javaid

(Ed.), ISBN: 978-953-51-0243-4, InTech, 2012

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, volume 5, no. 1, pag. 15-23, Porto Alegre, RS, 2000

PRONK e HAQ. **Desarrollo Sostenible, del concepto a la acción**. El Informe de La Haya, UNESCO, 1992

RINCÓN, L.; COMA, J.; PÉREZ, G.; CASTELL, A.; BOER, D.; CABEZA, L. **Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs**. A comparative Life Cycle Assessment. Building and Environment, v. 74, p.22-30, 2014.

RIVELA, B.; CUERDA, I.; OLIVIERI, F.; BEDOYA, C.; NEILA, J. **Life Cycle Assessment for ecodesign of ecological roof made with Intemper TF Ecological Water-Tank System**. Materiales de Construcción, v. 63, p.131-145, 16 fev. 2013

SAADE, M., SILVA, M; GOMES, V., et al. **A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais**. Natureza on line, v. 3, p. 109-116, 2014.

SAIZ, S.; KENNEDY, C.; BASS, B.; PRESSNALL, K. **Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs**. Environmental Science & Technology, v. 40, n. 13, p. 4312-4316, 2006.

SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice"**. From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March - 3 April 1993. Brussels, Belgium, and Pensacola, Florida, USA, August, 1993.

SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja – Londrina**. 29 p., ISSN : 2176-293 ; n.358. Embrapa Soja, 2015.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2012

SILVA L. C. **Avaliação de ciclo de vida de concretos com substituição parcial de cimento por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz**. Universidade Federal do Rio de Janeiro , Rio de Janeiro, 2015

- SILVA, N. C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- SOUZA, V. C. B. **Gestão Da Drenagem Urbana No Brasil: Desafios Para A Sustentabilidade**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [s.l.], v. 1, n. 1, p.57-72, 27 mar. 2013. Revista GESTA. 2013.
- SPANGENBERG, J., SHINZATO, P., JOHANSSON, E., & DUARTE, D. (2019). **Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo**. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 3(2), 1-19. 2008.
- TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energética de Edificações Residenciais Brasileiras**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- TAVARES, S.; LOPES, T.; SAVI, A; OLIVEIRA, E. **Telhado verde, energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>: análise comparativa a coberturas convencionais**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. Anais do XIV ENTAC. Maceió: ANTAC, 2014. P. 1-10.
- TREVISOL, R. G. **Avaliação de medidas físicas para recuperação de área de empréstimo da Mata Atlântica: Diques**. 66 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, UFRRJ. Seropédica, 2002.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009. 943 p
- TUCCI, C. E. M. ; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) e ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.
- VIEIRA, M.C; SÁ, V.H.S. **Aspectos da drenagem urbana: exemplificação de caso Bairro Emílio Zanatta**. Presidente Prudente: UNOESTE, 2011
- VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. **A field study to evaluate runoff quality from green roofs**. Water research, v. 46, n. 4, p. 1337-1345, 2012.
- WENZEL, H.; HAUSCHILD, M. Z.; ALTING, A. (1997). **Environmental assessment of products**. Methodology, tools and case studies in product development. Dordrecht: Kluwer Academic. v.1.
- WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (Ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

- YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. **Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago.** Atmospheric Environment, v. 42, n. 31, p. 7266- 7273, oct. 2008.
- ZIMMERMANN, Erik. **Urban Flood Risk Reduction by Increasing Green Areas for Adaptation to Climate Change.** Procedia Engineering, v. 161, p. 2241-2246, 2016.
- ZOBEL, T. et al. **Identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: an approach to a new reproducible method based on LCA methodology.** Journal of Cleaner Production 10, p. 381-396. Elsevier Science Ltd., 2002.