

RENAN DA SILVA E SILVA

TELHADO VERDE E SUA INFLUÊNCIA MICROMETEOROLÓGICA

RECIFE – PE
FEVEREIRO DE 2019

RENAN DA SILVA E SILVA

TELHADO VERDE E SUA INFLUÊNCIA MICROMETEOROLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cristiane Guiselini

RECIFE – PE
FEVEREIRO DE 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586t Silva, Renan da Silva e.
Telhado verde e sua influência micrometeorológica / Renan da Silva e Silva. -
Recife, 2019.
65 f.: il.

Orientador(a): Cristiane Guiselini.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Isolamento térmico 2. Conforto humano 3. Microclima 4. Termografia
I. Guiselini, Cristiane, orient. II. Título

CDD 664

RENAN DA SILVA E SILVA

TELHADO VERDE E SUA INFLUÊNCIA MICROMETEOROLÓGICA

Dissertação defendida e aprovada em 15 de Fevereiro de 2019 pela Banca Examinadora:

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Cristiane Guiselini – UFRPE

Examinadores:

Prof^o. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida – UFRPE

Prof^o. José Luiz Sandes de Carvalho Filho – UFRPE

Prof^o. Dr. Ricardo Brauer Vigoderis – UFRPE

Aos meus pais, Marizete Pereira e Roberto dos Santos.

Que nunca deixaram de acreditar em meus sonhos, embora parecesse impossível.

Pelos sacrifícios que fizeram para que um dia meus irmãos e eu pudéssemos estar trilhando um caminho do bem, nos ensinando sempre o certo e o errado.

Pelo amor, carinho e compreensão que recebo de cada um.

É por vocês, e sempre será!

Aos meus irmãos, Manoel Adriano, Rosiane dos Santos,

Rosana da Luz, Rosiele Silva e Rosany Silva.

Por estarem sempre dispostos a me ajudar.

Pelas palavras de conforto, orações e por todo carinho.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo o que tem feito em minha vida, pela proteção, saúde, pelas pessoas que colocou em meu caminho, pela força que me concedeu pra enfrentar as dificuldades da vida até alcançar a realização desse sonho.

À minha tia Marilene Pereira por estar sempre disposta a me ajudar, atuando como uma segunda mãe.

A meu professor Deusarino Lobato, pelos conselhos e por ter me incentivado a prosseguir com os estudos.

Aos amigos que fiz durante este período por todos os momentos inesquecíveis que vivi com vocês, e aos que embora distantes sempre se fizeram presentes.

A professora e orientadora Cristiane Guiselini pelos ensinamentos, paciência, orientação e por ter me concedido a oportunidade de trabalhar a seu lado.

A Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco-Facepe pela concessão de bolsa, para a realização do trabalho.

A todos que fazem parte do grupo de pesquisa em ambiência (GPESA) pelos conhecimentos passados, apoio no desenvolvimento da pesquisa, pelas horas de riso e conversas. Em especial a Sávio Duarte Lopes Cavalcanti, Maria Eduarda Borges de Almeida, Gilvan Ramos da Silva Júnior, Ivson Lucas de Santana por disponibilizarem de seu tempo e ajudarem na coleta de dados. Além de, Nicolay Farias Gomes, Marcos Vinícius da Silva, Pedro Henrique Dias Batista, Rodes Angelo Batista da Silva e José Santino da Silva Júnior.

A todos os meus amigos de curso, pelo companheirismo, pelas risadas, brincadeiras, pela amizade.

A todos os professores que colaboraram com a minha formação acadêmica, pelos conselhos dados em sala de aula, por estarem sempre dispostos a nos ajudar.

Aos meus amigos do Guajará, pelo incentivo e por acreditarem no meu sonho.

E a todas as pessoas que acreditaram em mim e me deram forças para continuar lutando.

*She told me: Son, in life you're gonna go far
Ela me disse: Filho, você irá longe na vida*

*If you do it right, you'll love where you are
Se fizer isso certo, amarás o lugar onde está*

*Just know, wherever you go
Apenas saiba, onde quer que vá*

*You can always come home!
Você pode sempre voltar para casa!*

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESE.....	17
3. OBJETIVO GERAL	17
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1. Telhado verde.....	17
4.2. Tipologia do telhado verde.....	18
4.2.1. Telhado verde extensivo.....	18
4.2.2. Telhado verde semi-intensivo	19
4.2.3. Telhado verde intensivo	20
4.3. Estrutura do telhado verde	20
4.4. Benefícios do telhado verde	21
4.4.1. Estéticos, terapêuticos, lazer e social	22
4.4.2. Produção de alimentos.....	22
4.4.3. Econômicos	23
4.4.4. Redução dos efeitos das Ilhas de Calor	24
4.4.5. Retenção de águas pluviais.....	25
4.4.6. Melhoria na qualidade do ar e preservação da biodiversidade.....	26
4.4.7. Conforto humano.....	27
4.4.7.1. Conforto térmico.....	28
4.4.7.2. Conforto acústico	29
4.4.8. Índices de conforto térmico	30
4.4.9. Termografia infravermelha.....	32
5. MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1. Área de estudo.....	35
5.2. Registro dos dados meteorológicos e cálculo dos índices de conforto	35
5.3. Imagens Termográficas	37
5.4. Análises dos dados	38
5.5. Composições do Telhado Verde	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6.1. Índices de Conforto Térmico Humano.....	39

6.2. Análise termográfica da temperatura superficial das coberturas	47
7. CONCLUSÃO	55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Telhado verde extensivo formado por grama esmeralda. Fonte: Arquivo pessoal, 2017.....	19
Figura 2: Telhado verde semi-intensivo. Fonte: Ecotelhado, 2017.	20
Figura 3: Telhado verde intensivo. Fonte: Árvores de São Paulo, 2017.....	20
Figura 4: Representação esquemática da estrutura geral de um telhado verde. Fonte: Autor, 2017.	21
Figura 5: Diagrama do conforto humano. Fonte: INMET (2017).	31
Figura 6: Edifício Garagem Empresarial Charles Darwin. Foto antes da implantação do telhado verde (A) e após implantação do telhado verde (B). Fonte: Rio Ave, Empresarial Charles Darwin.	35
Figura 7: Vista frontal das salas (A) vidro e (B) compensado, onde foi realizado o experimento. Fonte: Arquivo pessoal, 2019.	36
Figura 8: Câmera termográfica modelo FLIR I60. Fonte: Arquivo pessoal, 2019.	38
Figura 9: Média diária da temperatura do ar do ambiente externo no período de 24/05 a 30/09 de 2016 e 2017. Tar Externa 2016 – Temperatura do ar externa em 2016; Tar Externa 2017 – Temperatura do ar externa em 2017.	39
Figura 10: Temperatura do ar no ambiente externo e nas salas, para o dia crítico de maior temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 08/06/2016 (A) e 07/06/2017 (B), respectivamente. Tar V 16/17 – Temperatura do ar na sala de vidro em 2016/2017; Tar C 16/17 – Temperatura do ar na sala de compensado em 2016/2017 e Tar Ext. 16/17 – Temperatura do ar no ambiente externo em 2016/2017.	41
Figura 11: Variação diária do índice de TE no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de maior temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 08/06/2016 (A) e 07/06/2017 (B), respectivamente.....	43
Figura 12: Variação diária de ICH no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de maior temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 08/06/2016 (A) e 07/06/2017 (B), respectivamente.	44

- Figura 13: Temperatura do ar no ambiente externo e nas salas, para o dia crítico de menor temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 09/08/2016 (A) e 19/07/2017 (B), respectivamente.45
- Figura 14: Variação diária do índice de TE no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de menor temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 09/08/2016 (A) e 19/07/2017 (B), respectivamente.....46
- Figura 15: Variação diária do ICH no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de menor temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 09/08/2016 (A) e 19/07/2017 (B), respectivamente.46
- Figura 16: Precipitação acumulada (mm) e média diária da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nas salas (Tar V e Tar C) e no ambiente externo (Tar Ext.), no período sem telhado verde.48
- Figura 17: Precipitação acumulada (mm) e média diária da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nas salas (Tar V e Tar C) e no ambiente externo (Tar Ext.), no período com telhado verde.49
- Figura 18: Precipitação acumulada (P), média diária da temperatura superficial externa e interna da cobertura da sala de vidro (TSE V e TSI V), temperatura do ar do ambiente externo (Tar Ext.) e temperatura do ar no interior da sala de vidro (Tar V), para o período (A) sem telhado verde; (B) com telhado verde. Precipitação acumulada (P), média diária da temperatura superficial externa e interna da cobertura da sala de compensado (TSE C e TSI C), temperatura do ar do ambiente externo (Tar Ext.) e temperatura do ar interna da sala de compensado (Tar C), para o período (C) sem telhado verde; (D) com telhado verde.....52
- Figura 19: Imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente do dia 18/11/2016 e 21/11/2017. (A) TSI C 16, (B) TSI V 16, (C) TSI C 17 e (D) TSI V 17. *TSI C 16 – Temperatura da superfície interna da sala de compensado em 2016; TSI V 16 – Temperatura da superfície interna da sala vidro em 2016; TSI C 17 – Temperatura da superfície interna da sala de compensado em 2017; TSI V 17 – Temperatura da superfície interna da sala de vidro em 2017.....54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios utilizados para classificação dos telhados verdes.....	18
Tabela 2: Sensação de conforto térmico do corpo, relacionado com o índice de Temperatura Efetiva (TE), segundo a ASHRAE (1972).	31
Tabela 3: Índice de Conforto Humano, Rosenberg (1983).....	32
Tabela 4: Média da temperatura do ar interna (Tar Int., °C) e externa (Tar Ext., °C), diferença de temperatura do ar (Δ , °C e %) e amplitude térmica (AT, °C) para os dias críticos de maior temperatura, 08/06/2016 e 07/06/2017.....	40
Tabela 5: Valores médios do índice de Temperatura Efetiva (TE, °C) e Índice de Conforto Humano (ICH) no interior das salas e no ambiente externo, para o dia crítico de maior temperatura, 08/06/2016 e 07/06/2017, no período sem e com telhado verde, respectivamente.....	42
Tabela 6: Média da temperatura do ar interna (Tar Int., °C) e externa (Tar Ext., °C), diferença de temperatura do ar (Δ , °C; %) e amplitude térmica (AT, °C) para o dia crítico de menor temperatura, 09/08/2016 e 19/07/2017.	44
Tabela 7: Correlação de Pearson das temperaturas do ar e dos índices de conforto entre o ambiente interno e externo no dia crítico de maior e menor temperatura do ar.....	47
Tabela 8: Valores médios da temperatura superficial da face externa e interna das coberturas e valores médios da temperatura do ar no ambiente externo, para a cobertura sem e com telhado verde.	53

SILVA, RENAN DA SILVA. Me. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
Fevereiro de 2109. **TELHADO VERDE E SUA INFLUÊNCIA
MICROMETEOROLÓGICA.**

Orientadora: Prof. Dr.^a Cristiane Guiselini

RESUMO

Em busca de minimizar os impactos ambientais provocados pela crescente urbanização, a técnica do telhado verde vem sendo cada vez mais utilizada. Nesse sentido, pretende-se com esta pesquisa avaliar os efeitos do telhado verde quanto a sua contribuição para o conforto térmico humano em ambiente construído, com base em índices de conforto e análise da temperatura superficial da cobertura, por meio de imagens termográficas. A pesquisa foi realizada no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, da construtora Rio Ave Empreendimentos, no Recife, PE, em dois períodos, o primeiro sem telhado verde (2016) e o segundo com telhado verde (2017). Foram registrados dados da temperatura do ar e umidade relativa do ar externamente e internamente e a precipitação. Internamente os dados foram registrados em duas salas, uma de vidro e outra de compensado, e foram determinados os índices de conforto. Para a análise térmica da cobertura foram utilizadas imagens térmicas obtidas a partir de uma câmera termográfica modelo FLIR I60. Ao analisar a temperatura do ar no interior da sala com vedação de compensado, verificou-se que sem telhado verde a diferença entre temperatura externa e interna foi na ordem de 2,11 °C (2016), enquanto, após a implantação do sistema foi de 0,82 °C (2017), conseqüentemente, notou-se que o telhado verde proporcionou ambientes com índices de conforto mais adequados ao bem-estar humano. Com a implantação do telhado verde ocorreu uma redução na temperatura do ar e nos valores dos índices de conforto no interior das salas. Bem como, redução na temperatura superficial externa e interna das coberturas, indicando a eficácia do uso da vegetação em tornar um ambiente confortável termicamente.

Palavras-chave: conforto térmico humano, índices de conforto, microclima, termografia infravermelha

SILVA, RENAN DA SILVA. MSc. Federal Rural University of Pernambuco. **GREEN ROOF AND ITS MICROMETEOROLOGICAL INFLUENCE.**

Advisor: Prof. Dra. Cristiane Guiselini

ABSTRACT

In order to minimize the environmental impacts caused by the growing urbanization, the technique of the green roof has been increasingly used. In this sense, this research intends to evaluate the effects of the green roof on its contribution to human thermal comfort in a built environment, based on comfort indexes and analysis of the surface temperature of the roof, through thermographic images. The research was carried out in the Charles Darwin Enterprise Garage Building of the Rio Ave Empreendimentos building in Recife, PE, in two periods, the first without a green roof (2016) and the second with a green roof (2017). Data on air temperature and relative air humidity were recorded externally and internally and precipitation was recorded. Internally the data were recorded in two rooms, one of glass and one of plywood, and the comfort indexes were determined. For the thermal analysis of the cover, thermal images obtained from a thermal camera model FLIR I60 were used. When analyzing the air temperature inside the room with plywood seal, it was verified that without green roof the difference between external and internal temperature was in the order of 2,11 °C (2016), while, after the implantation of the system was 0,82 °C (2017), consequently, it was noticed that the green roof provided environments with indices of comfort more adapted to the human well-being. With the implementation of the green roof there was a reduction in the air temperature and the values of the comfort indexes inside the rooms. As well, as reduction in the external and internal superficial temperature of the coverings, indicating the effectiveness of the use of the vegetation in making a comfortable environment thermally.

Keywords: human thermal comfort, comfort indexes, microclimate, infrared thermography

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, decorrente da Revolução Industrial, provocou intensas modificações no ambiente urbano, que com a remoção das áreas verdes e instalação de áreas impermeabilizadas tem provocado inúmeros problemas ambientais.

Tais problemas podem ser observados em maior escala nas áreas onde a substituição da cobertura vegetal por estruturas edificadas se deu mais intensamente, de maneira que se intensificaram problemas de enchentes em épocas chuvosas, aumento da temperatura em escala mesoclimática, ocorrência de ilhas de calor urbano, aumento do efeito estufa e a falta de água em grandes cidades (OHNUMA JÚNIOR et al., 2014).

Contudo, a maioria destes impactos podem ser minimizados pela identificação de problemas e implementação de sistemas adequados de planejamento urbano com soluções sustentáveis (SENANAYAKE et al., 2013) atreladas ao emprego de novas tecnologias de construção de baixo impacto ambiental (OHNUMA JÚNIOR et al., 2014).

Nesse contexto, a utilização de coberturas vegetadas surge como uma técnica para mitigar os problemas causados pela urbanização, interferindo de forma significativa no controle ambiental e regulação climática, além de promover uma ampla gama de benefícios às cidades e à sociedade. Com o emprego da vegetação ocorre a diminuição da incidência de radiação solar sobre a superfície, a atenuação do ruído, a diminuição da poluição do ar e a redução do consumo de energia em regiões quentes (MARTELLI & SANTOS JÚNIOR, 2015).

Assim, como outras ações mitigadoras que visam à diminuição de problemas ecológicos, a utilização de telhados verdes não é uma inovação recente (REBOLLAR, 2017). Segundo Silva & Duarte (2017), os primeiros vestígios da utilização da cobertura verde datam do período de 400 a 600 a.C. nos templos conhecidos como zigurates, considerados uma das sete maravilhas do mundo antigo, na qual os Jardins Suspensos da Babilônia, tem destaque entre as construções.

No século IX os Vikings utilizavam, na construção das casas camadas de relvados nas paredes e nos telhados para se protegerem das chuvas e dos ventos. Na Noruega, as casas foram cobertas naturalmente por ervas infestantes, na qual eram chamados de Sod Roofs, Torvtak ou telhados de turfa (CALDEIRA, 2015). No Império Romano, em Pompéia, sul da Itália, era comum o plantio de plantas trepadeiras em cima de varandas (SILVA & DUARTE, 2017).

Na pré-história agricultores, pescadores e caçadores utilizavam os telhados verdes para cobrir suas cabanas, o que mantinha os interiores de suas casas mais aquecidos ou mais frescos conforme o clima local (REBOLLAR, 2017).

A partir do século XVIII, houve expansão das coberturas verdes em determinadas cidades francesas e espanholas. Já no final do século XIX, apareceram por toda a Escandinávia. No entanto, foi a partir do século XX, que essa nova modalidade de telhado passou a ser utilizada em larga escala, principalmente, em países como a Áustria, Alemanha e Noruega, onde surgiram empresas especializadas no assunto sobre telhado verde (SILVA & DUARTE, 2017). No Brasil, os principais referenciais de coberturas verdes foram por meio do paisagista Burle Marx, que idealizou o projeto do prédio do Ministério da Saúde e Educação, no Rio de Janeiro (SAVI, 2012).

Os telhados verdes têm sido usados em muitas regiões do mundo, principalmente em locais onde houve forte impacto no micro clima por conta da urbanização. Nessas áreas, devido à substituição de superfícies naturais por superfícies pavimentadas e construções, houve modificação nos balanços de radiação e de energia, devido às propriedades térmicas dessas novas superfícies (OLIVEIRA, 2012).

Além disso, com o uso das coberturas verdes ocorre uma redução na temperatura interna das edificações, o que promove melhor conforto térmico e acústico para o ambiente interno (PARIZOTTO & LAMBERTS, 2011), devido à diminuição da amplitude térmica (CARNEIRO et al., 2015), promovida por meio do sombreamento e da evapotranspiração (MARTELLI & SANTOS JÚNIOR, 2015).

Essa diminuição da temperatura interna das edificações resulta em uma redução no gasto com energia elétrica, pela diminuição do emprego de técnicas para condicionamento artificial do ambiente interno, como o uso de ar-condicionado no verão e aquecedores no inverno, o que garante uma maior economia final em relação ao aquecimento interno dos edifícios (REFAHI & TALKHABI, 2015).

Vale ressaltar ainda que a eficácia das coberturas verdes no desempenho energético é dependente do clima de cada região, nesse sentido em regiões de clima quente as necessidades energéticas são maiores em comparação com as regiões de clima frio (PEREIRA, 2017).

2. HIPÓTESE

O uso de telhado verde em lajes e telhados convencionais funciona como um termo-regulador do ambiente interno e proporciona melhorias no conforto térmico das edificações.

3. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos do telhado verde quanto a sua contribuição para o conforto humano por meio de índices de conforto e análise termográfica de imagens.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Telhado verde

Os telhados verdes, também conhecidos como tetos verdes, coberturas verdes, eco-telhados, *green roof* entre outros, são sistemas construtivos que se constituem em uma cobertura vegetal formada por gramíneas ou outras espécies vegetais, implantadas em telhados ou lajes convencionais (ROSSETI et al., 2013; SOUZA et al., 2015).

Os estudos com telhados verdes vêm se intensificando em todo o globo terrestre, devido às políticas públicas implantadas para a minimização do impacto ambiental, causado pela elevada temperatura nos grandes centros urbanos, além dos incentivos adquiridos para promover sua implantação (PALMEIRA, 2016). Por exemplo, o incentivo financeiro fornecido pela cidade de Nova Iorque nos EUA, por meio de um desconto oferecido no imposto urbano para quem fizer uso de telhado verde (LORENZINI NETO, 2014).

Os estudos com telhados verdes têm se mostrados promissores devido às vantagens advindas de seu uso, principalmente no que diz respeito ao conforto térmico e escoamento pluvial (COSTA et al., 2012; CARNEIRO et al., 2015; PANZIERA et al., 2015).

Ohnuma Júnior et al. (2017) ao realizarem um mapeamento das localidades que atuam na pesquisa com telhados verdes, verificaram que, com exceção de China e Brasil, os países desenvolvidos lideram os locais com pesquisas de telhado verde, com destaque para os Estados Unidos que concentra cerca de 25% dos experimentos, distribuídos em 16 estados. O Brasil encontra-se em quarto lugar nessa pesquisa com 5,8% do total, porém Lorenzi Neto (2014) e Moruzzi et al. (2014) salientam que sua execução começa a se expandir, na busca de contribuir para a minimização de alagamentos e enchentes, aliados ao conforto térmico e acústico

Além disso, as áreas do entorno dos telhados verdes, também são beneficiadas, pois essas áreas tendem a ficar mais úmidas devido à presença de plantas no local e, conseqüentemente, ocorre uma redução na sensação térmica e melhora na qualidade do ar (GENGO & HENKES, 2013).

4.2. Tipologia do telhado verde

Os telhados verdes, de acordo com a International Green Roof Association (IGRA), classificam-se em três tipos: telhado verde intensivo, semi-intensivo e telhado verde extensivo, cuja diferença está, principalmente, no tipo de vegetação utilizada e na espessura do substrato.

Para a caracterização dos telhados verdes utilizam-se os critérios detalhados na tabela 1, estabelecidos pela IGRA.

Tabela 1: Critérios utilizados para classificação dos telhados verdes.

Critérios	Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Semi-intensivo	Telhado Verde Intensivo
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Comunidade de plantas	Moss-Sedum, ervas e gramas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado ou perenes, arbustos e árvores
Altura do substrato	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm em garagens subterrâneas, > 1000 mm
Peso	60-150 kg.m ⁻²	120-200 kg.m ⁻²	180-500 kg.m ⁻²
Custo	Baixo	Meio	Alto
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Parque como jardim

Fonte: International Green Roof Association (IGRA), 2017.

4.2.1. Telhado verde extensivo

Este tipo de telhado caracteriza-se por utilizar vegetação de pequeno porte, predominando as espécies que se desenvolvem espontaneamente, com facilidade para se adaptar a locais e condições climáticas severas (OLIVEIRA NETO, 2014). Geralmente nesses telhados são utilizadas gramíneas, suculentas, musgos e ervas que por apresentarem um aspecto mais rústico necessitam de baixa manutenção (CALHEIROS & PALHA, 2017).

Os telhados verdes extensivos (Figura 1) são bem adequados para telhados com pouca capacidade de carga e locais em que não podem ser usados como jardins suspensos. Apresenta baixo custo de instalação, a camada de substrato mineral contém poucos nutrientes, não é muito profunda, com altura variando entre 60 e 200 mm, porém

adapta-se muito bem com plantas de baixa exigência nutricional e de baixo crescimento (IGRA, 2017).



Figura 1: Telhado verde extensivo formado por grama esmeralda. Fonte: Arquivo pessoal, 2017.

4.2.2. Telhado verde semi-intensivo

O sistema semi-intensivo (Figura 2) é uma transição do sistema extensivo para o intensivo. Caracteriza-se por conter vegetação perene, rasteira e arbustos, na qual suporta uma camada média de substrato e pode desempenhar múltiplas funções, com possibilidade de acesso do público (CALHEIROS & PALHA, 2017). Em comparação com sistema extensivo, requer maiores cuidados quanto ao fornecimento de água e nutrientes nas manutenções, logo, o gasto com este tipo de telhado é mais elevado (OLIVEIRA NETO, 2014).



Figura 2: Telhado verde semi-intensivo. Fonte: Ecotelhado, 2017.

4.2.3. Telhado verde intensivo

Os telhados verdes intensivos (Figura 3) caracterizam-se por utilizarem uma grande variedade de espécies, desde rasteiras, arbustivas até arbóreas, suportadas em maiores espessuras de substrato, normalmente superior a 15 cm, com necessidades de manutenção idênticas a um jardim natural no que respeita a fertilização e rega (CALHEIROS & PALHA, 2017). Devido nesse sistema haver uma grande quantidade de substrato, o seu peso deve ser levado em consideração quando se for implantar o telhado, uma vez que tende a ser superior o 400 kg.m^{-2} (IGRA, 2017).



Figura 3: Telhado verde intensivo. Fonte: Árvores de São Paulo, 2017.

O custo com a manutenção é comparada a um jardim tradicional, sendo necessário um sistema de irrigação. Além disso, a construção deste tipo de cobertura tem um custo relativamente maior dado o grande volume de material e mão de obra (OLIVEIRA NETO, 2014).

De acordo com a IGRA (2017) o telhado verde intensivo pode agregar valor estético ao imóvel, onde passarelas, bancos, playgrounds e até lagoas podem ser utilizadas como recursos adicionais ao jardim.

4.3. Estrutura do telhado verde

A estrutura que compõe os telhados verdes varia de acordo com a tecnologia utilizada em cada caso e existem inúmeras técnicas que estão em processo de

desenvolvimento e aprimoramento (BLANCO, 2012). Assim, os materiais utilizados em cada camada da cobertura verde podem variar entre regiões, seja pela necessidade de adequação ao clima, disponibilidade de alguns materiais ou pelas técnicas utilizadas por empresas (OLIVEIRA NETO, 2014).

Contudo há uma composição básica da estrutura dos telhados verdes e que são levadas em consideração quando se for implantar o telhado independente de sua tipologia (BALDESSAR, 2012; OHNUMA JÚNIOR, 2014; TASSI et al., 2014). Na Figura 4 são apresentados, de forma esquemática, os elementos básicos que compõe a estrutura do telhado.



Figura 4: Representação esquemática da estrutura geral de um telhado verde. Fonte: Autor, 2017.

4.4. Benefícios do telhado verde

O processo de urbanização tem se intensificado nas últimas décadas, movido pelo crescimento populacional, aumento das construções e mudança radical da paisagem. Essa urbanização crescente e desordenada tem acarretado grande desequilíbrio no meio ambiente, devido à remoção da cobertura vegetal original, impermeabilização do solo, utilização de materiais construtivos inadequados, canalização de rios e córregos e emissão de poluentes para a atmosfera (PALMEIRA, 2016).

Contudo, ações mitigadoras são tomadas para reduzir esses impactos ocasionados pela urbanização, como a implantação de telhado verde nas lajes das edificações urbanas (PANZIERA et al., 2015). A vegetação usada no telhado por meio do processo de fotossíntese purifica e filtra o ar no entorno do projeto, absorve gás carbônico da atmosfera e libera oxigênio, além de muitos outros benefícios, como o isolamento termoacústico, redução das ilhas de calor, absorção de águas pluviais e a criação de uma biodiversidade com pequenas espécies de vidas animais (VISENTIN et al., 2015).

4.4.1. Estéticos, terapêuticos, lazer e social

Com as cidades cada vez mais compactas e altamente densificadas, os espaços na cobertura das edificações têm um enorme potencial para uso do lazer, visando uma vida saudável (AGUIAR & FEDRIZZI, 2010). Atualmente, a maioria dos telhados urbanos não passa de um aglomerado de superfícies e estruturas que refletem um visual desagradável ao olhar humano, na qual a ausência do verde das árvores impacta de forma negativa no emocional das populações residentes em tais áreas extremamente urbanizadas (FRANÇA, 2012). Nesse contexto, o uso do telhado verde sobre lajes e telhados convencionais tem potencial de mudar o ambiente urbano, de modo que é capaz de melhorar visualmente a qualidade de vida nas cidades interrompendo a monotonia do cinza das superfícies inertes.

Do ponto de vista terapêutico há redução de estresse, diminuição da pressão arterial, alívio da tensão muscular e aumento da auto-estima (AGUIAR & FEDRIZZI, 2010). Esses autores ressaltam ainda que a jardinagem envolvida na manutenção dos telhados verdes como atividade terapêutica reflete no estado psicoemocional dos usuários e proporciona sensação de bem estar por amenizar o ambiente urbano.

Uma pesquisa da Universidade de Uppsala, da Suécia, com 160 pacientes de cirurgias cardíacas, demonstrou que aqueles expostos a paisagens naturais tinham recuperação mais rápida graças aos benefícios psicológicos de um ambiente agradável (REBOLLAR et al., 2017).

Quanto ao lazer, o telhado verde serve como um refúgio da vida agitada da cidade e proporciona ao morador um maior contato com a natureza, que oportuniza o cultivo de pequenas hortas, além da plantação de espécies que transmitam um aspecto positivo a qualidade visual do telhado (BALDESSAR, 2012). É ainda um excelente atrativo para pontos comerciais, que torna mais visíveis, mesmo distantes de locais estratégicos (RIGHI et al., 2016).

4.4.2. Produção de alimentos

Nas cidades onde há alta densidade urbana, os telhados verdes são uma ótima saída para a produção de alimentos. Diante disso, países como Austrália e Canadá tem liderado essa prática nas últimas décadas e tem demonstrado que é possível realizar plantações nos terraços das cidades para a produção de alimentos de consumo próprio e até venda (GUITIÉRREZ, 2008).

Em Vancouver no Canadá, o Fairmount Hotel utilizou uma área de 195 m² para a implantação de um jardim que produz todas as ervas utilizadas no hotel, o que gerou uma economia de 25.000 a 30.000 dólares Canadenses (REBOLLAR et al., 2017).

O shopping Eldorado, localizado na cidade de São Paulo, desde 2012, aproveita os resíduos do shopping para produzir adubo a partir da compostagem e utiliza em uma horta instalada no telhado, onde são produzidos legumes e hortaliças livres de agrotóxicos e destinados aos próprios colaboradores do Shopping (GONÇALVES et al., 2016).

4.4.3. Econômicos

Em termos de benefícios econômicos o uso do telhado verde reduz o consumo energético dos edifícios quando comparado com o telhado convencional. Em 2015, da energia elétrica consumida no Brasil, 28,2% foi utilizada em edificações residenciais, 19,5% comerciais e 3,3% públicas, totalizando 51% da energia nacional (EPE, 2016). Devido a esse aumento na demanda de energia das grandes cidades há uma maior procura por materiais do tipo isolantes térmicos, tanto em regiões de clima quente, quanto em regiões de clima frio (HENN & CAGLIARI, 2016).

Coma et al. (2016) ao realizarem um estudo sobre o consumo de energia e comportamento térmico em três protótipos, um com telhado convencional e dois com telhado verde, na qual esses diferenciaram-se apenas na camada de drenagem (fragmentos de borracha e pozolana), verificaram que com a implantação do telhado verde houve uma redução no consumo acumulado de energia elétrica em 16,7% e 2,2%, respectivamente, em comparação com o consumo acumulado no telhado convencional, durante períodos representativos de demanda de resfriamento.

Outro fator que contribui para um ganho econômico está relacionado com o tempo de vida útil do telhado verde, o qual é maior que o de um telhado convencional, gerando um benefício econômico em longo prazo (SILVA & DUARTE, 2017). Como o telhado verde apresenta características favoráveis às variações de temperatura, protege a laje e demais elementos da cobertura, da insolação, não demandando de manutenção em curto prazo (OLIVEIRA et al., 2016).

Righi et al. (2016) ressaltam, ainda, que devido a proteção da membrana do telhado, proporcionado pela cobertura verde, do clima severo e da radiação ultravioleta (UV), os telhados verdes podem durar duas vezes mais que os tradicionais, embora necessite de cuidados específicos e periódicos, como irrigação, roçagem, retirada de plantas daninhas etc. Contudo, Aguiar & Fedrizzi (2010), ressaltam que esses cuidados

podem ser considerados benéficos, uma vez que o contato com a terra e com vegetais pode funcionar como terapia.

4.4.4. Redução dos efeitos das Ilhas de Calor

O intenso processo de urbanização das cidades, nas últimas décadas, trouxe para o meio ambiente inúmeras consequências que aliadas à retirada da paisagem original para as construções, alteraram o comportamento das temperaturas nos centros urbanos. Além disso, a troca da camada permeável do solo, por uma camada impermeável coberta por asfalto e concreto, agravou ainda mais as alterações nas temperaturas, uma vez que há a conversão e armazenamento da radiação solar incidente em maior grau do que nas áreas vegetadas (MOREIRA & NÓBREGA, 2011).

Essas superfícies absorvem durante o dia, maior quantidade de radiação que as vegetadas, o que promove uma elevação nas temperaturas superficiais e, conseqüentemente, emitem maior quantidade de radiação de onda longa para o ambiente externo durante a noite (ROSSETI et al., 2014).

A verticalização das cidades atrelada à intensa circulação de veículos, degradação ambiental em prol do crescimento urbano e a impermeabilização do solo que fora substituído por asfalto (FRANÇA et al., 2015) faz com que ocorra o aumento da temperatura nos centros urbanos em relação às áreas periféricas da cidade (NAKATA-OSAKI et al., 2016). Essa diferença de temperatura influencia nas chamadas ilhas de calor urbano, na qual a substituição da paisagem natural por concreto altera os processos de absorção, transmissão e reflexão de calor para a atmosfera (FRANÇA, et al., 2015).

O emprego de vegetação nos centros urbanos pode ajudar no conforto térmico utilizando as propriedades térmicas dessas vegetações, que ao realizarem o processo de evapotranspiração esfriam a temperatura ambiente do edifício reduzindo a radiação para o ambiente externo (BALDESSAR, 2012).

Em estudos realizados sobre o efeito da cobertura verde no microclima do seu entorno através de um experimento, utilizando-se de protótipos, em Cuiabá, Mato Grosso, Rosseti et al. (2013) verificaram uma redução de até 0,75°C na temperatura do ar e um aumento de até 12,3% na umidade relativa quando comparado as regiões próximas ao protótipo com telhado verde em relação a região mais afastada, com as mesmas características morfológicas, logo, o uso de telhado vegetado causa reflexos tanto na escala urbana, como em escala local, alterando as condições microclimáticas onde os edifícios se inserem.

Além disso, o aumento da temperatura da superfície durante o dia, a redução do resfriamento noturno e a elevação da poluição atmosférica que são fatores associados às ilhas de calor, podem afetar a saúde humana, contribuindo para o desconforto, dificuldades respiratórias, calafrios, exaustão, podendo chegar a se tornar causa de AVC (Acidente Vascular Cerebral) (REBOLLAR, 2017).

4.4.5. Retenção de águas pluviais

No crescente cenário de urbanização, impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes de eventos hidrológicos têm sido recorrentes e têm demandado a busca por soluções que não se limitam à aplicação de técnicas tradicionais. Tais problemas estão relacionados com baixa infiltração da água pluvial, devido, principalmente, à impermeabilização ocasionada pela retirada da vegetação. Logo, o escoamento superficial é intensificado e como resultado ocorre um aumento da frequência e da magnitude dos picos do hidrograma de escoamento, levando à ocorrência de enchentes e inundações (SANTOS et al., 2013).

Em áreas urbanas, onde superfícies impermeáveis chegam a cobrir de 75% a 100% do terreno, apenas 5% da água da chuva atinge os aquíferos superficiais, 5% são armazenados em aquíferos profundos e 15% são utilizados imediatamente pela vegetação, os 75% de precipitação restante torna-se escoamento superficial (ROSSETI et al., 2013).

Assim, o uso do telhado verde é de fundamental importância para a redução do escoamento superficial, pois estes têm a capacidade de reter a água da chuva, armazenando-a no substrato, por exemplo, de onde é absorvida pelas plantas e em seguida devolvida para a atmosfera através do processo de evapotranspiração (COSTA et al., 2012; MARTELLI & SANTOS JÚNIOR, 2015).

Em estudos realizados por Burszta-Adamiak (2012), em Wrocław, na Polônia, com telhados verdes, para determinar a capacidade de retenção, retardo do escoamento superficial e redução no pico do hidrograma durante eventos de chuvas, mostrou que os telhados verdes com várias camadas contribuíram para a redução da velocidade do escoamento e a redução no pico do hidrograma quando comparado com o valor máximo de precipitação registrado.

Ohnuma Júnior et al. (2014) em estudos realizados na cidade de São Paulo, analisaram comparativa e quantitativamente o escoamento superficial gerado por 02 telhados verdes a partir da eficiência do coeficiente de escoamento. De acordo com os autores as áreas incorporadas por telhados verdes apresentaram uma maior eficiência na

sua capacidade de absorção de água pluvial em relação a um telhado convencional, com uma retenção de aproximadamente 56% do volume precipitado, para 90% de geração do escoamento em relação à precipitação total.

4.4.6. Melhoria na qualidade do ar e preservação da biodiversidade

Com o intenso desenvolvimento econômico das últimas décadas, a humanidade vivencia o agravamento de questões socioambientais. Dentre as diversas problemáticas ambientais existentes, ganha destaque a poluição atmosférica que, segundo dados da Organização Mundial da Saúde - OMS, foi responsável pela morte de 3,6 milhões de pessoas no mundo em 2012 (VORMITTAG et al., 2014).

Logo, a degradação da qualidade do ar representa um importante fator de ameaça à saúde humana, especialmente nos centros urbanos, a qual está associada ao agravamento de doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas, especialmente em crianças e idosos (SANTANA et al., 2012). De acordo com Vormittag et al. (2014) o ar passa a ser líder ambiental para riscos em saúde, ultrapassando a água insalubre e doenças infecciosas como a malária.

Nesse contexto, o uso de telhado verde tem influência significativa na redução da concentração de gases poluentes na atmosfera, uma vez que as plantas retiram os poluentes do ar, a partir da absorção de gases ou coleta das partículas através de suas folhas (ROSSETI et al., 2013). Segundo dados da IGRA (2017) um metro quadrado de telhado verde pode filtrar, por ano, aproximadamente 0,2 kg de poeira de aerossol e partículas de poluição.

A vegetação, pelo mecanismo da fotossíntese, absorve o carbono e libera o oxigênio. Logo, quanto maior a área de espaços verdes nas cidades, mais oxigênio será gerado e maior será a quantidade de dióxido de carbono consumido (CALDEIRA, 2015). Em estudos realizados nos Estados Unidos, a cerca da absorção de gases poluentes por áreas vegetadas, no ano de 2010, comprovou-se que houve uma remoção de 17,4 milhões de toneladas de gases poluentes, o que gerou uma economia de U\$ 6,8 bilhões (NOWAK et al., 2014).

Em outro estudo Minke e Witter (1982) ressaltam que 01 m² de grama, sem cortes, em um telhado, libera oxigênio suficiente para satisfazer as necessidades de um ser humano por mais de um ano.

Ainda, se em 20% de todos os edifícios existentes em Washington fossem instalados telhados verdes, a vegetação resultante iria remover a mesma quantidade de poluição do ar que 17.000 árvores de rua (DEUTSCH et al., 2005).

Quanto à preservação da biodiversidade os telhados verdes influenciam de forma significativa na composição de um habitat propício para uma variedade de espécies, na qual os telhados verdes extensivos, devido ter uma menor circulação de pessoas, podem ser potencialmente um bom habitat para pássaros, plantas e insetos (REBOLLAR, 2017).

Durante as estações de crescimento, as coberturas verdes oferecem autênticas ilhas ecológicas onde insetos e pássaros podem descansar, alimentar-se e reproduzir-se (CALDEIRA, 2015). Além disso, plantas e gramas nativas podem ser trazidas em sementes por pássaros e insetos de cada região e proliferarem de maneira natural, acompanhando as estações do ano, mudando de cores, de insetos, nascendo plantas espontâneas, transformando-se assim em um meio natural da biodiversidade (REBOLLAR, 2017).

Em estudos desenvolvidos por Páll-Gergelyos et al. (2014), foi verificado que os telhados verdes têm potencial para suportar invertebrados de habitat sensíveis e abertos, mesmo em locais altamente improváveis. Os autores sugerem ainda, que os telhados verdes podem ser importantes no fornecimento de novos habitats para invertebrados em áreas urbanas e, desde que amplamente distribuídos, colônias de espécies locais raras também podem estabelecer-se nos telhados.

4.4.7. Conforto humano

Devido à diversidade climática existente no planeta, os seres vivos são obrigados a fazerem constantes adaptações ao meio em que vivem de tal forma que possam reduzir possíveis transtornos provocados pela variabilidade do clima nas diferentes regiões do globo terrestre (ALVES, 2011). Essa variabilidade climática atrelada às intensas alterações provocadas pela atividade humana tem gerado inúmeros estudos sobre a relação entre o clima, conformação do ambiente e os reflexos sobre a qualidade de vida da sociedade nos espaços urbanos (SANTOS BRASIL et al., 2015).

De acordo com Vicente (2001), durante o século XIX, por meio da criação de códigos e diretrizes construtivas da cidade, perceberam as primeiras preocupações com o conforto ambiental urbano.

Com o tempo tem-se observado muitas pesquisas acerca do conforto ambiental, principalmente as voltadas para a compreensão de como o organismo dos seres humanos reage ao ambiente construído e transformado, com foco também nas condições de conforto térmico (VIANA & AMORIM, 2012).

Em relação a essas condições surge a necessidade de empregar técnicas que visem minimizar as trocas de calor entre o homem e o ambiente interno e que possam contribuir para um melhor rendimento das atividades humanas, especialmente no trabalho (DACANAL et al., 2010). Santos & Melo (2010) salientam que se as trocas de calor ocorrer espontaneamente, sem esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho é máxima.

Ainda, Buriol et al. (2015) ressaltam que o corpo humano atinge o equilíbrio térmico, quando as trocas de calor por radiação, evaporação e convecção, juntamente com o calor metabólico produzido pelo corpo humano, se anulam. Logo, fatores como a temperatura e umidade do ar, evaporação, velocidade do vento e radiação, devem ser levados em consideração quanto ao comportamento dos seres humanos em condições de conforto térmico.

Desta forma, o emprego de telhado verde vem melhorar o conforto térmico dos ambientes internos das edificações, através da redução da temperatura nesses ambientes, devido ao efeito da inércia térmica, promovida pelos diferentes materiais utilizados no sistema construtivo (PERUSSI & VECCHIA, 2016).

4.4.7.1. Conforto térmico

Sabe-se que na maioria das grandes cidades o crescimento se deu de forma acelerada e não planejada, o que configurou em vários problemas socioambientais, como as frequentes enchentes e alagamentos ocasionados pela concretização do solo, poluição do ar e das águas, temperaturas na microescala climática urbana cada vez mais elevadas, entre outros (SILVA et al., 2015).

Neste sentido, nos grandes centros urbanos, a presença de áreas verdes destaca-se como ferramenta crucial no combate às consequências negativas associadas às problemáticas ambientais e de conforto térmico urbano (JESUS et al., 2016), uma vez que proporciona uma melhoria significativa na qualidade do ambiente urbano quando tratadas adequadamente (ROSSETI et al., 2013).

Contudo, devido às variações do desenvolvimento vegetal, diversidade de regiões e condições climáticas encontradas, ainda não se tem um completo entendimento de todos os fenômenos e os benefícios que podem ser obtidos na presença de vegetação em grandes centros urbanos (JESUS et al., 2016).

Inúmeros estudos comprovam o desempenho térmico encontrado no uso e aplicação de telhados verdes, por meio de investigações experimentais ou até mesmo por modelagens. Em estudo realizado por Schettini et al. (2016), na cidade de Bari,

Itália, sobre o controle das variáveis meteorológicas em edifícios verdes, demonstrou que a aplicação das paredes verdes durante os meses quentes permitiu cortar o ganho de calor devido à radiação solar, e reduziu a temperatura da superfície externa em horas diurnas até 4,4 °C, enquanto que nos meses frios permitiu aumentar o desempenho de isolamento térmico das paredes, mantendo a temperatura da superfície externa em horas noturnas até cerca de 2,8 °C sobre a temperatura da superfície da parede não coberta de plantas.

Carneiro et al. (2015) ao estudarem o condicionamento térmico primário de instalações rurais com base em diferentes tipos de cobertura, verificaram uma redução nas temperaturas superficiais medidas na face interna das coberturas, de 5,3 e 4,4 °C, nas coberturas com telhado verde. Parizotto & Lamberts (2011), na cidade de Florianópolis, SC, ao investigarem o desempenho térmico do telhado verde no clima temperado, verificaram que o telhado vegetado reduziu o ganho de calor em 37 e 63% em relação aos telhados cerâmico e metálico, respectivamente, e aumentou a perda de calor em 22% em relação aos mesmos durante a primavera/verão.

Dobbert & Zanlorenzi (2014) a fim de analisarem as condições de conforto térmico de duas áreas da cidade de Campinas, São Paulo, distintas quanto à ocupação e quantidade de arborização, observaram que na área que contém mais árvores, tem um efeito de resfriamento superior nos valores de conforto térmico, variando de 12,2 °C até 27,0 °C PET (*Physiologically Equivalent Temperature*), enquanto no Centro os valores de conforto térmico foram de 14,2 °C até 33,3 °C PET. Os autores ainda destacam a importância da arborização urbana, desde que com quantidade significativa de elementos arbóreos, por proporcionar mudanças representativas no microclima, ao aumentar o conforto térmico para seus usuários.

Em um estudo de caso realizado por Jesus et al. (2016) na cidade de Madri, Espanha, ao comparar o comportamento térmico de uma fachada recoberta por vegetação e uma fachada convencional em função de variáveis climáticas de temperatura, umidade e velocidade do ar, coletadas no local, encontraram uma redução de temperatura entre 2,5 e 2,9 °C em um dia de verão quente e seco e reduções de 1,5 °C, para o período outonal.

4.4.7.2. Conforto acústico

Segundo a Organização Mundial da Saúde, a poluição sonora é, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas. Com as transformações ocorridas nas cidades, além das modificações provocadas no

microclima, também ocorreu aumento da poluição sonora, principalmente, nos centros urbanos, seja em decorrência dos meios de transporte seja por fábricas ou qualquer outro tipo de uso das edificações (REBOLLAR, 2017).

Uma maneira de amenizar esse tipo de poluição está no uso de telhados verdes sobre as lajes das edificações, principalmente, nos centros urbanos, uma vez que a vegetação utilizada no telhado mais o substrato absorvem as ondas sonoras em maior grau, quando comparado com as superfícies rígidas convencionais (ROWE, 2011). Os telhados verdes reduzem a reflexão sonora em até 03 dB e melhoram o isolamento do som em até 08 dB, além disso, as ondas eletromagnéticas das estações transmissoras podem ser efetivamente protegidas pela camada de vegetação (IGRA, 2017). Isso acontece devido aos substratos e vegetação que por serem espessos, as ondas sonoras entram no espaço dos poros e são atenuadas pelas numerosas interações com o substrato (ROWE, 2011).

4.4.8. Índices de conforto térmico

O conforto térmico caracteriza-se pela interação entre o meio ambiente e as edificações, na qual visa satisfazer o conforto do ser humano com o ambiente térmico em que se encontra (NOGUEIRA et al., 2012).

O homem por ser homeotérmico, possui uma temperatura corporal, praticamente, constante, em torno de 37,0 °C, com limite inferior na faixa de 32,0 °C e superior em 42 °C, quando acusa um estado de enfermidade (SANTOS et al., 2014).

Assim, para que essa condição de homeotermia seja bem sucedida, há a necessidade de o homem liberar e/ou armazenar calor em quantidade suficiente para o ambiente (VIANA & AMORIM, 2012), na qual essa troca térmica do corpo humano com o ambiente é verificada por meio do processo de convecção, radiação e evaporação (RUAS, 1999).

Devido à problemática de se estabelecer um ambiente em que o homem se sinta confortável termicamente, nas últimas décadas, surgiram muitas pesquisas que avaliam o conforto dos ambientes ocupados pelo ser humano, e com isso, foram estabelecidos inúmeros índices de conforto, como por exemplo, o Índice de Desconforto proposto por Thom em 1959, utilizado em regiões de clima temperado (NOGUEIRA et al., 2012).

Em geral, os modelos existentes para quantificação do conforto térmico empregam a análise de variáveis meteorológicas, pessoais, de forma que adeque-se em um único parâmetro, e indique os diversos fatores que condicionam o desconforto, além de estabelecer os intervalos relativos a esses parâmetros (SILVEIRA, 2014).

Desse modo, foi desenvolvido um diagrama de conforto térmico humano pela Organização Mundial de Meteorologia em 1987 (INMET, 2017) (Figura 5). Neste diagrama, temperaturas do ar na faixa entre 8,0 e 33,0 °C, com uma umidade relativa em torno de 30 e 80% são consideradas como termicamente confortável (SOUZA & NERY, 2012).

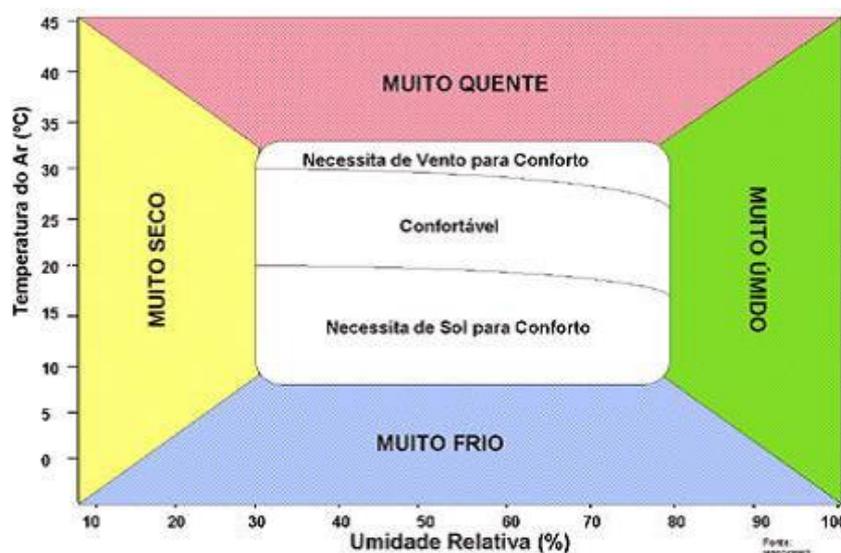


Figura 5: Diagrama do conforto humano. Fonte: INMET (2017).

Para análise de conforto térmico humano utiliza-se de alguns índices, como o de Temperatura Efetiva (TE), proposto por Missenard (1937), em que levou em consideração a relação da função da temperatura com a umidade relativa do ar. Nesse índice, valores entre 23 e 25,9 °C são classificados como confortável termicamente, já valores acima 28 °C ou abaixo de 10 °C, classificados como desconfortável, conforme exposto na Tabela 2 (SILVA JÚNIOR et al., 2012).

Tabela 2: Sensação de conforto térmico do corpo, relacionado com o índice de Temperatura Efetiva (TE), segundo a ASHRAE (1972).

Sensação Térmica	TE (°C)
Muito Desconfortável	35,0 – 40,0 °C
Desconfortável	28,0 – 34,9 °C
Ligeiramente Desconfortável	26,0 – 27,9 °C
Confortável	23,0 – 25,9 °C
Ligeiramente Confortável	20,0 – 22,9 °C
Ligeiramente Desconfortável	15,0 – 19,9 °C
Desconfortável	10,0 – 14,9 °C

Fonte: Silva Júnior et al. (2012).

Com relação a TE, Carneiro et al. (2015) verificaram uma diferença significativa entre o uso de cobertura convencional e a cobertura verde, com valores de TE de 26,28 e 26,20 °C para os telhados vegetados e de 27,00 e 26,78 °C para os tetos convencionais, porém, esses valores não satisfazem as condições de conforto verificadas na Tabela 2. Por outro lado, Santos et al. (2014) ao analisarem o conforto humano no município de Arapiraca-AL, puderam observar valores de TE com sensação de calor moderado o que permitiu perceber uma acentuada elevação na velocidade de perda de calor através da sudorese, e eventuais incômodos e mal-estar.

Além desse índice supracitado, outro índice que deve ser levado em consideração no estudo do conforto térmico é o Índice de Conforto Humano (ICH) proposto por Rosenberg (1983), Tabela 3, onde levou em consideração a temperatura e pressão de vapor do ar (SANTOS & MELO, 2010).

Tabela 3: Índice de Conforto Humano, Rosenberg (1983).

Sensação Térmica	ICH
Desconforto insuportável	46 ou mais
Desconforto suportável	40 – 45
Graus de conforto variando	30 – 39
Confortável	20 – 29

Fonte: Rosenberg (1983).

Em estudos realizados por Santos e Melo (2010) a respeito dos índices de conforto e desconforto térmico humano nas capitais nordestinas, percebeu-se que quase todas as capitais do Nordeste apresentaram “graus de conforto variando” durante todo o ano, com um valor compreendido entre 30 e 39. Carneiro et al. (2015) também encontraram valores de conforto dentro dos padrões proposto por Rosenberg, na qual o grau de conforto em função dos valores de ICH obtidos nos abrigos com cobertura verde apresentou menores valores quando comparado ao dos telhados convencionais, mas todas as coberturas se encontram na condição “confortável” de conformidade, com graus de conforto variando entre 26,20 e 27,00.

4.4.9. Termografia infravermelha

A termografia é tida como uma técnica de medição da temperatura, não invasiva e não destrutiva capaz de detectar variações mínimas na temperatura superficial de um corpo com precisão, por meio da radiação infravermelha emitida e refletida pelo objeto que se deseja avaliar, o que permite a geração de imagens térmicas, em que cada cor

representa um nível de temperatura superficial do objeto (KOTRBA et al., 2007; FREITAS et al., 2014).

Contudo para a validação desse método é necessário que se tenha um diferencial de temperatura entre o objeto que se deseja estudar e o ambiente na qual está inserido, uma vez que utiliza sensores térmicos para a captação da radiação incidente (SALES et al., 2016).

Quanto ao diferencial de temperatura necessário para eficácia no uso da termografia infravermelha, tal efeito pode ser conseguido através da aplicação de um estímulo de energia artificial, com aquecimento ou resfriamento, na qual passa a ser considerada como uma técnica de termografia ativa, ou através de um estímulo de energia natural, nesse caso por meio da energia solar, onde essa técnica passa a ser considerada como passiva (SALES et al., 2016).

Além disso, para que se tenha uma boa precisão na medição da temperatura por meio desse método, deve-se levar em consideração a emissividade do corpo, ou seja, a capacidade que o material tem para radiar energia, a refletância da temperatura em forma de ondas infravermelhas, a distância entre o corpo e a câmera, além da umidade do ar (KNÍZKOVÁ et al., 2007).

Vale ressaltar ainda que os dados obtidos a partir das imagens termográficas passam por um processamento, por meio de um software, o qual transforma esses dados em níveis de temperatura que são representados por um gradiente de falsa-cor (CHAERLE & VAN DER STRAETEN, 2000).

Esse gradiente refere-se a uma coloração obtida através do mapeamento de escalas de cinza para um espaço de cor tridimensional (SANCHES, 2009). O mesmo autor explica que o uso das imagens em falsa-cor, facilita na visualização e interpretação das imagens, uma vez que o ser humano consegue distinguir melhor as variações de cores do que variações em níveis de cinza.

A técnica da termografia infravermelha tem gerado resultados satisfatórios nos últimos anos, principalmente em estudos voltados para a construção civil, a qual tem sido utilizada para determinação de propriedades térmicas de diferentes materiais e produtos (SALES et al., 2016).

Freitas et al. (2014) ao verificarem a aplicabilidade da termografia infravermelha na avaliação de fissuras relacionadas à temperatura em revestimento de argamassa de fachadas, concluíram que essa técnica surge como ferramenta de elevado potencial a serviço das atividades de inspeção, avaliação e diagnóstico de problemas em

revestimentos, permitindo compreender melhor os fenômenos e eventos incidentes nos paramentos, associados às questões térmicas e higroscópicas.

Ao avaliarem a temperatura superficial das coberturas de abrigos individuais de bezerreiros, por meio de imagens térmicas, Barnabé et al. (2014) observaram que o uso do termovisor permitiu o mapeamento térmico e a determinação das temperaturas das superfícies externas e internas dos materiais de cobertura auxiliando na compreensão dos processos de transferência de energia.

Ainda, Abreu et al. (2011) com o objetivo de obter imagens termográficas da superfície de telhas, visando avaliar sua temperatura superficial, delimitaram os perímetros correspondentes e determinaram os valores máximo, mínimo e médio de temperatura da superfície inferior e superior do telhado, o que corroborou na elaboração de um gradiente de temperatura e permitiu análises mais precisas quanto ao efeito da temperatura superficial das telhas.

Fiorelli et al. (2012), avaliaram a eficiência térmica por meio de termografia infravermelha, da cobertura de bezerreiros individuais expostos ao sol e à sombra e verificaram que o uso de imagens térmicas se mostrou eficiente para melhor compreensão dos processos de transferência de energia da cobertura para o interior das instalações.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

A pesquisa foi conduzida no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, da construtora Rio Ave Empreendimentos, na cidade do Recife, PE ($8^{\circ} 03' 57''$ S e $34^{\circ} 53' 46''$ W), onde foi implantado um telhado verde extensivo com 2.800 m^2 de área (Figura 6).



Figura 6: Edifício Garagem Empresarial Charles Darwin. Foto antes da implantação do telhado verde (A) e após implantação do telhado verde (B). Fonte: Rio Ave, Empresarial Charles Darwin.

O clima da região é do tipo As' , tropical chuvoso, de acordo com a classificação de Köppen (PEREIRA et al., 2002). A temperatura média anual é de $25,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e as temperaturas mais elevadas ocorrem em janeiro, com média de $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e julho é o mês mais frio, com média de $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (CARNEIRO et al., 2015).

5.2. Registro dos dados meteorológicos e cálculo dos índices de conforto

A pesquisa ocorreu em dois períodos. O primeiro, sem telhado verde, que compreendeu de 24 de maio a 30 de setembro de 2016 e o segundo, com telhado verde (24 de maio a 30 de setembro de 2017). Para esses dois períodos foram registrados dados da temperatura do ar (T_{ar} , $^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (UR, %) e precipitação (P, mm), por meio de uma estação meteorológica automática instalada na laje externa do edifício, em um local em que a sombra dos prédios circunvizinhos não interferisse na qualidade dos dados registrados. A partir da T_{ar} foram determinados os dias críticos, em que se admitiu o dia com, maior e menor, média diária de T_{ar} .

Na área interna do edifício foram instaladas duas salas, com características distintas quanto ao material de isolamento, ou seja, sala de vidro, constituída por

vedação de alvenaria revestida com argamassa, laje com forro de gesso, esquadria de vidro com ferro galvanizado, piso de concreto armado, sem ventilação. E a sala de compensado, constituída com vedação de compensado, laje de forro e piso de concreto armado, também sem ventilação, as duas salas apresentam as seguintes dimensões: 3,40 m de pé direito, 5,40 m de comprimento e 5,90 m de largura (Figura 7). Quanto à condutividade térmica dos materiais de isolamento das salas, os valores são de 0.8 W.m.k^{-1} para o vidro, 0.72 W.m.k^{-1} para a argamassa de reboco e 0.17 W.m.k^{-1} para o compensado (SENGER et al., 2011).

No interior de cada sala foram registrados dados de Tar e UR a cada 10 min, com o auxílio de sensores HOB0 U12-012, afixados no centro geométrico dos ambientes, a uma altura de 1,60 m em relação ao piso.

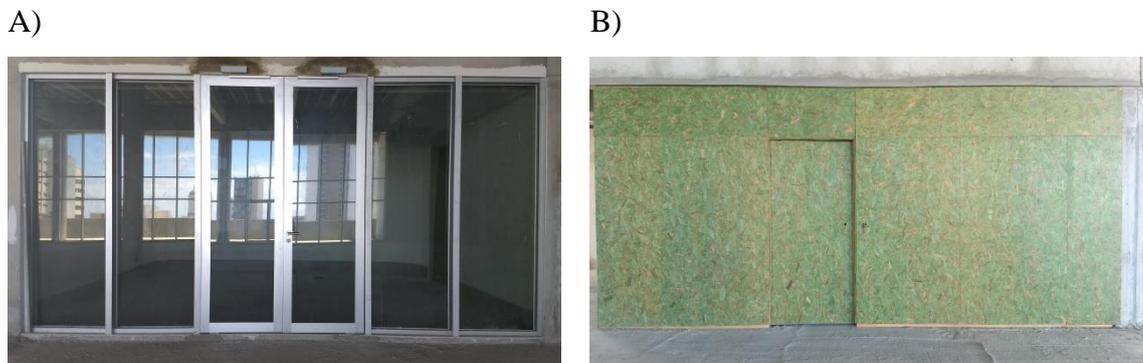


Figura 7: Vista frontal das salas (A) vidro e (B) compensado, onde foi realizado o experimento. Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Com os dados da Tar e UR do ar do ambiente externo e interno, registrados nos dias críticos, determinaram-se os índices de Temperatura Efetiva (TE, °C) proposto por Missenard (1937) (Eq. 1); Índice de Conforto Humano (ICH, °C) proposto por Rosenberg (1983) (Eq. 2).

$$TE = T - 0,4 \times \left[\left(1 - \frac{UR}{100} \right) \right] \times (T - 10) \quad (1)$$

em que:

TE - temperatura efetiva, °C;

T - temperatura do ar, °C; e

UR - umidade relativa do ar, %.

$$ICH = T_a + \frac{5}{9} \times (e_a - 10) \quad (2)$$

em que:

T_a - temperatura do ar, °C; e

e_a - pressão de vapor, kPa.

$$e_a = \left(\frac{e_s \times UR}{100} \right) \quad (2.1)$$

em que:

e_a - pressão de vapor, kPa; e

e_s - pressão de vapor do ar saturado, kPa.

$$e_s = 0,611 \times 10^{\left[\frac{(7,5 \times T_a)}{(237,3 + T_a)} \right]} \quad (2.2)$$

em que:

e_s - pressão de vapor do ar saturado, kPa; e

T_a - temperatura do ar, °C.

Os índices foram relacionados com as faixas de conforto correspondentes: TE (Tabela 2) proposta pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 1972) e ICH (Tabela 3) proposta por Rosenberg (1983).

5.3. Imagens Termográficas

Para a análise térmica da cobertura foram utilizadas imagens térmicas obtidas a partir de uma câmera termográfica modelo FLIR I60 (Figura 8), pelo registro da face externa e interna da laje, de cada sala fechada, antes e depois da instalação da vegetação, uma vez por semana, de uma em uma hora, das 08h00min às 17h00min, durante o período experimental, ou seja, 03 de junho a 30 de novembro de 2016 e 03 de junho a 30 de novembro de 2017. Para obtenção das imagens, a câmera foi posicionada de tal forma que se obteve um ângulo de 90° entre o ponto de coleta da imagem e a lente da câmera.

No momento da obtenção das imagens foram registradas as variáveis termohigrométricas (temperatura e umidade do ar), para as correções da temperatura na fase de análise das imagens.



Figura 8: Câmera termográfica modelo FLIR I60. Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

5.4. Análises dos dados

Os dados calculados nos ambientes internos foram comparados com aqueles calculados externamente, por meio das diferenças médias dos valores, bem como a relação entre elas, a qual foi estabelecida por análise de correlação de Pearson.

As imagens foram processadas pelo programa computacional FLIR QuickReport, ajustados de acordo com a temperatura e umidade relativa do ar e emissividade, para a laje sem vegetação e posteriormente com vegetação. Na qual se utilizou emissividade de 0,93 para laje de concreto (INCROPERA & DEWITT, 2003) e 0,98 para vegetação (HARTMANN, 1994).

5.5. Composições do Telhado Verde

O telhado verde em que foi realizada a pesquisa classifica-se como telhado verde extensivo, cujos principais materiais utilizados para implantação do telhado foram: manta de impermeabilização com função anti-raiz, camada de drenagem, a qual foi preparada com brita reciclada (84 m²), substrato (200 m³) e a grama do tipo esmeralda (2.800 m²).

A laje em que foi implantado o telhado foi preparada com concreto armado convencional (areia, brita, água e aço) com espessura de 21 cm, a camada de drenagem possuía 3 cm de espessura e a do substrato 7 cm. Para drenagem utilizou-se um (1) dreno a cada 30 m², e quanto a irrigação, a mesma era realizada 3 vezes ao dia, durante 15 minutos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Índices de Conforto Térmico Humano

Com base na análise dos dados da temperatura do ar no ambiente externo (Tar Externa, °C), o dia crítico de maior temperatura no ano de 2016 foi 08 de junho e no ano de 2017 o dia 07 de junho, enquanto que o dia crítico de menor temperatura no ano de 2016 foi 09 de agosto e no ano de 2017 o dia 19 de setembro (Figura 9). Ainda, para o período de 2016 a temperatura média foi de 25,49 °C e para 2017 foi na ordem de 25,26 °C.

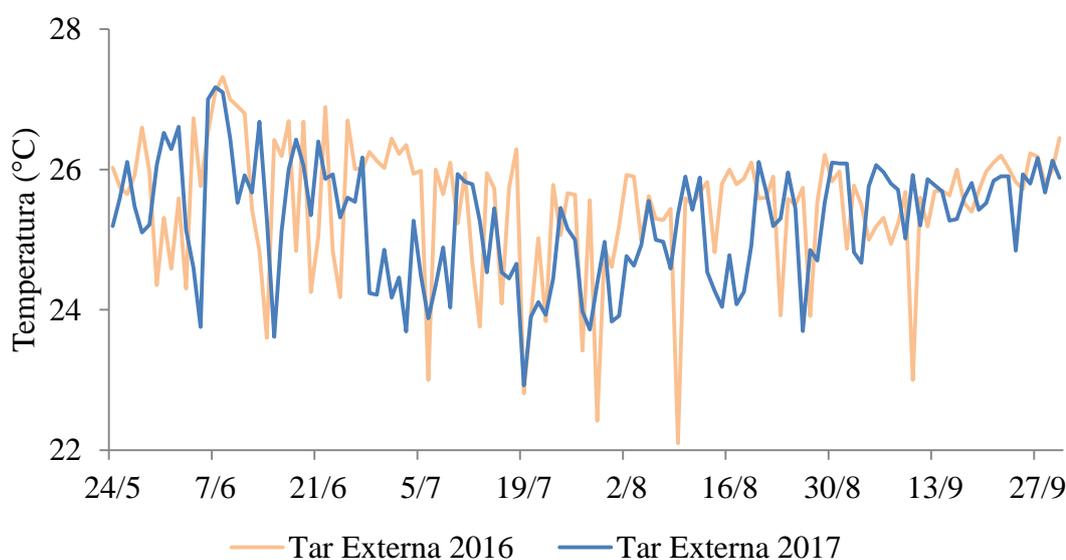


Figura 9: Média diária da temperatura do ar do ambiente externo no período de 24/05 a 30/09 de 2016 e 2017. Tar Externa 2016 – Temperatura do ar externa em 2016; Tar Externa 2017 – Temperatura do ar externa em 2017.

Na sala de compensado, para o período sem telhado verde, a diferença da temperatura do ar entre ambiente interno e externo foi de 2,11 °C ou 7,75%, ou seja, o ambiente interno ficou com a temperatura do ar acima da média da temperatura do ar do ambiente externo. Além disso, a amplitude térmica no interior da sala de compensado foi de 2,95 °C, o que indica maior variação de temperatura que na sala de vidro. No entanto, após implantação do telhado verde essa diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo foi de 0,82 °C, apresentando uma amplitude térmica de 1,08 °C (Tabela 4).

Na sala de vidro, ao analisar as médias da temperatura do ar do ambiente interno e externo, para o período sem telhado verde, observou-se uma diferença de -0,14 °C o equivalente a -0,51%, ou seja, houve uma redução na temperatura do ar no interior da

sala, além disso, apresentou uma amplitude térmica de 1,47 °C. Após implantação do telhado verde essa diferença de temperatura entre ambiente interno e externo foi de -0,12 °C e a amplitude térmica foi de 0,57 °C, mantendo a temperatura do ar no interior da sala constante (Tabela 4).

Vale ressaltar que essa redução da temperatura, na sala de vidro, ocorreu devido à troca de calor com o ambiente externo ser mais intensa, uma vez que o vidro e o ferro galvanizado utilizado no revestimento da porta e a argamassa do revestimento da sala conduzem uma maior carga térmica e apresentam maior condutividade térmica, se comparada com o compensado, na qual esse comportamento térmico, sem a influência de condicionamento ativo, depende da inércia térmica dos materiais utilizados (GAGLIANO et al., 2015).

Por possuir propriedades térmicas distintas ao vidro, na sala de compensado houve um maior acúmulo de calor no seu interior, quando comparado com a sala de vidro, porém, após a instalação do telhado verde esse acréscimo de calor interno foi reduzido em 1,29 °C. Já na sala de vidro, as trocas térmicas entre ambientes externo e interno foram facilitadas, assim o efeito do telhado verde não foi tão evidenciado (0,02 °C).

Tabela 4: Média da temperatura do ar interna (Tar Int., °C) e externa (Tar Ext., °C), diferença de temperatura do ar (Δ , °C e %) e amplitude térmica (AT, °C) para os dias críticos de maior temperatura, 08/06/2016 e 07/06/2017.

Sala de Compensado	Tar Int. (°C)	Tar Ext. (°C)	Δ (°C)	Δ (%)	AT (°C)
2016 - Sem telhado verde	29,32	27,21	2,11	7,75	2,95
2017 - Com telhado verde	27,99	27,17	0,82	3,02	1,08
Sala de Vidro	--	--	--	--	--
2016 - Sem telhado verde	27,07	27,21	-0,14	-0,51	1,47
2017 - Com telhado verde	27,05	27,17	-0,12	-0,44	0,57

Ainda, em um estudo de caso realizado por Jesus et al. (2016) na cidade de Madri, Espanha, demonstraram que o telhado verde permitiu uma redução de temperatura entre 2,5 °C e 2,9 °C em um dia de verão quente e seco e reduções de 1,5 °C, durante o outono. Nas pesquisas realizadas por Gagliano et al. (2015) também foi possível identificar uma redução de 2,5 °C na temperatura interna do ar quando se utilizou a cobertura verde. Essa redução na temperatura do ar se deve à modificação dos elementos meteorológicos, na microescala, proporcionada pela vegetação, associada à

presença de água, utilizada no processo de evapotranspiração e do sombreamento (CARNEIRO et al., 2015; MARTELLI & SANTOS JÚNIOR, 2015).

Quando comparada a variação da temperatura interna e externa, antes da implantação do telhado verde, houve maior variação da temperatura do ar no interior das salas, com picos de temperaturas acima de 30 °C na sala de compensado e, inferiores a 28 °C na sala de vidro. Percebeu-se ainda, que no interior das salas houve um acúmulo de calor, o que fez com que o ambiente interno permanecesse aquecido por mais tempo, em comparação ao ambiente externo (Figura 10A).

Por outro lado, na figura 10B, percebe-se que após a implantação do telhado verde ocorreu menor variação da temperatura no interior das salas, com picos de temperatura acima de 28 °C na sala de compensado e inferiores a 28 °C na sala de vidro.

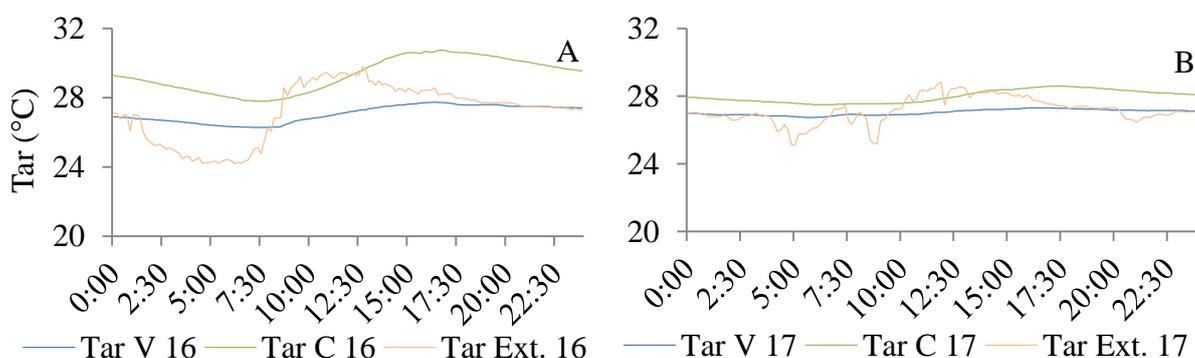


Figura 10: Temperatura do ar no ambiente externo e nas salas, para o dia crítico de maior temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 08/06/2016 (A) e 07/06/2017 (B), respectivamente. Tar V 16/17 – Temperatura do ar na sala de vidro em 2016/2017; Tar C 16/17 – Temperatura do ar na sala de compensado em 2016/2017 e Tar Ext. 16/17 – Temperatura do ar no ambiente externo em 2016/2017.

No horário em que a temperatura do ar interna foi mais elevada, para o ambiente sem telhado verde a diferença de temperatura entre as duas salas foi de 3,01 °C, enquanto que, para o ambiente com telhado verde essa diferença foi de 1,28 °C (Figura 10A e 10B). Para Feitosa & Wilkinson (2018) o emprego de telhados ou paredes verdes é capaz de reduzir, substancialmente, a temperatura no interior de habitações em geral.

Estudos realizados por Kumar & Mahalle (2016) indicaram que o telhado verde proporcionou menor amplitude térmica em relação ao telhado convencional, e que os picos da temperatura do ar foram sempre mais baixos do que o telhado convencional com uma diferença máxima de 4,4 °C.

Quanto ao índice de TE, considerando os valores da Tabela 2, proposta pela ASHRAE, pode-se observar que na sala de compensado, para o período sem e com

telhado verde, o ambiente ficou ligeiramente desconfortável, com TE médio de 27,22 e 26,37 °C, respectivamente (Tabela 5).

Na sala de vidro, devido haver maior troca de calor entre ambiente interno e externo, a mesma adequou-se às condições de conforto térmico do corpo humano, antes e após a implantação do telhado verde, com TE médio de 25,69 °C e 25,60 °C, respectivamente (Tabela 5).

Em relação ao ICH, com valores entre 20 e 29 indicando condições de conforto humano, e acima de 29, condições de desconforto, observa-se que, para ambas as salas, o ambiente interno permaneceu em condições de conforto humano antes e após a implantação do telhado verde (Tabela 5).

Tabela 5: Valores médios do índice de Temperatura Efetiva (TE, °C) e Índice de Conforto Humano (ICH) no interior das salas e no ambiente externo, para o dia crítico de maior temperatura, 08/06/2016 e 07/06/2017, no período sem e com telhado verde, respectivamente.

Sala de Compensado	TE	TE Ext.	ICH	ICH Ext.
2016 - Sem Telhado Verde	27,22	25,98	25,41	23,30
2017 - Com Telhado Verde	26,37	25,43	24,06	23,11
Sala de Vidro	--	--	--	--
2016 - Sem Telhado Verde	25,69	25,98	23,10	23,30
2017 - Com Telhado Verde	25,60	25,43	23,06	23,11

Em estudos realizados por Carneiro et al. (2015) foi possível verificar uma diferença de TE, entre o uso de cobertura convencional e a cobertura verde, com valores de 26,28 e 26,20 °C para os telhados vegetados e de 27,00 e 26,78 °C para os tetos convencionais. Além disso, esses autores encontraram valores de ICH dentro zona de conforto, com valores médios de 24,18 e 24,12 para os ambientes com telhado verde e 24,87 e 24,77 para o ambiente com telha de fibrocimento e telha reciclada, respectivamente.

Por outro lado, Santos et al. (2014) ao analisarem o conforto humano no município de Arapiraca-AL, observaram valores de TE com sensação de calor moderado o que permitiu perceber uma elevação na velocidade de perda de calor por meio da sudorese, e eventuais incômodos e mal-estar.

Ao analisar a variação do índice de TE no decorrer do dia crítico, observou-se que no período sem telhado verde, na sala de compensado, o índice ficou fora da zona de conforto, o que proporcionou uma situação de desconforto térmico (Figura 11 A). Após

implantação do telhado verde, percebe-se que a cobertura proporcionou uma redução no índice de TE, porém, mesmo com essa redução, ainda houve condições de desconforto térmico durante o dia (Figura 11 B).

Em relação à sala de vidro, antes da implantação do telhado verde, o índice de TE permaneceu na zona de conforto até metade do dia, com aumento no desconforto térmico a partir das 13h00min (Figura 11 A). Porém, após implantação do telhado verde, houve uma redução nesse índice, o que fez com que ficasse na zona de conforto durante todo o dia, tornando o ambiente confortável termicamente para o ser humano (Figura 11 B).

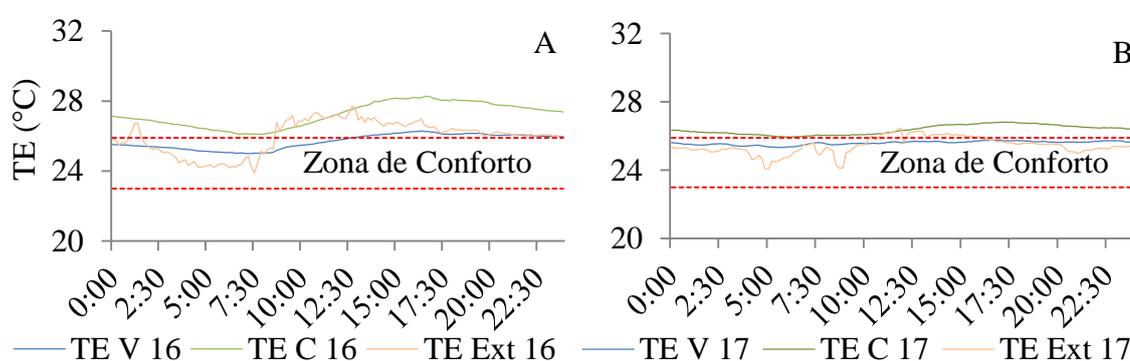


Figura 11: Variação diária do índice de TE no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de maior temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 08/06/2016 (A) e 07/06/2017 (B), respectivamente.

Sampaio et al. (2018) ao avaliarem o conforto térmico e a similitude entre protótipos e modelos reduzidos, utilizando cobertura não convencional com cobertura verde e agregado de argila expandida, obtiveram valores de TE em condição de conforto térmico, principalmente nos meses mais quentes, com valores de 19,69 °C e 19,63 °C, respectivamente. Vale ressaltar que as condições climáticas influenciaram nesses resultados de TE, visto que o clima da região estudada por estes autores classifica-se como subtropical úmido Cfb.

Quanto ao ICH, no decorrer do dia, para o ambiente sem telhado verde, percebe-se maior variação do mesmo no interior de ambas as salas, porém, os valores permaneceram na zona de conforto (Figura 12 A). No entanto, após implantação do telhado verde houve uma redução nos valores do ICH, além de ter havido maior homogeneidade do índice no interior das salas (Figura 12 B).

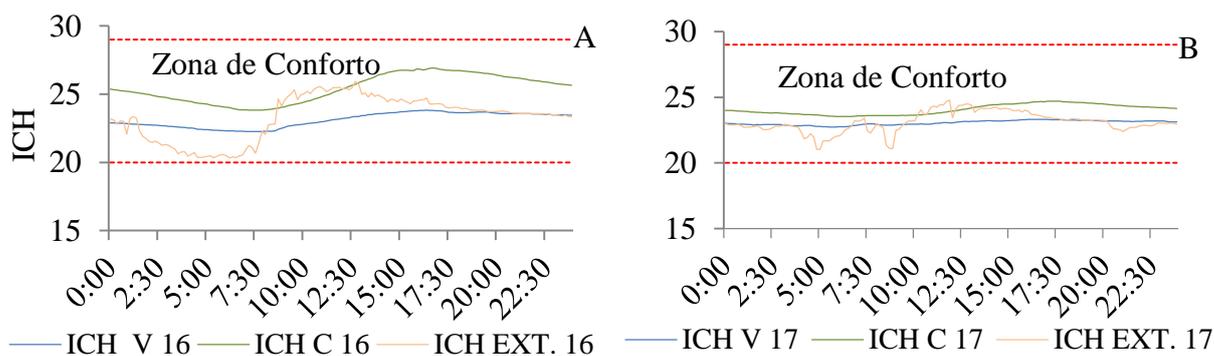


Figura 12: Variação diária de ICH no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de maior temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 08/06/2016 (A) e 07/06/2017 (B), respectivamente.

Em relação ao dia crítico de menor temperatura do ar, observou-se que, para o período sem telhado verde, na sala de compensado, a diferença da temperatura do ar entre ambiente interno e externo foi de 3,37 °C, ou seja, 14,05%. Além disso, a amplitude térmica no interior da sala de compensado foi de 2,78 °C, o que indica maior variação de temperatura. No entanto, após implantação do telhado verde essa diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo foi de 2,22 °C, apresentando uma amplitude térmica de 0,97 °C (Tabela 6).

Na sala de vidro, ao analisar as médias da temperatura do ar do ambiente interno e externo, para o período sem telhado verde, a diferença de temperatura foi de 1,52 °C o equivalente a 6,32%, com uma amplitude térmica de 1,56 °C. Após implantação do telhado verde essa diferença de temperatura foi de 1,39 °C e a amplitude térmica foi de 0,84 °C, mantendo a temperatura do ar no interior da sala constante (Tabela 6).

Ao comparar as diferenças entre os dois anos (sem e com telhado verde), tendo o ambiente externo como referência, observou-se uma diferença de 1,15 °C para a sala de compensado e 0,13 °C para a de vidro, resultados ressaltam que o telhado verde, no dia mais ameno, resultou em uma maior conservação de calor (Tabela 6), quando comparados ao dia mais quente (Tabela 4).

Tabela 6: Média da temperatura do ar interna (Tar Int., °C) e externa (Tar Ext., °C), diferença de temperatura do ar (Δ , °C; %) e amplitude térmica (AT, °C) para o dia crítico de menor temperatura, 09/08/2016 e 19/07/2017.

Sala de compensado	Tar Int. (°C)	Tar Ext. (°C)	Δ (°C)	Δ (%)	AT (°C)
2016 - Sem telhado verde	27,34	23,97	3,37	14,05	2,78
2017 - Com telhado verde	25,15	22,93	2,22	9,70	0,97
Sala de Vidro	--	--	--	--	--
2016 - Sem telhado verde	25,49	23,97	1,52	6,32	1,56
2017 - Com telhado verde	24,32	22,93	1,39	6,08	0,84

De acordo com Peng & Jim (2015) a utilização de cobertura verde permite maior conservação de energia no interior das edificações durante o período de inverno, e resfriamento durante o verão.

Quando se comparou a variação de temperatura do ar no interior das salas, observou-se que antes da implantação do telhado verde houve maior variação da temperatura do ar, com mínima de 25,91 °C e máxima de 28,69 °C, na sala de compensado, e mínima de 24,53 °C e máxima de 26,09 °C na sala de vidro Figura 13A.

No entanto, após implantação do telhado verde, houve pouca variação da temperatura do ar no interior das salas durante o dia, com mínima de 24,70 °C e máxima de 25,67 °C na sala de compensado, e mínima de 23,93 °C e máxima de 24,77 °C na sala de vidro Figura 13B.

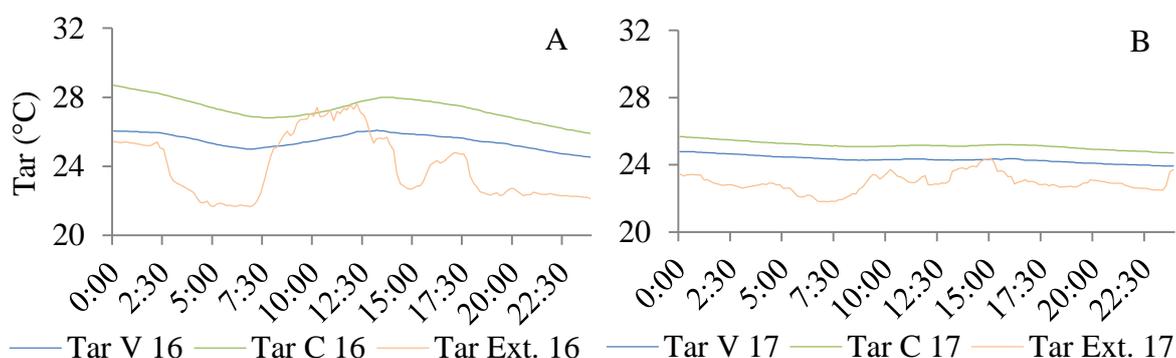


Figura 13: Temperatura do ar no ambiente externo e nas salas, para o dia crítico de menor temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 09/08/2016 (A) e 19/07/2017 (B), respectivamente.

Para Feitosa & Wilkinson (2018) a redução na temperatura não remete apenas à melhoria do conforto térmico, como também promove um aumento substancial das condições de salubridade das habitações.

Em relação ao índice de TE, durante o período sem telhado verde, houve maior variação nesse índice no interior das salas, no entanto, mantiveram-se dentro da zona de conforto (Figura 14A). Após implantação do telhado verde, no interior das salas, houve redução nos valores do índice e maior homogeneidade, mantendo-se na zona de conforto durante todo o dia crítico (Figura 14B).

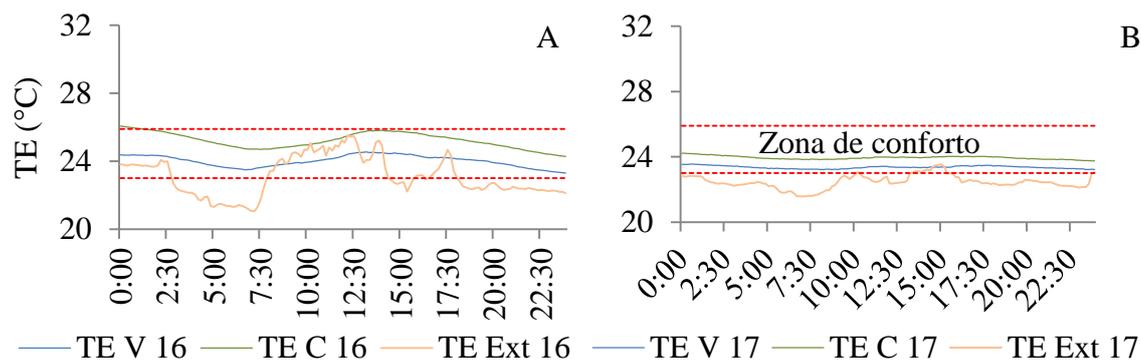


Figura 14: Variação diária do índice de TE no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de menor temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 09/08/2016 (A) e 19/07/2017 (B), respectivamente.

Quanto ao ICH, antes e após a implantação do telhado verde, o mesmo permaneceu em conformidade das condições de conforto térmico, apresentando, após implantação do telhado verde, uma homogeneidade dos valores no interior das salas (Figuras 15A e 15B).

Carneiro et al. (2015) ao avaliarem o conforto térmico proporcionado por diferentes tipos de cobertura, baseando-se em análises térmicas e índices de conforto térmico humano e zootécnico observaram que os abrigos com cobertura verde proporcionaram redução nos valores de ICH e TE quando comparados com a cobertura de fibrocimento e telha reciclada, o que sinaliza sua viabilidade como técnica natural de climatização em ambientes construídos.

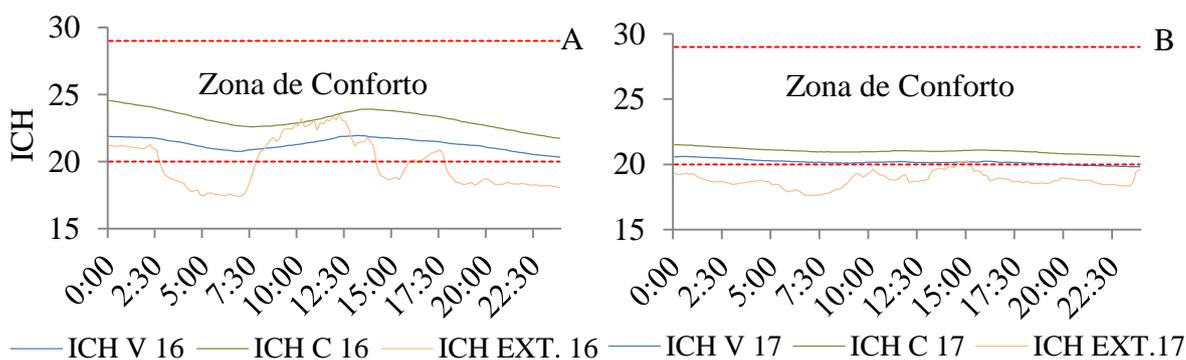


Figura 15: Variação diária do ICH no interior das salas e no ambiente externo para o dia crítico de menor temperatura, antes e após implantação do telhado verde, 09/08/2016 (A) e 19/07/2017 (B), respectivamente.

Por meio da análise de correlação de Pearson (Tabela 7) percebeu-se que no dia crítico de maior temperatura, antes de se implantar o telhado verde, houve uma correlação positiva moderada com valores entre 0,550 a 0,692, logo, as variáveis analisadas foram diretamente relacionadas, ou seja, à medida que o ambiente externo

apresentou valores maiores de temperatura do ar e/ou índices de conforto, os valores registrados internamente tenderam a aumentar também. No entanto, após implantação do telhado verde os valores foram entre 0,439 a 0,619, ou seja, as variáveis foram diretamente relacionadas, porém revelaram-se que a implantação do telhado verde promoveu alteração na classificação da correlação, que passou de moderada para leve moderada, segundo classificação de Mukaka (2012).

Tabela 7: Correlação de Pearson das temperaturas do ar e dos índices de conforto entre o ambiente interno e externo no dia crítico de maior e menor temperatura do ar.

Variáveis	Dia crítico (maior temperatura)		Dia crítico (menor temperatura)	
	Pearson Sem Telhado Verde	Pearson Com Telhado Verde	Pearson Sem Telhado Verde	Pearson Com Telhado Verde
Tar C x Tar Ext.	0,550	0,439	0,397	0,115
Tar V x Tar Ext.	0,568	0,576	0,579	0,063
TE C x TE Ext.	0,622	0,514	0,438	0,405
TE V x TE Ext.	0,692	0,619	0,616	0,308
ICH C x ICH Ext.	0,565	0,454	0,399	0,159
ICH V x ICH Ext.	0,675	0,591	0,582	0,110

*Tar C – Temperatura do ar na sala de compensado; Tar V – Temperatura do ar na sala de vidro; Tar Ext. – Temperatura do ar no ambiente externo; TE C – Temperatura Efetiva na sala de compensado; TE V – Temperatura Efetiva na sala de vidro; TE Ext. – Temperatura Efetiva no ambiente externo; ICH C – Índice de Conforto Humano na sala de compensado; ICH V – Índice de Conforto Humano na sala de vidro; ICH Ext. – Índice de Conforto Humano no ambiente externo.

Para o dia crítico de menor temperatura, no ambiente sem telhado verde houve uma correlação positiva baixa a moderada com valores entre 0,397 e 0,616. Porém após implantação do telhado verde a correlação variou de positiva baixa a correlação insignificante, com valores entre 0,063 e 0,405. Esses valores indicam menor dependência das variáveis do ambiente interno em relação ao ambiente externo, após implantação do telhado verde.

6.2. Análise termográfica da temperatura superficial das coberturas

Observa-se na Figura 16 os valores médios diários de temperatura do ar obtidos na sala de vidro (Tar V), de compensado (Tar C) e no ambiente externo (Tar Ext.), além de valores da precipitação acumulada diária (P), durante o período experimental sem telhado verde (03/06 a 30/11/2016).

No decorrer do período experimental, o valor médio da temperatura do ar no interior das salas, Tar V (27,03 °C) e Tar C (27,94 °C), permaneceram acima da

temperatura do ar do ambiente externo (25,92 °C), com diferenças da ordem de 1,11 e 2,02 °C, respectivamente.

Quanto à precipitação, verifica-se que durante o experimento houve um período de alta pluviosidade (03/06 à 10/09/2016), cuja precipitação acumulada foi de 252,57 mm e período de baixa pluviosidade (11/09 à 30/11/2016) com precipitação acumulada de 10,96 mm. Observa-se, ainda, que no período de alta pluviosidade a temperatura do ar da sala de compensado permaneceu acima da temperatura do ar da sala de vidro. No entanto, durante o período de baixa pluviosidade a temperatura do ar na sala de vidro aumentou, ficando com valores próximos aos da sala de compensado.

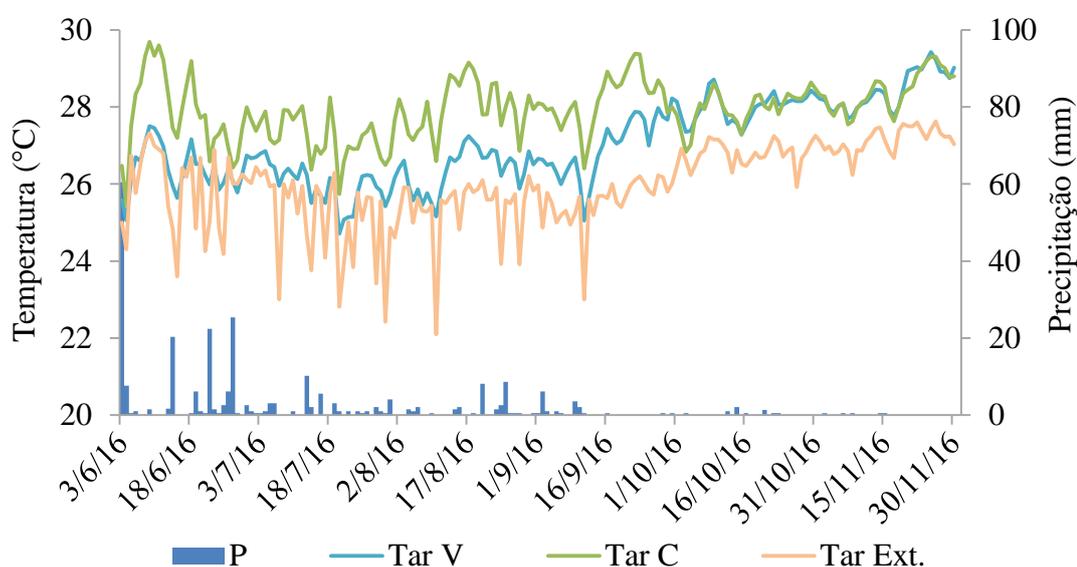


Figura 16: Precipitação acumulada (mm) e média diária da temperatura do ar (°C) nas salas (Tar V e Tar C) e no ambiente externo (Tar Ext.), no período sem telhado verde.

Durante o período experimental de 2017 (Figura 17), verificou-se que o valor médio da temperatura do ar no interior da sala de vidro foi inferior ao da temperatura do ar do ambiente externo, 25,65 °C e 25,78 °C, respectivamente, com diferença de valor de 0,13 °C, enquanto que na sala de compensado a temperatura do ar ficou acima da temperatura do ambiente externo, com valor médio de (26,46 °C).

Quanto à precipitação, houve um período de alta pluviosidade (03/06 à 26/10/2017), com precipitação acumulada de 1.063,94 mm e período de baixa pluviosidade (27/10 à 30/11/2017) com precipitação acumulada de 13,11 mm.

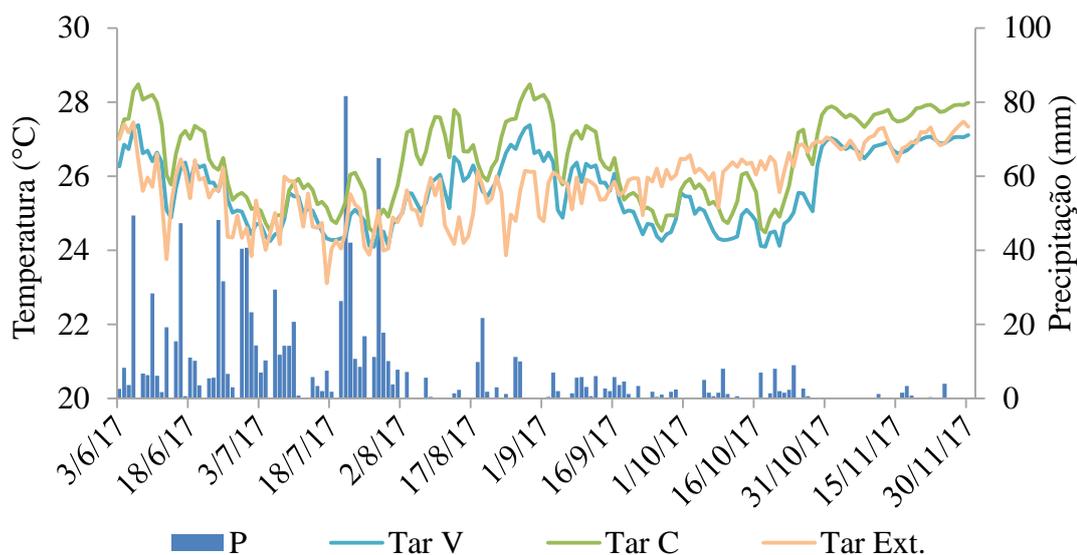


Figura 17: Precipitação acumulada (mm) e média diária da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nas salas (Tar V e Tar C) e no ambiente externo (Tar Ext.), no período com telhado verde.

Assim como ocorreu no período experimental em 2016 (Figura 16), em 2017 (Figura 17) se percebe que no período de alta pluviosidade a temperatura do ar da sala de compensado permaneceu acima da temperatura do ar da sala de vidro, no entanto, observou-se que os valores da temperatura do ar no interior das salas ficaram próximos dos valores da temperatura do ar do ambiente externo, principalmente na sala de vidro, onde o processo de trocas de calor com o meio ambiente se deu mais intensamente.

Por outro lado, no período de baixa precipitação a temperatura do ar na sala de compensado ficou acima da temperatura do ar do ambiente externo, enquanto que na sala de vidro essa temperatura permaneceu próxima à do ambiente externo.

Durante o período de baixa pluviosidade, para os ambientes sem telhado verde, a temperatura do ar interna das salas de vidro e compensado apresentou valores médios acima da temperatura do ar do ambiente externo, $27,97^{\circ}\text{C}$, $28,24^{\circ}\text{C}$ e $26,64^{\circ}\text{C}$, respectivamente, com diferenças da ordem de $1,33^{\circ}\text{C}$ e $1,60^{\circ}\text{C}$, entre ambiente interno e externo, respectivamente. Já para os ambientes com telhado verde, observou-se que a temperatura do ar interna da sala de vidro apresentou valor médio abaixo da temperatura do ar do ambiente externo, $26,75^{\circ}\text{C}$ e $26,97^{\circ}\text{C}$, respectivamente, com diferença de $-0,22^{\circ}\text{C}$, enquanto que na sala de compensado o valor médio da temperatura do ar interna ($27,63^{\circ}\text{C}$) ficou acima da temperatura do ar externa ($26,97^{\circ}\text{C}$), com diferença de $0,67^{\circ}\text{C}$.

Após implantação do telhado verde a temperatura do ar no interior das salas apresentou valores médios próximos aos da temperatura do ar do ambiente externo. Resultado semelhante foi verificado por Carneiro et al. (2015) ao avaliarem o conforto

térmico proporcionado por diferentes tipos de cobertura, em que verificaram menor temperatura do ar para o telhado verde, seguido do telhado de fibrocimento, em comparação com o ambiente externo, com diferença da ordem de 1,75 °C e 3,12 °C, respectivamente.

Já Rosseti et al. (2013), ao comparar a variação da temperatura do ar em protótipo com telhado vegetado e protótipo coberto com telha de fibrocimento convencional, verificaram uma redução de 4,7 °C na temperatura do ar. Na cidade de Londres, Gupta et al. (2011) observaram uma redução ainda mais acentuada na temperatura do ar interior do edifício, 8 °C, ao incorporar na cobertura concreto impermeabilizado e telhado vegetado.

Observa-se que as diferenças nos registros da temperatura do ar interno nas salas, após implantação do telhado verde, não foram tão acentuadas quando comparadas com pesquisas anteriores (GUPTA et al., 2011, ROSSETI et al., 2013). Isso se deve por conta da condição climática da região onde os estudos foram desenvolvidos, visto que localidades com pouca precipitação e/ou alta incidência de radiação solar, resultam em pouca disponibilidade de vapor d'água na atmosfera, proporcionando uma situação favorável para que a evapotranspiração seja elevada, conseqüentemente, a troca do calor sensível pelo calor latente é mais eficiente (CARNEITO et al., 2015).

Durante o período de alta pluviosidade, para os ambientes sem telhado verde, observou-se que a temperatura do ar interna das salas de vidro e compensado, apresentou valores médios acima da temperatura do ar do ambiente externo, 26,27 °C 27,70 °C e 25,44 °C, respectivamente, com diferenças da ordem de 0,83 °C e 2,27 °C, entre ambiente interno e externo, respectivamente.

Já para os ambientes com telhado verde, observou-se que a temperatura do ar interna da sala de vidro apresentou valor médio abaixo da temperatura do ar do ambiente externo, 26,70 °C e 26,95 °C, respectivamente, com diferença de -0,25 °C, enquanto que na sala de compensado o valor médio da temperatura do ar interna (27,61 °C) ficou acima da temperatura do ar externa (26,95 °C), com diferença de 0,66 °C.

Ao comparar os períodos de baixa e alta pluviosidade, verificou-se que nos ambientes com telhado verde houve pouca mudança nos valores médios da temperatura do ar no interior das salas, com diferenças de 0,05 °C na sala de vidro e 0,02 °C na de compensado, enquanto que nos ambientes sem telhado verde essa diferença foi de 1,70 °C e 0,54 °C para as salas de vidro e compensado, respectivamente.

Quanto à temperatura superficial das coberturas sem telhado verde, registradas por meio da câmara termográfica, foi possível observar que na sala de vidro a temperatura

da superfície interna permaneceu, durante todo o período experimental, próxima a temperatura do ar no interior da sala, porém, em alguns momentos essa temperatura ficou acima da temperatura do ar do ambiente externo, principalmente no período de baixa pluviosidade. No entanto, a temperatura da superfície externa da cobertura da sala de vidro permaneceu acima da temperatura do ar do ambiente externo e interno, durante todo o período experimental, aumentando ainda mais no período de baixa pluviosidade (Figura 18A).

Após implantação do telhado verde houve uma redução da temperatura da superfície externa, permanecendo próxima da temperatura do ar externo e interno, e também da temperatura superficial interna, principalmente no período de alta precipitação, havendo um aumento razoável apenas no período de baixa pluviosidade (Figura 18B).

Para a sala de compensado, durante o período sem telhado verde, nota-se que as temperaturas da superfície interna e externa ficaram acima das temperaturas do ar do ambiente externo e interno, sendo que durante o período de baixa precipitação a temperatura externa ficou ainda mais elevada (Figura 18C).

No entanto, após implantar o telhado verde, notou-se uma redução na temperatura da superfície externa da sala de compensado, tanto no período de alta, quanto no de baixa pluviosidade. Além disso, os valores médios da temperatura da superfície interna da sala aproximaram-se dos valores médios da temperatura do ar do ambiente externo e interno (Figura 18D).

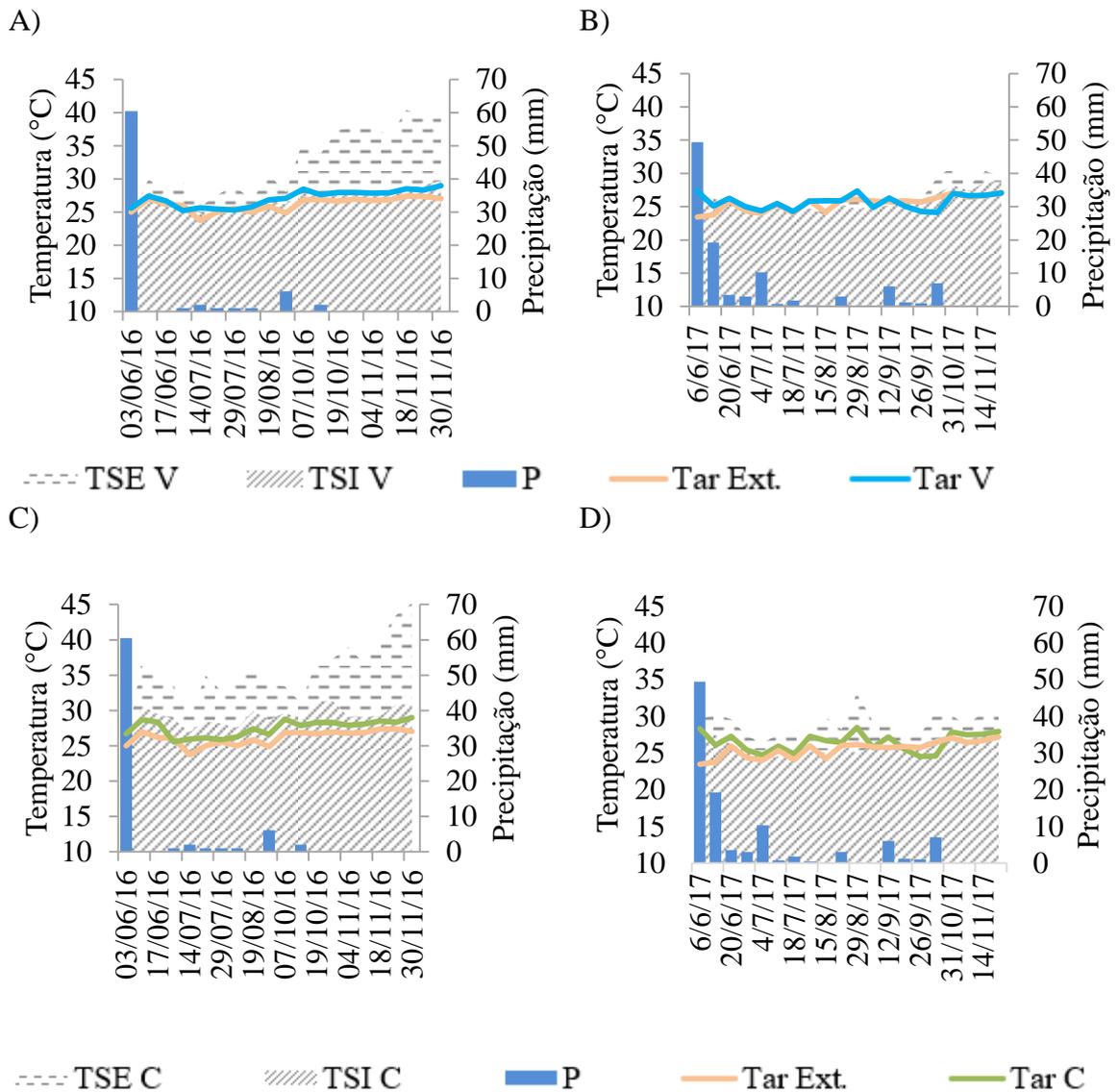


Figura 18: Precipitação acumulada (P), média diária da temperatura superficial externa e interna da cobertura da sala de vidro (TSE V e TSI V), temperatura do ar do ambiente externo (Tar Ext.) e temperatura do ar no interior da sala de vidro (Tar V), para o período (A) sem telhado verde; (B) com telhado verde. Precipitação acumulada (P), média diária da temperatura superficial externa e interna da cobertura da sala de compensado (TSE C e TSI C), temperatura do ar do ambiente externo (Tar Ext.) e temperatura do ar interna da sala de compensado (Tar C), para o período (C) sem telhado verde; (D) com telhado verde.

Na Tabela 8 são apresentados valores médios da temperatura superficial da face externa e interna das coberturas, para a sala de vidro e de compensado e valores médios da temperatura do ar no ambiente externo. A temperatura da superfície externa da cobertura da sala de vidro, no período sem telhado verde, apresentou valor médio de 32,61 °C, ficando 6,45 °C acima da temperatura do ar, cujo valor médio foi de 26,16 °C. Porém, após implantação do telhado verde essa diferença de temperatura de superfície e

ambiente externo, para a mesma sala, foi de 0,94 °C, na qual os valores médios foram de 26,84 °C para a sala de vidro e 25,90 °C para o ambiente externo.

Tabela 8: Valores médios da temperatura superficial da face externa e interna das coberturas e valores médios da temperatura do ar no ambiente externo, para a cobertura sem e com telhado verde.

--	Tar Ext. (°C)	TSEV (°C)	TSEC (°C)	TSIV (°C)	TSIC (°C)
Sem Telhado Verde	26,16	32,61	35,48	26,94	29,19
Com Telhado Verde	25,90	26,84	29,28	25,92	26,02

* Tar Ext. – Temperatura do ar do ambiente externo; TSEV – Temperatura da superfície externa da sala de vidro; TSEC – Temperatura da superfície externa da sala de compensado; TSIV – Temperatura da superfície interna da sala de vidro; TSIC – Temperatura da superfície interna da sala de compensado.

Em relação à sala de compensado, a diferença de temperatura da superfície externa da cobertura e temperatura do ar do ambiente externo foi 9,32 °C, com valores médios de 35,48 °C e 26,16 °C, respectivamente. No entanto, ao implantar o telhado verde houve uma redução na temperatura da superfície aproximando-se da temperatura do ar do ambiente externo, cuja diferença entre as temperaturas foi de 3,38 °C (Tabela 8).

Ao comparar a variação dos valores médios da temperatura superficial da face interna da cobertura da sala de vidro, percebeu-se que antes da implantação do telhado verde, a temperatura superficial interna ficou acima da temperatura do ar do ambiente externo, com médias de 26,94 e 26,16 °C, respectivamente, e uma diferença de 0,78 °C, enquanto que após a implantação do telhado verde essa diferença foi de 0,02 °C (Tabela 8).

Em relação à sala de compensado, a diferença de temperatura da superfície interna da cobertura e temperatura do ar do ambiente externo foi 3,03 °C, com valores médios de 29,19 e 26,16 °C, respectivamente, para o período sem telhado verde. No entanto, ao implantar o telhado verde a diferença entre as temperaturas foi de 0,12 °C, com valores médios de 26,02 °C para a temperatura interna da sala e 25,90 para a temperatura do ar do ambiente externo (Tabela 8).

Carneiro et al. (2015) ao estudarem o condicionamento térmico primário de instalações rurais com base em diferentes tipos de cobertura, verificaram uma redução nas temperaturas superficiais medidas na face interna das coberturas, de 5,3 e 4,4 °C, nas coberturas com telhado verde.

A Figura 19 apresenta as imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente (12h10min) dos dias 18/11/2016 e 21/11/2017, em que a temperatura da superfície interna da sala de compensado em 2016 (TSI C 16) foi de 30,02 °C (Figura 19A) e na sala de vidro (TSI V 16) de 29,01 °C (Figura 19B), na sala de compensado em 2017 (TSI C 17) foi de 27,09 °C (Figura 19C) e na sala de vidro (TSI V 17) 28,08 °C (Figura 19D).

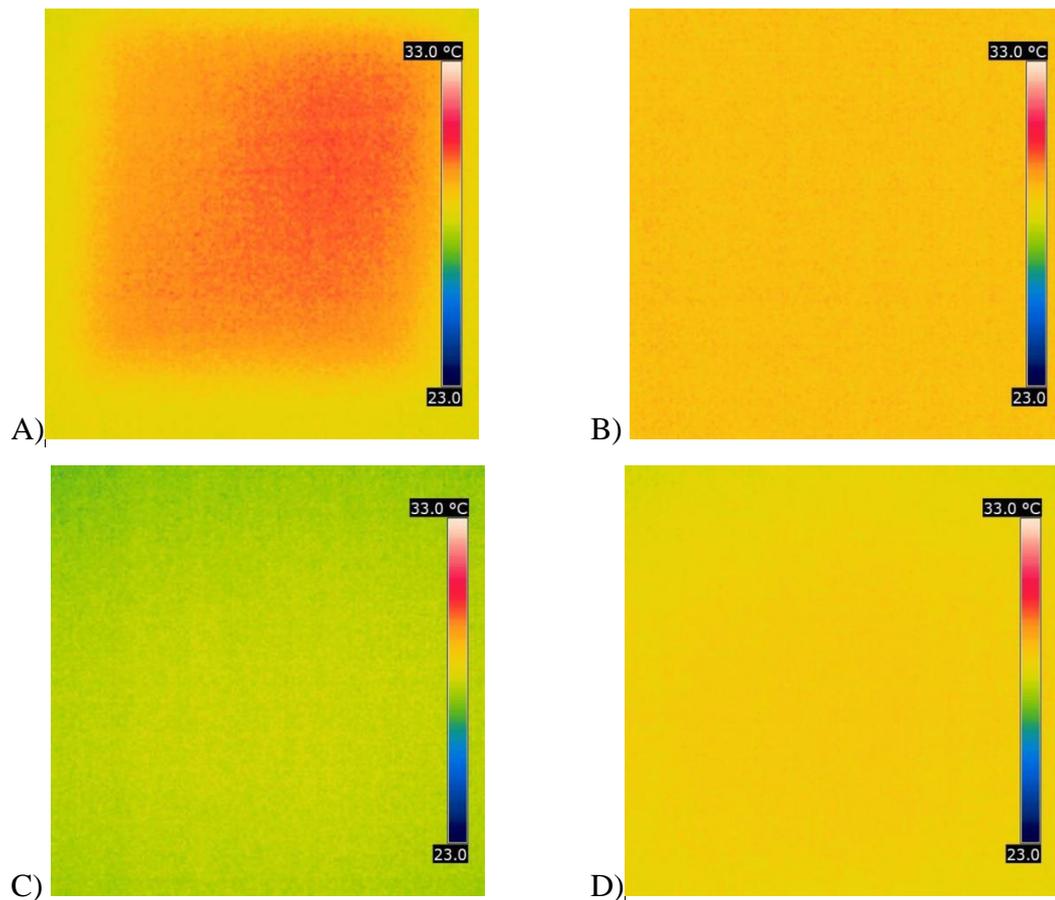


Figura 19: Imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente do dia 18/11/2016 e 21/11/2017. (A) TSI C 16, (B) TSI V 16, (C) TSI C 17 e (D) TSI V 17. *TSI C 16 – Temperatura da superfície interna da sala de compensado em 2016; TSI V 16 – Temperatura da superfície interna da sala vidro em 2016; TSI C 17 – Temperatura da superfície interna da sala de compensado em 2017; TSI V 17 – Temperatura da superfície interna da sala de vidro em 2017.

7. CONCLUSÃO

Após implantação do telhado verde ocorreu uma redução na temperatura do ar no interior das salas, nos valores dos índices de conforto, bem como redução na temperatura superficial externa e interna das coberturas, indicando a eficácia do uso da vegetação em tornar um ambiente confortável termicamente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu PG de, Abreu VMN, Coldebella A, Lopes L dos S, Conceição V da, Tomazelli IL (2011). Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(11): 1193–1198.

Aguiar C, Fedrizzi B (2010). Telhados verdes na habitação de interesse social. In: *Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social*. Porto Alegre – RS.

Alves RR (2011). Métodos de avaliação do Conforto Térmico Humano. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers (1972). *Handbook American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Handbook of Fundamentals*, Edited by Carl W. MacPhee. New York: ASHRAE.

Baldessar SMN (2012). Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Barnabé JMC, Pandorfi H, Almeida GLP de, Guiselini C, Jacob AL (2014). Temperatura superficial de materiais utilizados para cobertura individual de bezerreiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(5): 545–550.

Blanco KC (2012). Coberturas verdes: aplicação como estratégia de mitigação de impacto ambiental em Brasília. Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB/ICPD) para obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Pós-graduação Lato Sensu. Brasília-DF.

Buriol GA, Estefane V, Righi EZ, Bressan VC (2015) Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. *Revista Ciência Rural* 45(2): 223-230.

Burszta-Adamiak, E (2012). Analysis of the retention capacity of green roofs. *Journal of Water and Land Development*. (16): 3–9.

Caldeira, MCAP (2015). Princípios de sustentabilidade aplicados ao projecto de zonas verdes em cobertura: Caso prático dos terraços da BISA. Dissertação (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Calheiros, CSC; Palha P (2017). Infraestruturas verdes: a tendência das coberturas verdes nas cidades. *Revista Ingenium*. 158, 3 ed., 87-89.

Carneiro TA, Guiselini C, Pandorfi H, Lopes Neto JP, Loges V, Souza RFL (2015) Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(11): 1086–1092.

Chaerle L, Van Der Straeten D (2000) Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends in plant science*, 5(11): 495-501.

Coma J, Pérez G, Solé C, Castell A, Cabeza LF (2016) Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Journal Renewable Energy*, 85: 1106-1115.

Costa J da, Costa A, Poletto C (2012). Telhado verde: redução e retardo do escoamento superficial. *Revista de estudos ambientais*, 14(2): 50-56.

Dacanal, C; Labaki, LC; Silva, TML da (2010). Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, 10(2): 115-132.

Deutsch, B; Whitlow, H; Sullivan, M; Savineau, A (2005). Re-Greening Washington, DC: a green roof vision based on environmental benefits for air quality and storm water management. In: PROC. OF 3rd NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto.

Dobbert, LY; Zanlorenzi, HCP (2014). Arborização urbana e conforto térmico: um estudo para a cidade de Campinas-SP-Brasil. *Revista LABVERDE*. (9): 73-85.

Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016, ano base 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2018.

Feitosa RC, Wilkinson S (2018) Uso de sistemas vegetados e os impactos na promoção da saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, 34(7): e00003618.

Fiorelli J, Schmidt R, Kawabata CY, Oliveira CEL de, Savastano Júnior H, Rossignolo JA (2012). Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. *Revista Ciência Rural*, 42(1): 64-67.

França, LC de J (2012). O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: opção viável para a sociedade moderna do século XXI. *Revista Húmus, Maranhão*, 2(4): 105-113.

França LMA, Santos MS dos, Lins TMP, Pereira JA dos S, França LC de J (2015). Análise do desconforto térmico causado pela ilha de calor urbana em um bairro do Recife-PE utilizando sensoriamento remoto. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. Anais, INPE.

Freitas JG de, Carasek H, Cascudo O (2014). Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, 14(1): 57-73.

Gagliano A, Detommaso M, Nocera F, Evola G (2015). A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. *Building and Environment*, 90: 71-81.

Gengo RC, Henkes JA (2013). A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis*, 1(2): 55 - 81.

Gonçalves KS, Ferreira AP do NL, Ramos HR (2016). Agricultura Urbana: Produção de alimentos em telhados verdes. XII Fórum Ambiental da Alta Paulista. ANAP. Tupã-SP, vol. 12.

Gupta A, Hall MR, Hopfe CJ, Rezgui Y (2011). Building integrated vegetation as an energy conservation measure applied to non-domestic building typology in the UK. In: Conference of International Building Performance Simulation Association, 12, Sydney. Proceedings. 2011. CD Rom.

Hartmann DL (1994). *Global physical climatology*. San Diego, Ca: Academic Press.

Henn AB, Cagliari AI (2016). A aplicabilidade do telhado verde em centros urbanos. In: 5º Seminário Internacional de Construções Sustentáveis. Anais. Passo Fundo - RS.

IGRA – International Green Roof Association. Green Roof Types. Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em 25 de setembro de 2018.

Incropera, F. P.; Dewitt, D. P. (2003). Fundamentos da transferência de calor e massa. 5ª edição, editora LTC. Rio de Janeiro, RJ.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Conforto térmico humano. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortotermicoHumano>>. Acesso em: 15 de outubro de 2018.

Jesus MP de, Lourenço JM, Ruiz RMA (2016) Fachadas verdes e comportamento térmico urbano. Revista Brasileira de Geografia Física, 9(7): 2364-2376.

Knížková I, Kunc P, Gürdíl GAK, Pinar Y, Selví KÇ (2007). Applications of infrared thermography in animal production. Journal of the Faculty of Agriculture, 22(3): 329-336.

Kotrba R, Knížková I, Kunc P, Bartos L (2007). Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infrared thermography. Journal of Thermal Biology, 32: 355-359.

Kumar V, Mahalle AM (2016) Investigation of the Thermal Performance of Green Roof in Indian Climate. International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), 6(2): 487-493.

Lorenzini Neto, F. (2014). Modelagem de telhado verde: uma análise da eficiência no controle do escoamento pluvial em diferentes escalas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, RS.

Martelli A, Santos Júnior AR (2015) Arborização Urbana do município de Itapira – SP: perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 19(2): 1018-1031.

Minke G, Witter G (1982). Haeuser mit Gruenem Pelz, Ein Handbuch zur Hausbegruenung, Verlag Dieter Fricke, Frankfurt (partially translated in English).

Missenard, A. (1937). L'Homme et Le Climat. Paris, Plon, 270p.

Moreira EBM, Nobrega RS (2011). Identificação do fenômeno ilhas de calor na área urbana do Recife-PE, através do canal infravermelho termal do satélite Landsat 5. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. Anais, INPE.

Moruzzi RB, Moura CC de, Barbassa AP (2014). Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, 14(3): 59-73.

Mukaka MM (2012) A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. Malawi Medical Journal, 24(3): 69-71.

Nakata-Osaki CM, Souza LCL, Rodrigues DS (2016). Uma ferramenta para análise do potencial de formação de Ilhas de calor. In: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades. Maceió.

Nogueira CEC, Siqueira JAC, Melegari SN, Niedzialkoski RK, Prado NV (2012) Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do “Projeto CASA”, Unioeste, Campus de Cascavel. Acta Scientiarum Technology, 34(1): 3-7.

Nowak DJ, Hirabayashi S, Bodine A, Greenfield (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Journal Environmental Pollution. 193: 119-129.

Ohnuma Júnior AA, Almeida Neto P de, Mendiondo EM (2014) Análise da retenção hídrica em telhados verdes a partir da eficiência do coeficiente de escoamento. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 19(2): 41-52.

Ohnuma Júnior AA, Marques M, Silva LP da (2017). Efeitos globais da temperatura e da precipitação em telhados verdes. Revista Brasileira de Climatologia. 20(13): 234-251.

Oliveira Neto AC de (2014). Cobertura verde: estudo de caso no município de São José dos Campos – SP. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo.

Oliveira IA de (2012). Balanço de energia em área urbana na cidade do Recife-PE. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Recife.

Oliveira PL de, Soares RG, Santos SX (2016). Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. *Revista Petra*, 2(1): 36-55.

Páll-Gergely B, Kyrö K, Lehvävirta S, Vilisics F (2014). Green roofs provide habitat for the rare snail (Mollusca, Gastropoda) species *Pseudotrachia rubiginosa* and *Succinella oblonga* in Finland. *Journal Memoranda Societats pro Fauna et Flora Fennica*. 90: 13-15.

Palmeira AN (2016). Balanço de energia em telhado verde. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, RS.

Panziera AG, Calil V da S, Amaral FD do, Swarowsky A (2015) Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS. *Revista Disciplinarum Scientia*, Santa Maria, 16(3): 445-457.

Parizotto S, Lamberts R (2011). Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings*, 43: 1712–1722.

Peng LL, Jim CY (2015) Seasonal and diurnal thermal performance of a subtropical extensive green roof: The impacts of background weather parameters. *Sustainability*, 7(8): 11098-11113.

Pereira AR, Angelocci LR, Sentelhas PC (2002) *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 478p.

Pereira DAA (2017). Estudo do desempenho térmico de coberturas verdes: caso de estudo. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Perussi R, Vecchia FA da S (2016). Análise do comportamento térmico de um sistema de cobertura verde utilizando plataformas de teste. *Revista PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, 7(4): 225-236.

Rebollar NAP (2017). Telhados verdes: uma abordagem multidisciplinar. Florianópolis: Livraria Editora Xavier, 144p.

Refahi AH, Talkhabi H (2015). Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. *Renewable Energy*. Tehran, 80: 595-603.

Righi DP, Köhler LG, Lima RA de, Neto ABSS, Mohamad G (2016). Cobertura Verde: Um Uso Sustentável na Construção Civil. *Periódico Mix Sustentável*. 2(2): 29-36.

Rosenberg LJ, Biad BL, Verns SB. (1983). Human and animal biometeorology. In: *Microclimate, the biological environment*. New York: Wiley-interscience Publication.

Rosseti KAC, Nogueira MCJA, Callejas IJA, Durante LC, Kuhnen IA, Nogueira JS (2014). Efeitos de telhados vegetados no conforto térmico de pedestres, simulação pelo software ENVI-MET. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional. Maceió, AL.

Rosseti K de AC, Nogueira MCJA, Nogueira JS (2013). Interferência microclimática na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 9(9): 1959-1970.

Rowe DB (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. Contents lists available at ScienceDirect. *Journal Environmental Pollution*, Michigan State University. 159 (8-9): 2100-2110.

Ruas AC (1999) Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho. Ministério do Trabalho, FUNDACENTRO. São Paulo, 1º ed. 95 p.

Sales RBC, Sátiro DEA, Pedra AS, Couto HH, Aguiar MTPA (2016). O efeito do calor refletido na avaliação do desempenho térmico de blocos cerâmicos utilizando a termografia infravermelha passiva. In: 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. *Blucher Design Proceedings*, 9(2): 4327-4337.

Sampaio CADP, Terezo RF, Rosa TO, Burigo MC, Andrade LDB (2018) Similitude and thermal performance on non-conventional roofs. *Engenharia Agrícola*, 38(1): 7-12.

Sanches IJ (2009). Sobreposição de imagens de termografia e ressonância magnética: Uma nova modalidade de imagem médica tridimensional. Tese (Doutorado) –

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba.

Santana E, Cunha KB da, Ferreira AL, Zamboni A (2012). Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia. São Paulo : Instituto de Energia e Meio Ambiente.

Santos Brasil APM dos, Silva MEC, Ribeiro WO (2015). Clima, ambiente urbano e qualidade de vida: uma análise da percepção dos moradores da periferia belenense do Carmelândia sobre o conforto/desconforto térmico. Boletim de Geografia, Maringá, 33(2): 60-72.

Santos JB, Amorim RFC, Cavalcante LPA (2014) Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca – Alagoas, utilizando software Matlab. Revista Brasileira de Geografia Física, 7(5), 939-948.

Santos PTS, Santos SM dos, Montenegro SMGL, Coutinho AP, Moura GSS de, Antonino ACD (2013). Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, 13(1): 161-174.

Santos WRT, Melo MLD (2010). Índices de conforto e desconforto térmico humano segundo os cenários climáticos do IPCC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA.

Savi AC (2012). Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. Monografia de especialização (Construções sustentáveis). Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba.

Schettini E, Blancoa I, Campiotti CA, Bibbiani C, Fantozzi F, Vox G (2016). Green control of microclimate in buildings. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 8: 576-582.

Senanayake IP, Welivitiya WDDP, Nadeeka, PM (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. Urban Climate, 5: 19-35.

Silva JF da, Ferreira HS, Santos MO dos (2015). Considerações sobre os estudos em clima urbano. Revista GEAMA, Recife, 1(2): 162-175.

Silva Junior JA, Costa ACL, Pezzuti JCB, Costa RF, Souza EB (2012). Relações entre as percepções térmicas e índices de conforto térmico dos habitantes de uma cidade tropical na Amazônia Oriental. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, Ituiutaba, 3(2): 395-407.

Silva MC da, Duarte S (2017). Concepção e projeto de métodos construtivos sustentáveis: Aplicação de telhado verde e aproveitamento de água pluvial em um ambiente escolar. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.

Silveira FM (2014). Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP.

Souza DM, Nery JT (2012). O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. *Revista Geografia (Londrina)*, v. 21, n.2. p.65-83.

Souza ROL de, Ferreira MLSS, Vasconcellos, CAB de (2015). Telhado verde de baixo investimento composto por plantas medicinais e aromáticas. *Revista Semioses*. Rio de Janeiro, 9(2): 48-58.

Tassi R, Tassinari LCS, Picilli DGA, Persch CG (2014). Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 14(1): 139-154.

Viana SSM, Amorim MCCT (2012). Variações de conforto e/ou desconforto térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP. *Revista Geografia em Questão*. v. 5, n. 1.

Vicente, AK (2001). Conforto Térmico na Cidade de Presidente Prudente. Monografia (Bacharel em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente.

Visentin TG, Neckel A, Breda A (2015). Telhados verdes como um meio sustentável nas cidades: propostas recicláveis de produção. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre – RS.

Vormittag EMPAA, Costa RR da, Braga AA, Miranda M, Nascimento NC do; Saldiva PHN (2014). Monitoramento da Qualidade do ar no Brasil. Instituto Saúde e Sustentabilidade. São Paulo – SP.