

CÁSSIA RAFAELA BRUM SOUZA

**TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO DA
TEMPERATURA AMBIENTE EM CONSTRUÇÕES PARA CASCAVEL-PR**

**CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2016**

CÁSSIA RAFAELA BRUM SOUZA

**TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO DA
TEMPERATURA AMBIENTE EM CONSTRUÇÕES PARA CASCAVEL-PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Deonir Secco

**CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S714t

Souza, Cássia Rafaela Brum
Telhado verde e sua contribuição para a redução da temperatura ambiente
em construções para Cascavel-PR./Cássia Rafaela Brum Souza. Cascavel,
2016.

81 p.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Deonir Secco

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Cascavel, 2016
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura

1. Eficiência energética. 2. Arquitetura bioclimática. 3. Telhado verde. I.
Souza, Samuel Nelson Melegari de. II. Secco, Deonir. III. Universidade
Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 21.ed. 720.472

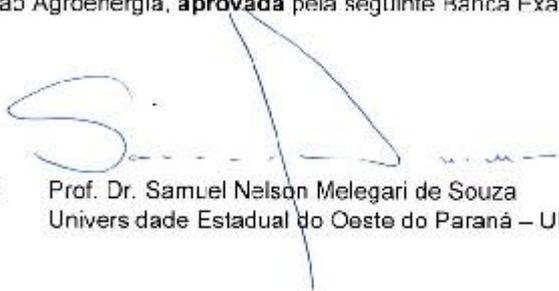
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 09/065

CASSIA RAFAELA BRUM SOUZA

**"TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA REDUÇÃO DA
TEMPERATURA AMBIENTE EM CONSTRUÇÕES PARA
CASCAVEL/PR"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:


Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Profa. Dra. Hitomi Mukai
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Fulvio Natercio Feiber
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Toledo

Cascavel, 15 de fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, pela oportunidade de cursar este programa de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza por acreditar em mim e tornar possível e produtivo este período de trabalho, assim como ao meu co-orientador Prof. Dr. Deonir Secco.

Ao meu colega de turma Anderson Miguel Lenz pela sua amizade e companheirismo nos dias de trabalho de campo e operacional com o monitoramento dos dados, além de sua ajuda e presença em todos os momentos do trabalho.

À Prof. Dra. Hitomi Mukai e ao Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber participantes da minha banca examinadora que através de suas observações contribuíram para complementar esta pesquisa.

Aos meus pais Janete Luisa Brum Souza e João Genes Souza, e irmã Daniele Brum Souza, por tudo que fizeram e fazem por mim, todo o amor à vocês.

Ao meu namorado Luiz, que sempre me apoiou, sendo compreensivo e me incentivando a seguir em frente, desejando sempre que eu vencesse meus obstáculos.

A todos os responsáveis pelo Mestrado, professores, servidores pelo comprometimento com o programa.

Ao Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG, pelo incentivo através da bolsa de pesquisa.

Aos amigos e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Em especial ao meu querido e amado avô que estará comigo sempre!

E à Deus que me conduz nesta minha caminhada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Campos inter-relacionados do equilíbrio bioclimático.	9
Figura 2: Classificação climática do Estado do Paraná, segundo Koppen.....	12
Figura 3: Composição do telhado verde.....	15
Figura 4: Localização do campus da Unioeste / Cascavel – Universidade do Oeste do Paraná e do experimento dos telhados.	24
Figura 5: perspectiva do protótipo com telhado convencional de barro.	26
Figura 6: Colocação da laje no protótipo de telha convencional.	26
Figura 7: Montagem protótipo para telhado convencional.....	27
Figura 8: datalogger Contemp, modelo A202.....	27
Figura 9: perspectiva do protótipo com telhado verde.....	28
Figura 10: colocação da laje no protótipo de telhado verde.	28
Figura 11: montagem protótipo para telhado verde.....	29
Figura 12: camadas componentes do telhado verde.....	30
Figura 13: montagem do protótipo com o telhado verde na Unioeste / Cascavel.	31
Figura 14: corte esquemático – telhado convencional.	32
Figura 15: Montagem sensor de bulbo úmido – igual para os dois protótipos.	33
Figura 16: corte esquemático – telhado verde.	34
Figura 17: montagem sensor de bulbo úmido – igual para os dois protótipos.	35
Figura 18: gráfico com o monitoramento diário das variáveis levantadas: temperatura ambiente, irradiação solar e velocidade do vento no período de 30 dias (gráfico obtido através das médias diárias).	38
Figura 19: gráfico com a umidade relativo do ar (%) para o telhado verde e telhado convencional, obtida através das temperaturas internas de bulbo seco e bulbo úmido.....	39
Figura 20: gráfico com o monitoramento diário das variáveis levantadas no telhado verde (gráfico obtido através das médias diárias).	40
Figura 21: gráfico com o monitoramento diário das variáveis levantadas no telhado convencional (gráfico obtido através das médias diárias).	41
Figura 22: gráfico com variação da temperatura ambiente e temperatura interna do telhado verde.....	42

Figura 23: gráfico com variação da temperatura ambiente e temperatura interna do telhado convencional.....	43
Figura 24: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 16/10/15.	45
Figura 25: Variação da temperatura do telhado verde.	46
Figura 26: Variação da temperatura do telhado convencional.	47
Figura 27: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.	47
Figura 28: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 12/10/15.	48
Figura 29: Variação da temperatura do telhado verde.	49
Figura 30: Variação da temperatura do telhado convencional.	50
Figura 31: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.	50
Figura 32: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 22/10/15.	51
Figura 33: Variação da temperatura do telhado verde.	52
Figura 34: Variação da temperatura do telhado convencional.	53
Figura 35: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.	53
Figura 36: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 27/10/15.	54
Figura 37: Variação da temperatura do telhado verde.	55
Figura 38: Variação da temperatura do telhado convencional.	56
Figura 39: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.	56
Figura 40: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 13/10/15.	57
Figura 41: Variação da temperatura do telhado verde.	58
Figura 42: Variação da temperatura do telhado convencional.	59
Figura 43: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.	60
Figura 44: foto termográfica do telhado verde.....	61
Figura 45: foto termográfica do telhado convencional.....	62
Figura 46: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde.....	63
Figura 47: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 16/10/15.	64
Figura 48: Interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.....	65
Figura 49: Interação entre temperatura superficial da grama e temperatura interna do telhado verde.....	65
Figura 50: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 12/10/15.	66

Figura 51: interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.....	67
Figura 52: interação entre temperatura superficial da grama e temperatura interna do telhado verde.....	67
Figura 53: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 22/10/15.	68
Figura 54: interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.....	69
Figura 55: interação entre temperatura interna do telhado verde e temperatura superficial da grama.	69
Figura 56: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 27/10/15.	70
Figura 57: interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.....	71
Figura 58: interação entre temperatura superficial da grama e temperatura interna do telhado verde.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: composição do substrato.....	31
TABELA 2: parâmetros telhado convencional.	36
TABELA 3: parâmetros telhado verde.	36
TABELA 4: parâmetros comum aos dois protótipos.	37

SIGLAS

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento

EPE – Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia

EUA – Estados Unidos da América

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

NRCA – National Roofing Contractors Association

NRC – Conselho Nacional de Pesquisa

OIE – Oferta Interna de Energia

ONU – Organização das Nações Unidas

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PR – Paraná

TC – Telhado convencional

TV – Telhado verde

UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

UR – Umidade relativa do ar

SOUZA, Cássia R. Brum., M. Sc., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2016. **Telhado verde e sua contribuição para a redução da temperatura ambiente em construções para Cascavel/PR.** Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Co-orientador: Deonir Secco.

RESUMO

Desde a segunda metade do século XIX, a energia desempenha papel fundamental na engrenagem da sociedade industrial moderna, movimentando inúmeros sistemas e equipamentos, porém seu uso demasiado vem causando a sua escassez. Partindo do pressuposto de que a energia renovável vem de recursos renováveis, naturalmente reabastecidos, proveniente do sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica, algumas podem ser exploradas intensivamente, e quando aliadas a arquitetura bioclimática e eficiência energética pode-se ter ganhos consideráveis com a inércia térmica em uma edificação, com elementos de adequado isolamento, assegurando o conforto térmico no interior do ambiente durante horas de maior temperatura e radiação solar no exterior e assim respectivamente, controlar o excesso de calor. Com este objetivo o trabalho se torna expressivo, pois foi desenvolvido a fim de propiciar duas condições diferentes de construções, nas quais a cobertura é fator diferencial para os levantamentos e verificação da eficiência energética, obtendo resultados relevantes quando comparados os dois protótipos do experimento, um com telhado convencional e outro com telhado verde. A pesquisa apresentou a variação das temperaturas internas do ambiente coberto pelo telhado verde e de um convencional, e suas perdas para o meio ao longo das horas do dia e da noite, bem como a influência do substrato do telhado verde na temperatura interna do ambiente, demonstrando a eficiência do telhado verde.

Palavras-chave: eficiência energética; arquitetura bioclimática; telhado verde.

SOUZA, Cássia R. Brum., M.Sc., State University of West Paraná, February, 2016. **Green roof and its contribution to reducing the room temperature in buildings to Cascavel/PR.** Adviser: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Co-adviser: Deonir Secco.

ABSTRACT

Since the second half of the nineteenth century, energy plays a key role in the gear of modern industrial society, moving numerous systems and equipment, but its overuse has caused its scarcity. Assuming that renewable energy comes from renewable resources, naturally replenished, from the sun, wind, rain, tides and geothermal energy, some can be exploited intensively, and when combined with bioclimatic architecture and energy efficiency can have adequate thermal inertia a building with adequate insulation elements, maintaining thermal comfort inside the room during times of peak temperature and solar radiation outside and thus respectively controlling excess heat. To this end this work becomes significant because it was developed in order to provide two different conditions of buildings, in which the cover is differentiating factor for withdrawals and verification of energy efficiency. The research shows the variation of the internal temperature of the environment covered by the green roof and a conventional, and their loss to the environment over the hours of the day and night as well as the influence of the green roof substrate at room temperature inside, demonstrating the efficiency of the green roof.

Keywords: energy efficiency; bioclimatic architecture; green roof.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
TABELAS	viii
SIGLAS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xx
1 Introdução	1
2 Objetivos	4
2.1 Objetivos Gerais.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3 Revisão de literatura	5
3.1 Construções Sustentáveis	6
3.1.1 Bioclimatologia e suas estratégias.....	8
3.1.2 O clima – Cascavel.....	10
3.2 Telhado verde	13
3.2.1 Aspectos técnicos do telhado verde e composição	14
3.2.2 Classificação e componentes do telhado verde.....	16
3.2.3 Sistemas de aplicação e construção	18
3.2.3 Influência do telhado verde na temperatura do ambiente.....	19
4 Material e métodos	22
4.1 Protocolo de coleta de dados.....	22
4.2 Localização do experimento	24
4.3 Desenho e montagem do experimento	25
4.4 Montagem do experimento	30
4.5 Procedimento experimental	35
5 Resultados e discussão	38
5.1 Comportamento térmico para o período de reflexão.....	38
5.2 Comportamento térmico para o período de aquecimento (dia) entre 06:00hrs e 17:55hrs e de resfriamento (noite) entre 18:00hrs e 5:55hrs	43
5.3 Comportamento da cobertura vegetal no telhado verde	60
6 Conclusões	74
Referências bibliográficas	76

1 Introdução

A utilização de materiais locais associado às condições ambientais era a forma como se desenvolveram as construções das primeiras civilizações. Com o aumento deste número, tais materiais foram ficando escassos o que gerou uma demanda ainda maior de recursos e conseqüentemente gerando mais impactos ambientais. Tais acontecimentos, alimentam a pesquisa científica, a qual se baseia na pesquisa e desenvolvimento de novos processos e materiais que gerem menor impacto ao meio ambiente e minimizem o consumo energético (CHEHEBE, 1997).

Desde a segunda metade do século XIX, a energia desempenha papel fundamental na sociedade industrial moderna, movimentando inúmeros sistemas e equipamentos que, só no caso dos motores elétricos, consomem aproximadamente dois terços de toda a eletricidade produzida no mundo (EREC, 2010). Ainda conforme o autor, países desenvolvidos, como Estados Unidos e países europeus, para alcançarem altos índices de desenvolvimento necessitaram de energia e para tal feito, com o Brasil não é diferente. Para cumprir tal desafio, é necessário levar em conta o extraordinário quadro de desafios em que se insere o debate sobre o assunto nos dias atuais. Questões já conhecidas como problemas com o aquecimento global e mudanças climáticas, juntamente à constante guerra pelo controle dos estoques de petróleo e gás, aumentam ainda mais as discussões sobre o uso de combustíveis fósseis na matriz energética, os quais precisam ser reduzidos drasticamente seu uso até serem descartados totalmente, devido ao seu alto índice de emissões de gases de efeito estufa provenientes da sua utilização.

Neste ponto surge o questionamento: estamos preparados para alcançar a autonomia energética, de maneira ambientalmente correta e de forma economicamente viável? Para tanto, é necessário saber como garantir o aumento da demanda energética para um país em fase de crescimento econômico como o Brasil e evitar que o caminho escolhido para enfrentar tais desafios seja o mais tortuoso, fazendo com que se chegue aos resultados esperados atrasados, enquanto outros países já o alcançaram num passado bem próximo (COELHO, *et al*, 2010).

Segundo dados do Greenpeace de 2010, citados por Leitão¹ (2013), por falta de uma política que incentive o uso de energias renováveis e limpas, estão abandonados em nossos canaviais um potencial de geração de 28 mil megawatts, o equivalente a duas Itaipu, de acordo com a União de Indústria de cana-de-açúcar - Única. E o país que poderia ser conhecido como a civilização da biomassa, desperdiça a oportunidade de liderar a revolução tecnológica, com seu emprego em escala mundial como substituto dos combustíveis fósseis, sem contar no potencial eólico e solar, que por sua vez, ainda nem começou a ser explorado de maneira apropriada.

Cerca de 41,0% da Oferta Interna de Energia (OIE) tem fontes renováveis no Brasil, e do valor total da participação da energia renovável, 12,5% corresponde a geração hidráulica, 16,1% a biomassa da cana e 12,5% da lenha e carvão vegetal e outras renováveis, enquanto o restante da OIE, ou seja, 59,0% vêm de fontes fósseis e de outras não renováveis (EPE, 2014).

Partindo do pressuposto que energia renovável vem de recursos renováveis, naturalmente reabastecidos, proveniente do sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica, algumas podem ser exploradas intensivamente, assim como a biomassa, produzida por meio de tecnologias modernas, como o álcool e a energia eólica, que atualmente representam cerca de 2,2% no consumo mundial. Tal expectativa baseia-se na diversificação das fontes de suprimento, as quais devem ser garantidas por um longo prazo de duração, na redução de emissões que afetam o meio ambiente a nível local, regional e global, na descentralização na geração de empregos, os quais incentivam a permanência da população na zona rural evitando a migração para os grandes centros, como é o caso da América Latina, e a segurança no deslocamento dos suprimentos energéticos, através de sistemas de transporte compartilhados e de boa qualidade (SOUZA *et al*, 2014).

De acordo com o INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética (2013), na sociedade moderna, qualquer atividade só é possível com o uso de uma ou mais formas de energia, e esta é empregada intensamente na sociedade em geral e em todas as atividades que se produz. Começa neste ponto, a necessidade de utilizá-la de modo inteligente e eficaz e entre as suas

¹ Sérgio Leitão: advogado e diretor de políticas públicas do Greenpeace.

diferentes formas interessam, em particular, aquelas que são processadas pela sociedade e colocadas à disposição dos consumidores onde e quando necessárias, e entre estas cita-se a energia elétrica. Pode-se afirmar com segurança que a energia elétrica é vital ao bem-estar do ser humano e ao desenvolvimento econômico no mundo contemporâneo, e seu uso racional possibilita um benefício qualitativo na vida do indivíduo que dela usufrui, gerando conseqüentemente, crescimento econômico, emprego e competitividade. Sendo assim, uma política de ação referente à eficiência energética tem como princípio o emprego de técnicas e práticas capazes de promover o uso “inteligente” da energia, a fim de, reduzir os custos e produzir ganhos de produtividade e de lucratividade, na perspectiva do desenvolvimento sustentável.

Segundo Frota e Schiffer (1999), quando trata-se de eficiência energética e ganhos térmicos, deve-se também salientar a inércia térmica, a qual interfere diretamente no comportamento da edificação no inverno e no verão, pois no inverno a inércia determina a capacidade de utilização dos ganhos solares e no verão influencia na capacidade da edificação em absorver os picos de temperatura através da transmitância. Ou seja, a inércia é a capacidade de contrariar as variáveis térmicas em seu interior, reduzindo a transferência ou transmissão de calor, fenômenos que ocorrem devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos e materiais construtivos, e é a sua velocidade de transmissão ou transferência que determina a sua inércia.

Seguindo as premissas da arquitetura bioclimática, aliada aos conceitos de eficiência energética, pode-se ter uma inércia térmica adequada em uma edificação, com elementos de adequado isolamento, assegurando o conforto térmico no interior do ambiente durante horas de maior temperatura e radiação solar no exterior e assim respectivamente, controlar o excesso de calor (ANDRADE, 1997).

Se por um lado, o projeto, deve atender às condições de conforto térmico e lumínico, por outro, ele pode contribuir para minimizar os gastos excessivos com a energia elétrica. Sob a ótica de otimização e ganhos energéticos e a perspectiva de consumo desagregado por usos finais em edificações de diversos usos tem-se trabalhos de pesquisa como os realizados por Romero (1998) que identificaram que 70% desse consumo eram

direcionados à iluminação artificial e aos sistemas de refrigeração, enquanto que as premissas do projeto arquitetônico eram pouco ou nada, influenciadas por preocupações com a conservação da energia.

No Brasil, o arquiteto e paisagista Burle Marx foi o precursor da prática construtiva de telhados verdes e terraços verdes no final da década de 1930, com projetos como Ministério da Educação e Cultura do Rio de Janeiro, Museu de Arte Moderna, Associação Brasileira de Imprensa e edifícios da Petrobras, ambos no Rio de Janeiro, com terraços nas construções (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; KOHLER *et al*, 2003).

Segundo Wong *et al* (2003), investigando o impacto térmico causado pela utilização dos telhados verdes e telhados sem vegetação, na redução das temperaturas de superfície e redução do aporte de calor, revelam o efeito positivo dos telhados verdes, que apresentam diferenças significantes. Neste sentido, os objetivos buscados com foco na eficiência energética e no conforto térmico ambiental se justificam, e direcionam os olhares para região Oeste do Paraná, a qual tem vocação agrícola, com solos férteis e potencial quantidade de resíduos que podem ser aproveitados com outras fontes de energias renováveis, partindo do sentido de que a mudança pode ocorrer do menor para o maior, do micro para o macro (GALINKIN, BLEY, 2009).

2 Objetivos

O presente capítulo pretende direcionar a pesquisa, tem por finalidade apresentar os objetivos gerais e específicos do projeto em questão.

2.1. Objetivos Gerais

Avaliar a utilização do telhado verde nas edificações com foco na eficiência energética e no conforto térmico ambiental, bem como, seus métodos construtivos e as competências a serem desenvolvidas para estes projetos, comparando-o à uma edificação com telhado convencional.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Investigar como estratégias da arquitetura bioclimática e o uso do telhado verde podem beneficiar energeticamente uma edificação, evidenciando seu potencial energético;
- b) Demonstrar experimentalmente o comportamento de um telhado verde e de um convencional em relação aos ganhos térmicos provenientes da variação de elementos e fatores climáticos externos;
- c) Traçar o grau de contribuição energética do telhado verde x telhado convencional para a edificação, através dos dados obtidos com o experimento.

3 Revisão de literatura

A Revolução Industrial e todas as transformações e inovações tecnológicas por ela geradas trouxeram sobre as sociedades dos séculos XVIII e XIX a ideia de que o homem estaria liberto das limitações impostas pela natureza, principalmente as relacionadas aos condicionantes climáticos, conceito o qual provocou na arquitetura e no urbanismo distúrbios no equilíbrio e na sua interação com o meio (EREC, 2010).

Um dos principais objetivos do modernismo² era o de renovar a arquitetura, e utilizaria do surgimento de novos materiais para romper sua relação a um passado não muito distante. Arelados à essa ideologia inovadora, arquitetos tentaram romper não apenas com a história, mas também com a limitação do lugar, pretendendo fazer uma arquitetura internacional, a qual por meio de edifícios modernos, transparentes, como cubos de vidro anulavam a distinção entre espaço interno e externo. Neste ponto, as tecnologias de iluminação e climatização tiveram seu lugar reconhecido, permitindo ao arquiteto delegar à outros especialistas a responsabilidade do conforto do usuário. Neste sentido a energia elétrica passa a ser a solução para o controle climático, uma vez que, as restrições energéticas ainda não faziam parte das preocupações do homem (MASCARELLO, 2005).

² Modernismo foi um movimento que rejeitava os estilos históricos do passado, e criticava a preocupação dos profissionais da arquitetura com o supérfluo e o superficial (SÁ, 2005, p.83).

Com o passar do tempo, e com o reconhecimento dos problemas que tais ideologias acarretavam, começou a surgir a preocupação com a integração da arquitetura com o clima local, visando uma habitação com foco no conforto ambiental do ser humano e sua repercussão no planeta: a Arquitetura Bioclimática (CORBELLÀ & YANNAS, 2011).

3.1 Construções Sustentáveis

Segundo o dicionário Aurélio (FERREIRA, 2009), sustentar “*é a qualidade de manter constante ou estável, algo que podemos desenvolver por um longo período*”.

E Roaf *et al* (2006; p.11)

“Foi da década de 1970, com a crise do petróleo, “quando o preço do combustível fóssil elevou-se enormemente, que os ‘futurologistas’ começaram a olhar a história dos combustíveis fósseis no planeta e a calcular quanto petróleo e gás restavam”. (ROAF *et al*, 2006, p.11)

É neste cenário, que vem à tona a preocupação com o uso e preservação de recursos naturais não renováveis. Tal assunto já era discutido por grupos de intelectuais, a exemplo o Clube de Roma, fundado em 1968. Em seu desenvolvimento, o Clube de Roma³ publica em 1972 um relatório intitulado: “Os limites do crescimento” e, utilizando modelos matemáticos concluíram que o planeta Terra não suportaria o aumento do crescimento populacional devido à pressão sobre os recursos naturais e energéticos, mesmo considerando os avanços das tecnologias.

Tendo em vista que, a primeira vez que a comunidade se reuniu para discutir o meio ambiente global e as necessidades de desenvolvimento foi em 1972 em Estocolmo, conferência a qual, levou à criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e conseqüentemente a uma maior compreensão da necessidade de direcionar o modo de como olhar para

³ Foi fundado em 1966 pelo industrial italiano Aurelio Peccei e pelo cientista escocês Alexander King, e baseia-se em um grupo de pessoas ilustres que se reúnem para debater um vasto conjunto de assuntos relacionados a política, a economia internacional, e sobretudo, ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.

o meio ambiente. Tal conferência uniu pela primeira vez, em um evento internacional, países industrializados e em desenvolvimento e iniciou uma série de Conferências da Organização das Nações Unidas (ONU), que viriam a tratar de áreas específicas, como alimentação, moradia, população, direitos humanos e mulheres (LAGO, 2006).

Na década seguinte (1980), cientistas alertam a população para as mudanças climáticas, justamente quando as taxas de redução da camada de ozônio e o aumento dos gases que geram o efeito estufa e as advertências mundiais tornam-se aparentes (ROAF *et al* 2006, p.15).

Após sucessivas conferências, em 1992, acontece o encontro na cidade do Rio de Janeiro, onde a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), toma como base as recomendações e realizações de Brundtland, na busca de respostas aos crescentes problemas ambientais, formando acordos importantes sobre biodiversidade, mudanças climáticas e desmatamento. Entre seus resultados, temos: a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Convenção sobre Mudanças Climáticas, a Declaração de Princípios sobre Florestas, a Convenção sobre a Biodiversidade e a Agenda 21.

Tais conferências não tratam especificamente sobre arquitetura ou construção, mas do meio ambiente urbano, as cidades, relacionando o crescimento desenfreado, os quais criam espaços fadados à miséria dos espaços naturais. Mas é através dos diálogos ocorridos nelas, que novos paradigmas são traçados, possibilitando que os temas sejam tratados de forma mais específica pelas diversas áreas de conhecimento.

A sustentabilidade assume uma dimensão mais ampla, exige compromisso, com a melhoria da qualidade de vida das pessoas, respeitando as diversidades e o meio ambiente. Tem caráter de continuidade, busca por qualidade de vida e manutenção da mesma e a arquitetura entra neste debate com importância significativa, pois é responsável pelo planejamento.

Portanto o conceito de sustentabilidade influencia a arquitetura de forma geral, com obras baseadas na relação da construção com o meio ambiente, dependendo do grau de interação que o arquiteto deseja imprimir ao projeto, seja ele: construção bioclimática, arquitetura sustentável, ecovilas, *green buildings*, permacultura, casa ecológica ou empreendimentos verdes.

3.1.1 Bioclimatologia e suas estratégias

Segundo Olgyay (1993) bioclimatologia é a ciência que estuda as relações entre seres vivos (homem) e o clima, sendo necessário, portanto informações precisas sobre o clima e sobre os seres vivos, abrangendo os conhecimentos dos elementos meteorológicos, das respostas fisiológicas e comportamentos do homem, visando sempre a garantia do seu bem-estar e o aumento de sua produtividade. Ela utiliza de ferramentas de estudo do clima para melhorar o conforto térmico dos seres vivos, o qual é um estado determinado pela temperatura e umidade relativa do ar, no qual as pessoas sentem-se confortáveis.

Relacionando esse conceito com a arquitetura e o ambiente construído, Serra (1989) define a arquitetura bioclimática como a arquitetura que otimiza as relações energéticas com o ambiente natural circundante a partir do projeto arquitetônico, funcionando como um intermediador entre o homem e o meio, buscando conforto para os usuários por meio da adaptação do espaço construído aos condicionantes climáticos locais, numa relação de respeito e interatividade, como o termo bioclimático já envolve: relação entre fator humano e ambiente externo.

Para Romero (2000), a arquitetura bioclimática é o próprio ambiente construído, o qual atua como mecanismo de controle das variáveis do meio, a partir de sua envoltória (paredes externas / fachadas e coberturas), seu entorno (água, vegetação, sombras, terra), e ainda, por meio do aproveitamento dos elementos e fatores do clima para melhor controle do vento e do sol. Sendo assim, os princípios bioclimáticos devem ser premissa para o projeto em todas as escalas do espaço urbano e do edifício.

Mas foi por volta da década de 1960, que surgiram as primeiras publicações referentes ao resgate da integração da arquitetura com o meio, onde os irmãos Olgyay⁴ apresentam as bases teóricas da arquitetura bioclimática. Victor e Aladar Olgyay criaram e expressão projeto bioclimático, a partir da aplicação da bioclimatologia ao projeto arquitetônico, o qual segundo

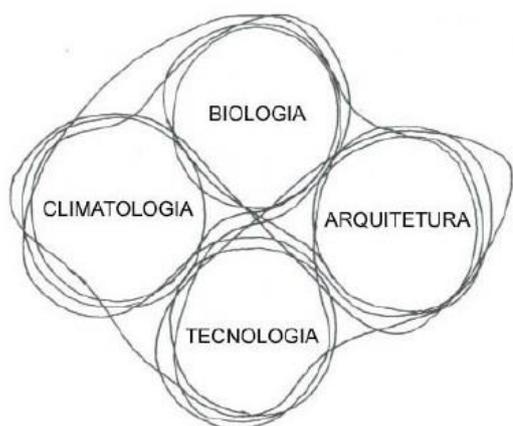
⁴ Publicaram vários artigos e livros, entre os quais, destacam-se *Application of Climate Data to House Design* (1953), *Solar Control and Shading Devices* (1957) e *Design with Climate* (1963). Neste último introduziram o termo *bioclimatic approach* (abordagem bioclimática) e desenvolveram um diagrama de conforto térmico (Carta Bioclimática).

eles deveria ser desenvolvido objetivando dar respostas aos requisitos climáticos específicos.

Olgay (1963) afirma que o processo de concepção de um edifício climaticamente equilibrado, ou seja, com um conceito bioclimático, consiste em quatro etapas subsequentes e inter-relacionadas, conforme observa-se na Figura 1:

- 1- **Climatologia:** Estudos dos dados locais, que envolve o conhecimento de seus elementos constituintes (temperatura, umidade relativa, radiação e ventos);
- 2- **Biologia:** avaliação biológica baseada nas sensações humanas, buscando as condições de conforto térmico em qualquer época do ano;
- 3- **Tecnologia:** as soluções tecnológicas empregadas após passos anteriores, e que incluem: a seleção do sítio, a orientação, os cálculos de sombra, as formas da habitação, os movimentos do ar e o equilíbrio interno da temperatura;
- 4- **Arquitetura:** a expressão da arquitetura resultante: que deverá ser o produto da importância dos diferentes elementos envolvidos.

Figura 1: Campos inter-relacionados do equilíbrio bioclimático.



Fonte: Olgay, 1993.

O conceito de Olgay demonstra um sistema dinâmico, onde as partes (clima, conforto do usuário, técnica e espaço construído) se relacionam e influenciam as outras em total equilíbrio, e o projeto arquitetônico passa então a transcender problemas técnicos para relacionar-se com o entorno de forma

equilibrada, criando significados e ajudando o homem em sua relação com o ambiente.

3.1.2 O clima – Cascavel

No campo dos estudos do espaço construído, o clima, bem como a meteorologia e geografia, tem ganhado especial interesse e se mostra imprescindível para o desenvolvimento de propostas mais adequadas à disponibilidade e preservação de recursos naturais e também adequadas ao conforto do homem nos espaços construídos. Para Givoni (1976) (*apud* Romero, 2000) o clima de uma dada região é determinado pelo padrão das variações dos vários elementos e suas combinações, destacando que os principais elementos climáticos que devem ser considerados no desenho dos edifícios e no conforto humano são: radiação solar, comprimento de onda por radiação, temperatura do ar, umidade, ventos e precipitações.

Em um estudo das sensações do conforto humano, Olgyay (1963) (*apud* Romero, 2000), define os elementos que mais afetam o conforto: temperatura, radiação e ventos, tratando de forma diferenciada os efeitos da umidade, tais como chuva, névoa, neve, geada e pressão de vapor.

Porém para estudar o Clima, é necessário antes considerar e diferenciar os fatores e os elementos climáticos. Segundo Romero (2000), a partir de estudos de Olgyay, 1963; Ferreira, 1965; Givoni, 1976; Gomes, 1980 e Linch 1980, os elementos climáticos tem a qualidade de definir e fornecer os componentes do clima (temperatura do ar, umidade do ar, movimentos de massas de ar e precipitações), enquanto que os fatores climáticos condicionam, determinam e dão origem ao clima (radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, superfície de solo, etc).

A classificação mais utilizada pelos autores sobre clima é a de Monteiro (ROMERO, 2000), que divide em três escalas distintas, porém indissociáveis:

- macroclima: tem suas variáveis quantificadas em estações meteorológicas, e podem descrever as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. O conhecimento destas variáveis é fundamental para o projeto de edificações

mais adequadas ao conforto do seu usuário e mais eficiente em termos de consumo de energia;

- mesoclima: está mais próxima ao nível da edificação, e podem ser identificados facilmente: litoral, campo, floresta, vale, cidade e montanha. As variáveis como vegetação, topografia, tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais influenciam nas condições locais de clima;
- microclima: refere-se à escala da edificação, e pode ser concebido e alterado pelo arquiteto. Seu estudo é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode influenciar nas soluções arquitetônicas relacionadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética.

O estudo do clima urbano ocorre a partir da constatação da influência das modificações que a urbanização provoca no ambiente natural e conseqüentemente nas características originais do clima a partir destas análises comparativas entre o meio urbano e rural.

O município de Cascavel está localizado na região Oeste do Paraná, entre as latitudes 24°32' e 25°17' Sul e longitudes 53°05' e 53°50' Oeste. A escolha pela cidade de Cascavel para desenvolvimento do experimento se deu em função da posição geográfica que ocupa, tendo o Oeste do Paraná sobre influência do clima subtropical, pois está compreendida totalmente ao sul do Trópico de Capricórnio. Apresenta ainda chuvas distribuídas ao longo do ano, ausência de período seco anual, com temperaturas elevadas durante o verão e mínimas significativas no inverno, caracterizando a região como zona de transição do clima tropical para o temperado (IAPAR, 1994).

Tomando como base de estudo a cidade de Cascavel/PR, e a classificação segundo Koppen (Figura 2), tem-se um clima denominado Cfa: subtropical, temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida, conforme o mapa abaixo:

Figura 2: Classificação climática do Estado do Paraná, segundo Köppen.



Fonte: IAPAR, 1994.

Complementando os estudos sobre Cascavel, temos que o ano de 2015, ano de coleta dos dados dos experimentos, foi um ano de influência do El Niño, o qual é um fenômeno oceânico-atmosférico caracterizado por um aquecimento acima do normal nas águas do oceano Pacífico Equatorial. Essa elevação da temperatura interfere no padrão de ventos e da pressão em diversos níveis da atmosfera, o que gera mudanças na chuva e na temperatura em várias regiões do planeta e em diferentes épocas do ano, e por ser um fenômeno cíclico, cada período dura em média de 9 a 12 meses, e sua periodicidade entre um ciclo e outro é em média entre 3 a 5 anos (PEGORIM, 2015).

Em geral o aquecimento das águas percebe-se entre março e junho de um ano, aumentando gradualmente até atingir seu pico máximo em dezembro e abril, e vai enfraquecendo entre maio e julho. No Hemisfério Sul, o El Niño surge no outono/inverno de um ano, cresce na primavera, atinge seu máximo no verão e enfraquece no outono/inverno do ano seguinte, e para 2015 foi considerado o mais forte desde o ano de 1997/1998 (PEGORIM, 2015).

3.2 Telhado verde

Instintivamente o homem sempre procurou segurança, proteção e abrigo. Desta forma, a sociedade moderna não se difere da primitiva e por estar em constante modificação, estas mudanças fizeram com que surgissem diferentes conceitos sobre o que seria o ambiente adequado à sobrevivência e quais as premissas para definir o projeto como tal.

Miguel (2003) relata que a arquitetura originou-se do esforço primitivo da humanidade para alcançar proteção contra a inclemência do tempo, o ataque dos animais selvagens e os inimigos humanos. A partir da necessidade do primeiro abrigo, veio a necessidade de organização dos espaços e as adequações das relações entre o homem e a casa.

Os abrigos primitivos eram simples e adequados ao estilo de vida: cobertura em madeira recoberta de palha, porém as suas habilidades foram se desenvolvendo e ganhando formas diferentes utilizando os mesmo materiais. Os materiais utilizados nas construções primitivas eram os materiais encontrados no seu entorno, no ambiente próximo, dando início à arquitetura vernacular. Porém quando o homem descobriu o que os recursos naturais podiam lhe oferecer, começou pelo método de tentativa e erro a melhorar e adaptar sua habitação às suas necessidades e às condições climáticas, o que pode-se entender como sustentabilidade, uma vez que, eram passados de geração para geração e utilizavam os recursos locais e reutilização dos materiais (MIGUEL, 2003).

À exemplo de abrigos provenientes da arquitetura vernacular, tem-se alguns exemplares na antiga Escandinávia, os quais utilizavam vegetação na cobertura das casas em substituição às telhas, tornando-se ecologicamente correto ao promover o isolamento térmico e contribuindo para a não degradação ambiental. Segundo Saadatian *et al* (2013), historicamente os europeus quebraram os paradigmas do telhado verde, tendo a Alemanha como pioneira e líder na aplicação desta técnica.

No ambientalismo contemporâneo, o conceito da *green architecture*, retomam os telhados verdes agregando um conceito atual das cidades, porém agora com um conceito diferente, o qual segundo Nieva e Pozo (2005), as coberturas apresentam opções similares quanto à correspondência entre as

estratégias passivas de captação energética e às diversas disposições construtivas admitidas pela prática habitual, onde os sistemas construtivos devem se acomodar ao clima predominante, recusando um plano de construção global válido para qualquer região e situação.

Ainda segundo os mesmos autores, este tipo de cobertura é recomendado para diversos climas e lugares onde o regime de precipitação seja deficiente.

3.2.1 Aspectos técnicos do telhado verde e composição

O telhado verde baseia-se na aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações, desde que as mesmas recebam um tratamento adequado para impermeabilização, barreira anti-raízes e drenagem, favorecendo a eficácia do mesmo. E para esclarecer alguns pontos sobre sua aplicação e composição, A *National Roofing Contractors Association - EUA (NRCA)* lançou o *Green Roof Systems Manual (2007)*, o qual fornece informações técnicas relativas ao projeto e instalação de sistemas de qualidade para os telhados verdes. O foco do manual é apresentar os aspectos de sistema de impermeabilização e as informações sobre os componentes do sistema que não estão relacionados à impermeabilização, tais como o meio de crescimento, o filtro de tecido e uma camada de reservatórios são limitados.

A NRCA (2007), define como um sistema de telhado verde, a vegetação aplicada em um substrato colocado em qualquer nível impermeabilizado da estrutura fabricada e suas camadas são constituídas de impermeabilização e seus componentes associados, tais como, a barreira de proteção das raízes, uma camada de drenagem, uma camada de isolamento térmico, substrato e plantações.

O plantio é usado principalmente em telhados planos, mas também pode-se utilizar em telhados inclinados, desde que medidas sejam tomadas para evitar o escorregamento da vegetação junto com o substrato. Tais medidas dependerão da inclinação do telhado e de dados climáticos do local onde está o telhado, podendo ainda ser em uma obra nova ou já existente, devendo investigar a estrutura existente, a impermeabilização, a barreira anti-raízes e a sua drenagem (NRCA, 2007).

Telhados com inclinação entre 15° e 20° geralmente podem ser ajardinados sem qualquer problema, porém quanto mais inclinados forem, menos econômicos serão e a aparência do plantio menos natural (SCHUNCK *et. al*, 2003).

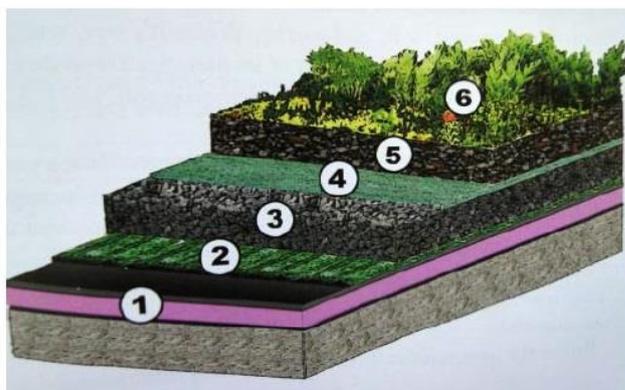
É possível ainda uma classificação dos telhados quanto à suas inclinações. Segundo Minke (2004) para telhados de:

- até 3° ou 5% de inclinação é considerado telhado plano;
- de 3° a 20° ou 5% a 35% de inclinação é chamado de telhado encosta suave;
- de 20° a 40° ou 35% a 84% de inclinação é chamado de telhado declive;
- acima de 40° ou 86% de inclinação é chamado de telhado íngreme.

Minke (2004) complementa que em telhados com encosta suave, está dispensada a utilização de segurança contra deslizamento do substrato e para as demais inclinações ele sugere diferentes dispositivos.

Para a definição dos componentes do telhado verde, Cantor (2008) apresenta o seguinte esquema: (Figura 3).

Figura 3: Composição do telhado verde.



- 1 - pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização.
- 2 - proteção e camada de armazenamento.
- 3 - camada de drenagem.
- 4 - camada anti-raiz e filtro permeável.
- 5 - camada de substrato.
- 6 - vegetação.

Fonte: Snogross E Mcntlyre, 2010.

Compreendendo as seguintes camadas: vegetação, substrato, filtro de tecido de drenagem e camadas de retenção de água, camada de proteção da raiz, isolamentos, impermeabilização e um terraço ou pavimento (CANTOR, 2008).

3.2.2 Classificação e componentes do telhado verde

Vegetação

Segundo Kibert (2008), os telhados verdes são geralmente classificados como extensivos ou intensivos. Os sistemas extensivos são definidos por exigir baixa manutenção, ter substrato mais fino, serem tolerantes à seca e possuírem características de auto-semeadura, ou seja, exigem pouca ou nenhuma irrigação, adubação e manutenção, pesando entre 70 e 170 Kg/m², e os tipos de plantas mais indicadas para este tipo são as nativas por se adaptarem melhor ao meio. Os de classificação intensiva são definidos por sua alta manutenção, pois nestes, é possível a criação de jardins em terraços, além de incluir gramados de médio e grande porte, como arbustos e árvores, e são muito mais complexos e pesados, pesando mais de 170 Kg/m².

Substrato

Para esta camada, a quantidade de variedade é maior, porém devem atender as necessidades das plantas em absorver a umidade e nutrientes necessários. A sugestão, segundo Snodgrass e McIntyre (2010) é que o substrato tenha uma textura granulosa, maior que as areias, silte e argila, que compõem o solo, com toque arenoso, a fim de quando estiver molhado não ficar lamacento ou pegajoso, pois assim não se compactam com seu próprio peso, facilitando a permeabilidade do meio.

Em geral, os substratos precisam possuir as seguintes características: boa drenagem; aeração e consistência; estrutura que lhe permita reter a água para a absorção pelas plantas; capacidade de tornar acessível aos nutrientes de plantas e raízes através da capacidade de troca de cátions; resistência à decomposição e compressão; peso leve; e estabilidade física e química (FRIEDRICH, 2005 *apud* SNODGRASS E MCLNTYRE, 2010).

Segundo Cantor (2008), em geral, os substratos inorgânicos são os preferidos, com alguns aditivos para se adequar às condições específicas de cada cultivo e instalação, sendo a escolha da planta e seu desenvolvimento condicionado à escolha do substrato.

Os materiais mais utilizados são: os agregados de argila expandida de xisto ou ardósia, e material vulcânico, como pedra pomes e perlita. Nos casos

dos agregados expandidos, os quais exigem muita energia para serem produzidos, seriam descartados se classificados dentro da sustentabilidade. Porém os de origem vulcânica, por estarem mais longes, tem seu custo elevado devido ao transporte. Para Cantor (2008) pode-se utilizar além dos já citados: argila e ardósia expandida e pedra pomes, a lava, terracota, argila calcinada ou até mesmo o tijolo.

Filtro

Esta camada é de tecido, geotêxtil, que separa a parte inferior do substrato da camada de drenagem, e embora de pouca espessura, é um elemento fundamental para impedir que as partículas finas do substrato obstruam a camada de drenagem, danificando o sistema (CANTOR, 2008).

Drenagem

Pode ser de material sintético ou de material mineral granulado com grande permeabilidade, tendo como função recolher o excesso de água que não é absorvida pelas plantas, sendo então direcionada ao sistema de captação de água pluvial (CANTOR, 2008).

Camadas de retenção de água

Esta camada é alternativa, e serve para aumentar a capacidade natural de retenção de água do telhado. Se apresenta em formato de formas plásticas, muito parecida com copos, com reentrâncias, as quais captam a água e a reservam, mantendo assim o substrato úmido. E segundo Cantor (2008) quando as formas estão devidamente instaladas, chegam a reter cerca de 0,1 a 0,5 litros de água por metro quadrado.

Camada anti-raiz

Serve para evitar que as raízes penetrem na impermeabilização e causem vazamentos, sendo conveniente adicionar as barreiras de raiz onde normalmente são utilizadas membranas termoplásticas, embora algumas montagens utilize uma membrana de cobre e produtos químicos retardadores de raiz (CANTOR, 2008).

Impermeabilização

Esta camada é imprescindível, pois havendo infiltração de água na estrutura da edificação, diminui sua vida útil além de causar transtornos para os ocupantes do local. O material mais utilizado para este fim é a manta asfáltica, porém a *National Roofing Contractors Association – NRCA (2015)* recomenda uma membrana isolante para telhado verde, composta por uma camada com 5,4mm de espessura mínima com tecido entelado reforçado, uma camada de asfalto quente e uma camada de manta asfáltica.

Isolamentos

Esta camada pode ser retirada em algumas regiões, pois ela serve para limitar a perda ou o ganho de calor (CANTOR, 2008). Sua utilização torna-se apropriada em regiões muito frias, onde tem-se que manter o calor nas edificações, sendo necessário ser leve, possuindo resistência a compressão, de modo que não sofra esmagamento pelo peso dos materiais das camadas posteriores, sendo o material mais indicado o poliestireno expandido.

3.2.3 Sistemas de aplicação e construção

Quanto ao sistema de aplicação e construção, o telhado verde pode ser encontrado em três variações:

Contínua: é a mais antiga e difundida, onde o substrato é aplicado diretamente sobre a base, devidamente impermeabilizada e protegida por diferentes camadas. As camadas se alteram de acordo com a base utilizada e o tipo de clima da região, sendo em lugares de clima frio necessário uma camada que impeça a condensação de vapor d'água na membrana isolante, e em clima tropical encontra-se uma camada de impermeabilização, uma de drenagem, uma de filtragem e uma com o substrato onde é plantada a vegetação escolhida;

Módulos pré-elaborados: é o tipo de cobertura desenvolvida para rápida aplicação e normalmente é comercializada por empresas especializadas. Geralmente é uma espécie de badeira rígida com os substratos e as plantas já crescidas para a colocação direta e imediata sobre as coberturas convencionais.

Aérea: a vegetação fica separada da base ou da cobertura, esta solução é praticamente uma cobertura viva da cobertura tradicional, trazendo algumas vantagens estruturais na instalação, mas não tem o mesmo efeito isolante das anteriores.

3.2.3 Influência do telhado verde na temperatura do ambiente

Segundo Givoni (1976), as coberturas são os elementos que mais sofrem com as amplitudes térmicas devido a sua grande exposição aos efeitos climáticos, e o impacto da radiação solar em dias de verão, as perdas de calor durante a noite e as chuvas afetam as coberturas mais do que qualquer outra parte da edificação, por isso sofrem grandes impactos de variações de temperaturas.

Para Velazquez (*apud* ARAÚJO, 2007), o desempenho térmico de uma cobertura com telhado verde em comparação com uma tradicional pode ser analisado através das medições do fluxo de energia nos dois sistemas de cobertura, considerando a temperatura do ar, temperatura de superfície do telhado, velocidade do vento e a umidade relativa do ar.

Ainda segundo o autor citado acima, o telhado verde age como isolante térmico, devido à sua espessura, pois em sua composição tem-se diversas camadas que o compõem, como membranas de impermeabilização, drenagem, substrato e materiais vegetais. Toda essa espessura age como uma barreira resistente na transmissão de energia, reduzindo a necessidade do condicionamento de ar em estações mais quentes e diminuindo a necessidade da calefação nas mais frias.

Analisando o desempenho dos telhados verdes, uma pesquisa realizada pelo NRC - Conselho Nacional de Pesquisa, situado em Ottawa no Canadá em 2003, analisou temperaturas de flutuação de dois telhados, sendo um com cobertura vegetal extensiva e outro sem cobertura. Durante a pesquisa, Liu e Baskaran (2003), comprovam sua eficiência, demonstrando que o telhado sem cobertura verde chegou a atingir 70°C no verão e o outro com cobertura verde alcançou 30°C, uma amplitude térmica de $\Delta t = 40^\circ\text{C}$.

Um estudo realizado pelo Centro de Energia Solar da Universidade da Flórida Central, sobre “A avaliação do desempenho de Energia do Telhado

Verde”, Sonne (2006) em seu projeto utilizou um telhado de 307m², onde metade era composto por telha comum recoberto com uma membrana clara e, a outra metade com o telhado verde composto de gramíneas e pequenas plantas. Os dados foram levantados no período de 4 de Julho à 1 de Setembro de 2005, período de verão no hemisfério norte, e demonstram que a média da temperatura máxima diária na superfície do telhado convencional foi de 54°C, enquanto a média da temperatura máxima diária na superfície do telhado verde foi de 33°C, ou seja, uma variação de 22°C menos que o telhado convencional.

Segundo mesmo autor, ainda ocorre uma significativa mudança nos picos de temperatura, sendo no telhado convencional por volta das 13horas, e no telhado verde por volta de 22horas, sendo a média da temperatura mínima no telhado convencional de 22°C e no telhado verde de 29°C. Isso deve-se à Flórida estar na baixa latitude, e que o telhado verde armazena calor, ficando mais quente no período noturno, enquanto que o outro telhado fica exposto a céu aberto, perdendo calor para o meio mais rapidamente.

Em um experimento realizado por Vecchia (2005), comparando a temperatura interna de módulos construtivos cobertos com diferentes telhados, demonstrou que em um dia onde a temperatura externa era de 34,0°C, a temperatura máxima no interior do módulo de cobertura verde foi de 28,8°C, bem menor do que as encontradas para as demais coberturas: telha cerâmica 30,4°C, aço galvanizado 45°C, telha de fibro cimento 31,0°C e laje de concreto 34,7°C, evidenciando a eficiência de isolamento térmico deste tipo de cobertura.

Oliveira (2009) utilizou uma tecnologia adaptada dos telhados verdes para a edificação popular utilizando telhas de fibrocimento, e observou a eficiência tanto no comportamento térmico interno como também externo uma redução da amplitude térmica interna em dia característico de verão (35,9°C), sendo capaz de reduzir a temperatura interna em cerca de 2,0°C nos períodos mais quentes do dia e cerca de 4,0°C no ambiente externo em comparação com o telhado – testemunha (sem plantio) com potencial de modificação do microclima local.

Com o intuito de identificar espécies vegetais com potencial de uso em telhado verde para o sistema extensivo, quantificando a reação das plantas à variação de diferentes profundidades de substrato, Beatrice (2011), registrou

também o comportamento térmico do sol, a fim de verificar a influência da vegetação no aquecimento da parte inferior do solo em relação a distintas profundidades de substrato. Em seu experimento, concluiu que solos de menor espessura são mais dependentes de cobertura vegetal para minimizar seu aquecimento e que os solos de maior espessura o fazem com menor dependência da vegetação, desta forma, o melhor desempenho térmico foi observado em solos de 0.10m, em relação às profundidades menores, embora não variasse seu comportamento térmico significativamente com o cultivo das três diferentes espécies de plantas, referente aos valores de cobertura atingidos neste experimento.

Na revisão bibliográfica realizada, Saadatian *et al* (2013), demonstram através de gráficos comparativos, que o emprego de características arquitetônicas voltadas para estratégias bioclimáticas geram economia devido ao seu melhor isolamento, melhorando o conforto térmico dos ocupantes em clima quente, reduzindo a temperatura do edifício em até 20°C, amortece a radiação solar, absorvendo 60% deles através da fotossíntese, e reduz a energia gasta com ar condicionado entre 25% e 80% quando comparado a outros telhados.

4 Material e métodos

A pesquisa apresentada pertence a linha de pesquisa Fontes renováveis e racionalização de energia na agroindústria e agricultura. É de caráter experimental e consiste em determinar o telhado verde como objeto de estudo, selecionando as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definindo como foram monitoradas, bem como a observação dos efeitos que as mesmas variáveis produzem no telhado verde em condições determinadas, comparando com um telhado convencional de telha de barro.

Quanto a unidade de análise, destaca os efeitos do aporte térmico, suas perdas para o meio e a sua contribuição para novas pesquisas e construções ou adequações, sendo o objeto de interesse de estudo um protótipo de telhado verde e outro com telha de barro.

A pesquisa se justifica na estratégia de coletar dados para o projeto quantitativo e a sua tabulação em planilhas do *software excel* para obter as diretrizes que nortearão os resultados e discussões, como: verificar qual telhado teve maior aporte de calor no decorrer dos dias monitorados, verificar o Δt entre as temperaturas internas e externas dos dois protótipos, verificar a interferência que o substrato e a cobertura vegetal promovem no protótipo com telhado verde, verificando a sua contribuição para as construções que utilizam esta técnica.

A validação desta pesquisa se dá através da confrontação dos dados coletados através do monitoramento diário (período de 01 de outubro de 2015 a 31 de outubro de 2015) do protótipo com telhado verde junto ao de telha de barro.

4.1 Protocolo de coleta de dados

Sistematizar as regras e os procedimentos para o levantamento de dados é a finalidade do protocolo da coleta de dados, trabalhando como instrumento para tal finalidade (YIN, 2003). Os procedimentos foram adotados conforme as etapas descritas a seguir.

- Primeira etapa: Revisão bibliográfica:

A revisão bibliográfica abrange as definições sobre desenvolvimento sustentável, eficiência energética e suas diretrizes, relacionando brevemente arquitetura, bioclimatologia e o clima da cidade de Cascavel - Pr. Resgata um breve histórico sobre o telhado e sua condição de abrigo decorrente da necessidade do homem de se proteger, relacionando os conceitos ecológicos remotos e contemporâneos. Na sequência tem-se a descrição da composição dos telhados verdes e seus aspectos técnicos, destacando os seus componentes, finalizando com os benefícios do uso do telhado verde e sua influência na temperatura ambiente.

- Segunda etapa: Experimento de campo:

Nesta etapa foi realizada a elaboração do projeto e execução do protótipo de telhado verde, e de um convencional, no caso com telhas de barro, e instalações dos sensores que fizeram a coleta dos dados monitorados.

- Terceira etapa: Coleta de dados do experimento e resultados:

Foram realizadas observações e registro dos dados diários, de cinco em cinco minutos, a partir dos sensores que estavam interligados ao *datalogger*, o qual repassa automaticamente os dados para a interface do programa do *datalogger* no computador, e posteriormente os mesmos dados foram tabulados em planilhas do *software excel*. As primeiras coletas foram desprezadas para a pesquisa, pois funcionaram para calibrar todo o sistema.

- Quarta etapa: análise dos dados:

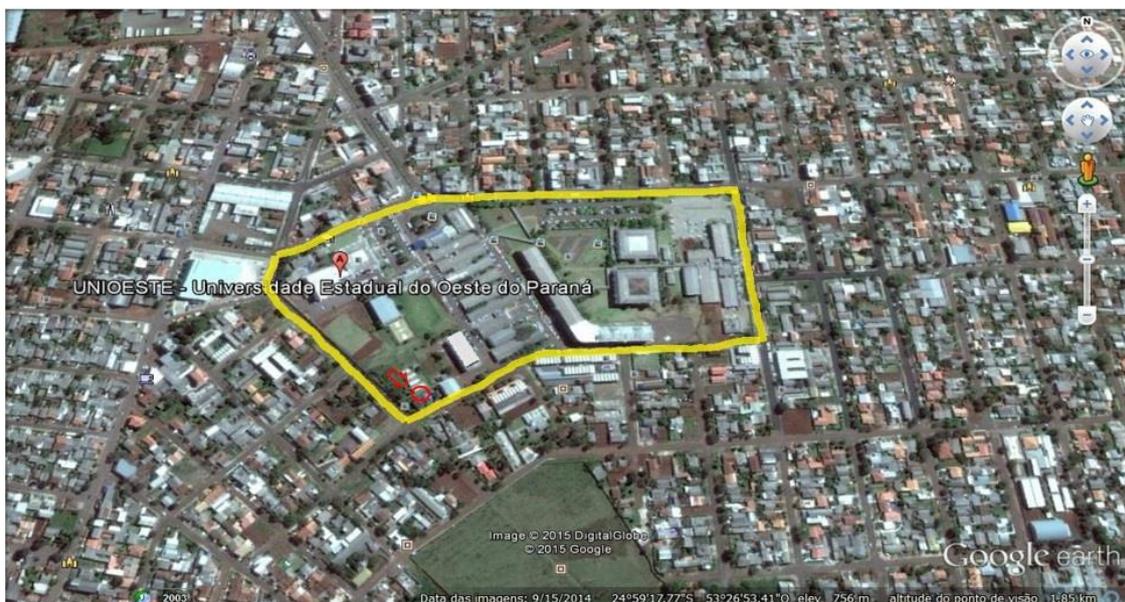
Fez-se uma correlação entre os dois protótipos que tem telhados diferentes, o que permite avaliar qual telhado teve a maior contribuição com redução de temperatura em seu ambiente interior, bem como qual teve o maior aporte de calor. Foi possível também verificar no telhado verde, através dos dados obtidos nos sensores instalados na superfície da cobertura vegetal e em seu substrato, a interação entre tipo de vegetação e temperatura interna do ambiente, e entre substrato e temperatura interna do ambiente.

Quanto ao método de análise de dados, foi estabelecido um padrão de avaliação dos indicadores recolhidos de temperatura externa do ambiente, velocidade do vento e irradiação solar, dados os quais foram comparados e relacionados com as médias de temperaturas diárias dos diversos sensores instalados. Para a realização dos gráficos apresentados, foram elegidos por meio de médias diárias de temperaturas externa, os dias mais quentes e os dias mais frios do período monitorado, e posteriormente a confrontação dos dados obtidos através das médias diárias. Foi ainda, verificado o dia de maior irradiação solar para a apresentação dos gráficos, com o objetivo de verificar a influência da irradiação no substrato e cobertura vegetal e consequentemente na temperatura e umidade do ambiente interior do protótipo.

4.2 Localização do experimento

O experimento foi realizado na Unioeste – Universidade do Oeste do Paraná (Figura 4), localizada na Rua Universitária, 2069, Cascavel, e será locado no Centro de Análises de Sistemas Alternativos de Energia – CASA.

Figura 4: Localização do campus da Unioeste / Cascavel – Universidade do Oeste do Paraná e do experimento dos telhados.



Fonte: Google Earth, 2015.

Foram construídos dois protótipos de telhado, sendo um telhado verde e outro convencional com telhas de barro para verificação e comparação de suas

eficiências. A construção foi dividida em três partes para cada protótipo, sendo a 1°: base de 0,95m x 0,95m x 0,50 de altura em madeira naval igual para os dois protótipos; 2°: laje de concreto com 2,5cm de espessura, igual para os dois protótipos; 3°: e cobertura de 1,0m x 1,0m x 0,30 de altura de platibanda e inclinação igual à 10%, em chapa de aço galvanizado para o telhado verde, o que garante impermeabilização, e estrutura inclinada de aço galvanizado para receber o substrato e demais camadas do telhado verde. E outra cobertura com estrutura interna de madeira para receber o telhado convencional e telhas de barro com inclinação igual à 10%.

Cada base de madeira naval, que no protótipo teve a função de produzir o espaço de um ambiente no qual foi verificado suas variações de temperatura, tendo uma pequena abertura de 10cm em sua lateral, a qual facilitou a colocação dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar (UR) internamente.

4.3 Desenho e montagem do experimento

A Figura 5 apresenta o desenho experimental adotado para o protótipo que recebeu o telhado convencional, o qual foi dividido em três partes, sendo uma base em madeira naval, pois assim como o outro protótipo (telhado verde), ficou exposto a intempéries.

Figura 5: perspectiva do protótipo com telhado convencional de barro.



Fonte: autora, 2015.

Esta base em madeira naval possui dimensões proporcionais à uma residência convencional, sendo de 0,95m x 0,95m e 0,40m de altura, e uma pequena abertura circular de diâmetro igual à 0,10m em uma de suas faces laterais para facilitar a colocação dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar (UR) em seu interior.

Posteriormente teve-se a colocação da laje de concreto com espessura de 2,5 cm a qual teve a função de impermeabilização conforme uma residência convencional (Figura 6).

Figura 6: Colocação da laje no protótipo de telha convencional.



Fonte: autora, 2015.

Possui ainda uma terceira parte: a cobertura, a qual foi construída em aço galvanizado, com dimensões de 1,0m x 1,0m e 0,30m de altura assemelhando-se a uma platibanda. Em seu interior foi feito uma estrutura em madeira para o apoio das telhas de barro, possuindo ainda uma calha interna à platibanda e uma saída para a água pluvial escoada do telhado (Figura 7).

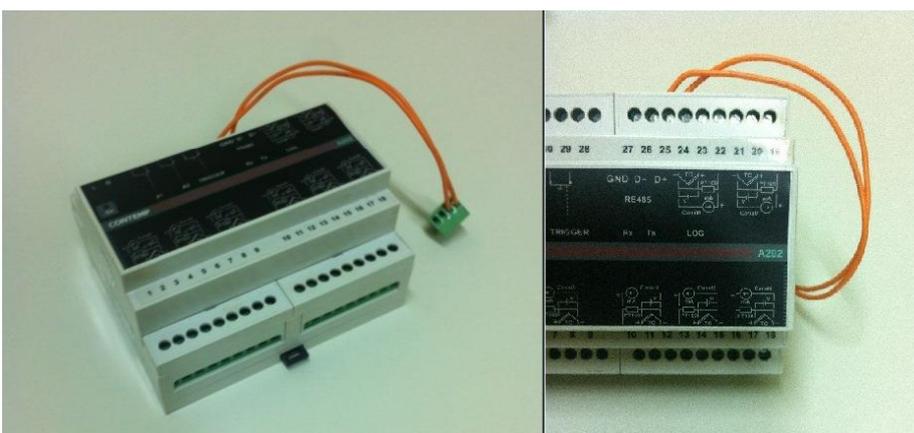
Figura 7: Montagem protótipo para telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

Neste protótipo, foram instalados 2 sensores de temperatura, sendo um interno ao ambiente e outro localizado abaixo à cobertura de telhas de barro, os quais foram monitorados através de interface com um *datalogger*⁵ (Figura 8).

Figura 8: datalogger Contemp, modelo A202.



Fonte: autora, 2015.

⁵ Sistema de monitoramento que inclui um software que permite o registro das temperaturas em intervalos de tempo constantes que podem ser ajustados pelo usuário.

A Figura 9 apresenta o desenho experimental adotado para o protótipo que recebeu o telhado verde, o qual também foi dividido em três partes, tendo a parte inferior (madeira naval) e laje de concreto (Figura 10) similar ao telhado que recebeu o telhado convencional, alterando apenas a parte superior que recebeu as camadas do telhado verde.

Figura 9: perspectiva do protótipo com telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Figura 10: colocação da laje no protótipo de telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Em sua parte superior, destinada às camadas que compõem o telhado verde, tem-se a construção de uma estrutura em aço galvanizado de dimensões 1,0m x 1,0m e 0,30m de altura (platibanda), com estrutura interna de madeira coberta com aço galvanizado, a fim de assemelhar-se à laje impermeabilizada, requisito básico para a instalação de um telhado verde. Possui ainda uma calha interna e uma saída para o escoamento proveniente da água pluvial ou da irrigação deste cultivo no telhado. (Figura 11)

Figura 11: montagem protótipo para telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Neste protótipo, foram instalados 03 sensores de temperatura, sendo um interno ao ambiente, outro localizado abaixo ao substrato, e outro na superfície da grama os quais foram monitorados através da interface com um *datalogger*, o mesmo utilizado no protótipo de telhas de barro.

Para complementar as verificações, foram instalados 02 sensores de umidade, um em cada caixa, interno ao ambiente.

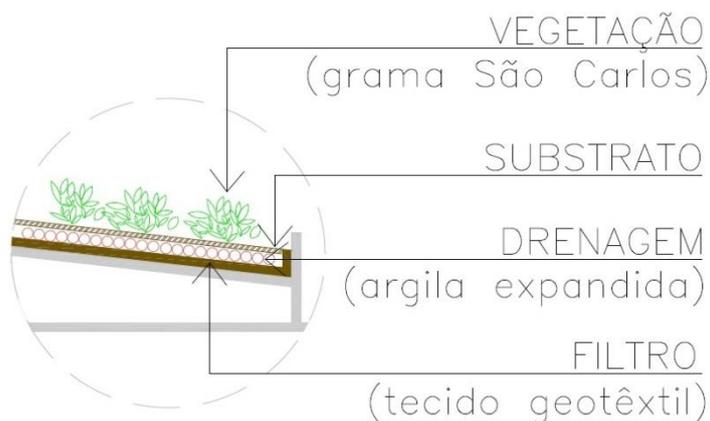
4.4 Montagem do experimento

O início da montagem do experimento iniciou em Junho de 2015, com a fabricação das caixas que receberam os telhados, e foram finalizadas no final de Julho de 2015 com a instalação dos sensores. Desta forma, o monitoramento dos dados iniciou-se em Setembro de 2015 em fase experimental, porém com início de coleta definitiva no mês de Outubro do mesmo ano.

A montagem do experimento no local se deu da seguinte forma:

- 1° transporte das caixas para o campus da Unioeste (Cascavel-Pr);
- 2° Colocação das telhas no protótipo de TC (telhado convencional) – telha de barro;
- 3° Colocação das camadas (Figura 12 e 13) para o TV - telhado verde na seguinte ordem: 1 - tecido geotêtil, 2 – argila expandida, 3 – substrato: produzido com húmus proveniente do esterco bovino com profundidade de 0,10m, 4 – grama São Carlos (*Axonopus Compressus*), sendo a composição do substrato apresentada na tabela 01;

Figura 12: camadas componentes do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Na figura acima, as camadas componentes do telhado verde do experimento, nas quais foram instaladas sensores, bem como no interior dos ambientes.

Tabela 1: composição nutricional do substrato.

NUTRIENTE	QUANTIDADE
Húmus	79%
Pó de carvão	20%
NPK 04-14-08	0,5%
Cálcio calcítico	0,5%

A composição nutricional, acima apresentada, do substrato foi importante para definir se haveria a necessidade de caracterizar a granulometria do substrato, porém na ausência de terra, tal procedimento não foi necessário.

Figura 13: montagem do protótipo com o telhado verde na Unioeste / Cascavel.

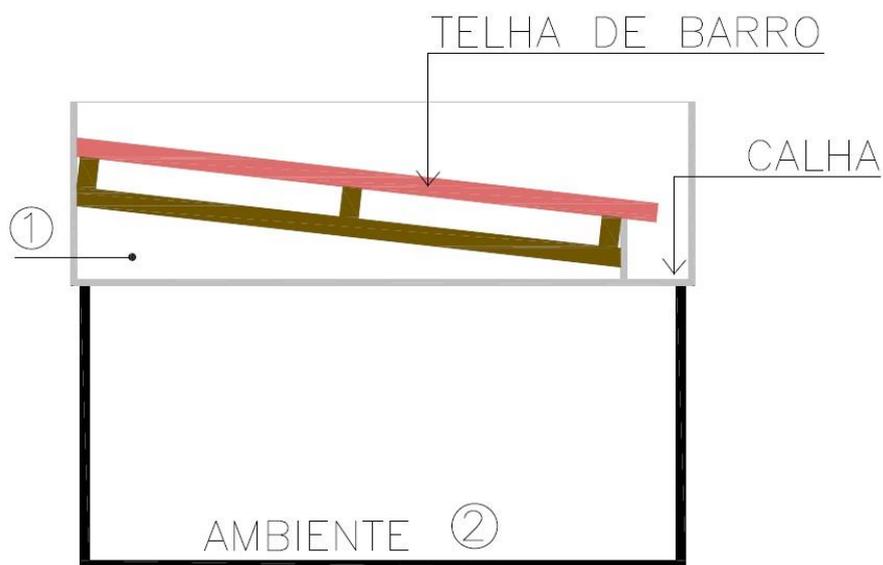


Fonte: autora, 2015.

4º Colocação dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar, que foram localizados conforme as figuras a seguir:

- Telhado convencional (Figura 14)
 - sensor 01 - temperatura: abaixo da telha de barro
 - sensor 02 temperatura e umidade relativa do ar – bulbo úmido: interno ao ambiente

Figura 14: corte esquemático – telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

A verificação da umidade relativa do ar foi obtida através da coleta de dados obtidos a partir da diferença de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco instalados nos protótipos (Figura 15).

Figura 15: Montagem sensor de bulbo úmido – igual para os dois protótipos.

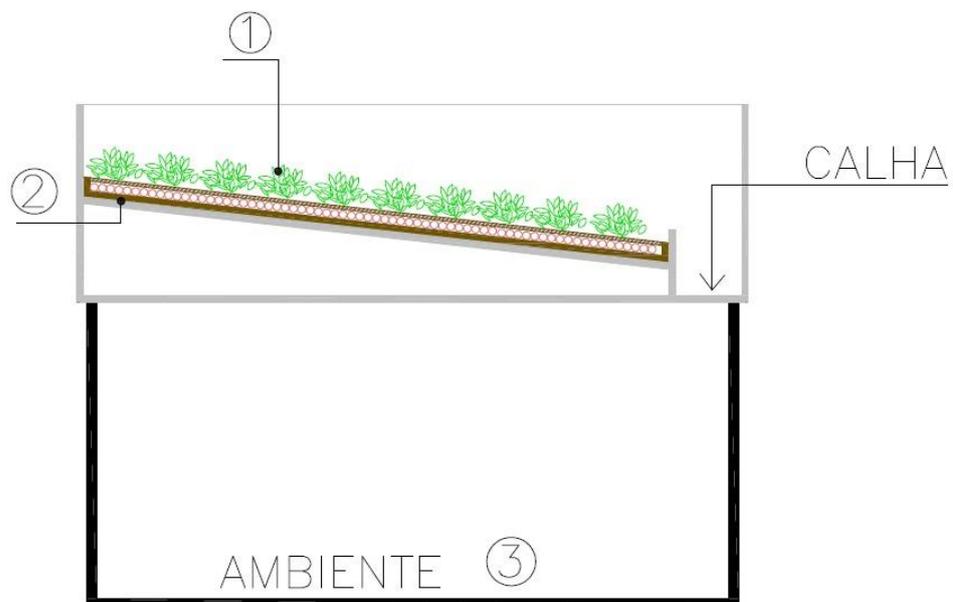


Fonte: autora, 2015.

Os dados foram coletados e tabulados em planilhas para a verificação da umidade relativa do ar.

- Telhado verde (Figura 16)
 - sensor 01 - temperatura: sobre a vegetação
 - sensor 02 - temperatura: abaixo do substrato
 - sensor 03 - temperatura e umidade relativa do ar – bulbo úmido: interno ao ambiente

Figura 16: corte esquemático – telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

A verificação da umidade relativa do ar foi obtida através da coleta de dados obtidos a partir da diferença de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco instalados nos protótipos da mesma forma que no telhado convencional (Figura 17).

Figura 17: montagem sensor de bulbo úmido – igual para os dois protótipos.



Fonte: autora, 2015.

Os dados foram coletados e tabulados em planilhas para a verificação da umidade relativa do ar.

4.5 Procedimento experimental

A partir da implantação e instalação dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar nos protótipos, iniciou-se a coleta dos dados referente à temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. A coleta iniciou-se no início do mês de Outubro e finalizou ao final do mês, com 30 dias de dados monitorados 24hrs.

À seguir será apresentado quais parâmetros serão monitorados e com quais instrumentos foi feito a coleta para dar procedimento ao experimento, delineando o mesmo.

- Tabela com parâmetros – TC (telhado convencional – telha de barro)

Tabela 2: parâmetros telhado convencional.

INSTRUMENTO	LOCAL	UNIDADE A SER LEVANTADA
Sensor temperatura 01	Abaixo à telha – entre as telhas e o material impermeabilizante	°C – graus Celcius
Sensor temperatura 02	Interno ao ambiente	°C – graus Celcius
Sensor umidade – bulbo úmido 01	Interno ao ambiente	% - porcentagem

- Tabela com parâmetros – TV (telhado verde)

Tabela 3: parâmetros telhado verde.

INSTRUMENTO	LOCAL	UNIDADE A SER LEVANTADA
Sensor temperatura 01	Na superfície da vegetação (grama são carlos)	°C – graus Celcius
Sensor temperatura 02	Abaixo do substrato	°C – graus Celcius
Sensor temperatura 03	Interno ao ambiente	°C – graus Celcius
Sensor umidade – bulbo úmido 01	Interno ao ambiente	% - porcentagem

- Tabela com parâmetros a serem levantados, comuns aos dois protótipos:

Tabela 4: parâmetros comum aos dois protótipos.

PARÂMETRO	INSTRUMENTO	LOCAL	UNIDADE A SER LEVANTADA
VELOCIDADE DO VENTO	Anemômetro digital	Externo ao ambiente	m/s – metros por segundo
RADIAÇÃO SOLAR	Piranômetro	Externo ao ambiente	kW/m ² – kilowatt por metro quadrado

Após a instalação dos instrumentos para o monitoramento dos parâmetros relacionados acima, dividiu-se o período de coleta – 1 mês (30 dias) em duas quinzenas, sendo que na 1^o quinzena foi realizado um tipo de rega na cobertura vegetal e na 2^o quinzena outro tipo de rega, a fim de verificar se a mesma interfere no comportamento da cobertura vegetal e conseqüentemente na temperatura interna do telhado verde. A seguir, o período das regas e a definição de cada uma delas, sendo os seus resultados apresentados com fotos termográficas.

- **Rega 01:** 02/10/15 à 18/10/15 – rega às segundas-feiras e quartas-feiras com 5 litros de água e nas sextas-feiras rega com 7,5 litros de água. Ausência de rega aos sábados e domingos;
- **Rega 02:** 19/10/15 à 02/11/15 – rega todos os dias da semana, incluindo sábados e domingos, com 4 litros de água.

5 Resultados e discussão

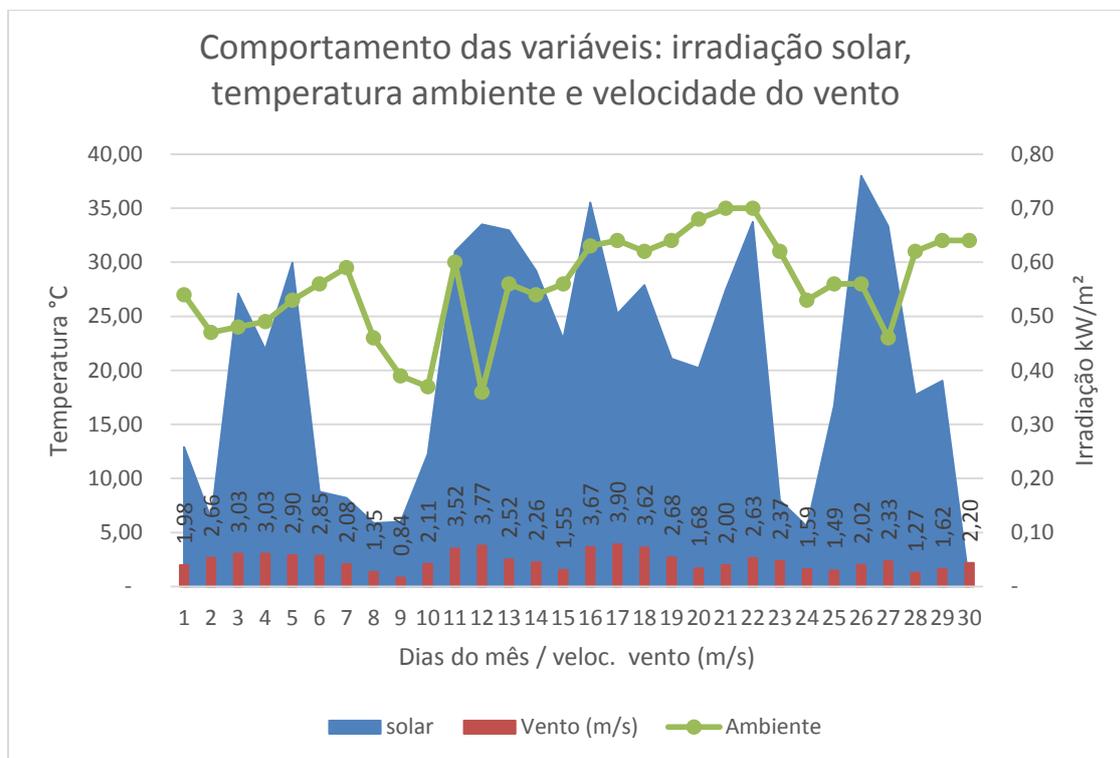
Os resultados experimentais permitiram avaliar e comparar o comportamento térmico para dois sistemas de cobertura durante o mês de outubro para a cidade de Cascavel, Oeste do Paraná.

5.1 Comportamento térmico para o período de reflexão

O período da coleta de dados corresponde à primavera (01/10/15 – 06:00hrs à 30/10/15 – 06:00hrs), e a faixa de conforto a ser utilizada será a do verão, devido à proximidade da mudança de estação, a qual está entre 24,8°C e 19,2°C, segundo o método de Olgay (1973), uma vez que a temperatura média para o mês mais quente do ano de 2015 (fevereiro) é de 22°C.

Considerando 30 dias completos de coleta, verifica-se a partir da Figura 18 o comportamento das variáveis comuns aos dois protótipos monitoradas no período: irradiação solar (kW/m²), temperatura do ambiente externo (°C) e velocidade do vento (m/s).

Figura 18: gráfico com o monitoramento diário das variáveis levantadas: temperatura ambiente, irradiação solar e velocidade do vento no período de 30 dias (gráfico obtido através das médias diárias).

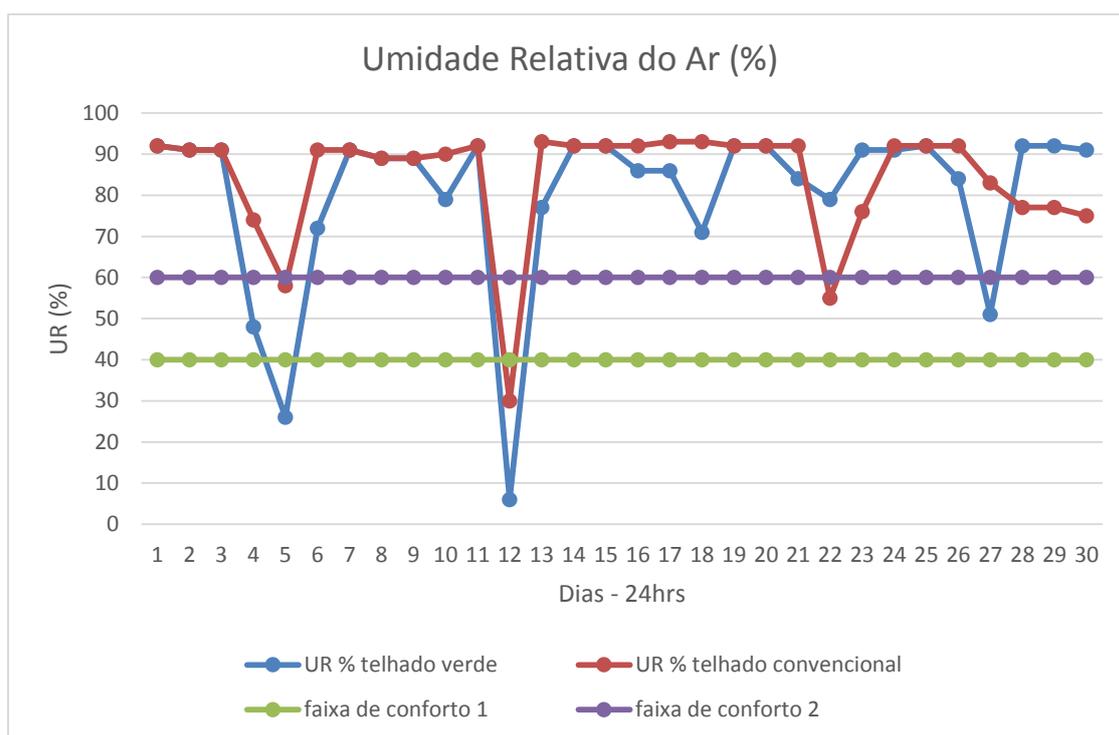


Fonte: (autora, 2015).

A umidade relativa do ar – UR%, é o índice mais conhecido para descrever o conteúdo de vapor d'água, indicando o quão próximo o ar está da saturação, ao invés de indicar a quantidade real de vapor d'água no ar. (GRIMM, 1999)

A Figura 19 apresenta a UR interna dos ambientes do telhado verde e do telhado convencional, onde observou-se que o telhado verde apresentou índices mais baixos que o telhado convencional e mais próximos à zona de conforto segundo Olgay (1973), a qual compreende entre 40% e 60%. Observou-se no telhado verde 7 dias que a faixa de UR esteve dentro da zona considerada confortável, enquanto que o telhado convencional teve 4 dias, e os pontos que apresentaram UR mais baixa foram os dias que apresentaram as temperaturas mais baixas no período monitorado.

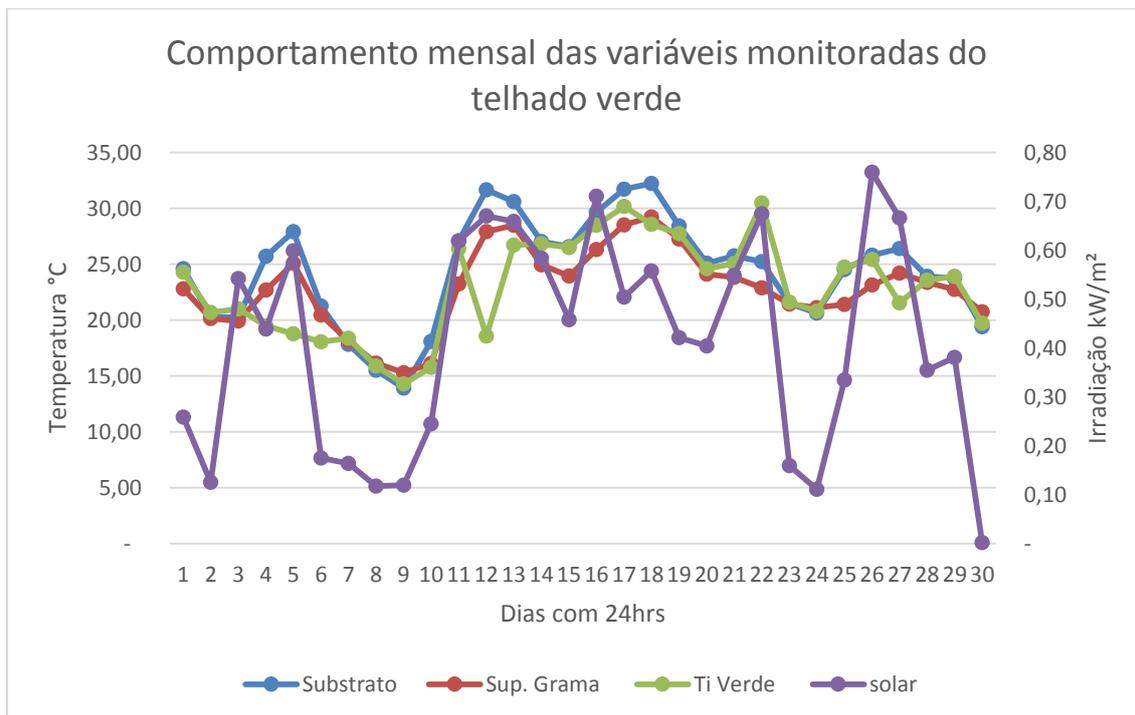
Figura 19: gráfico com a umidade relativo do ar (%) para o telhado verde e telhado convencional, obtida através das temperaturas internas de bulbo seco e bulbo úmido.



Fonte: (autora, 2015).

Na Figura 20 o comportamento das variáveis para o telhado verde: temperatura do substrato, temperatura na superfície da grama, temperatura interna ao protótipo do telhado verde e complementando as informações, os valores monitorados de irradiação solar para o período de 30 dias.

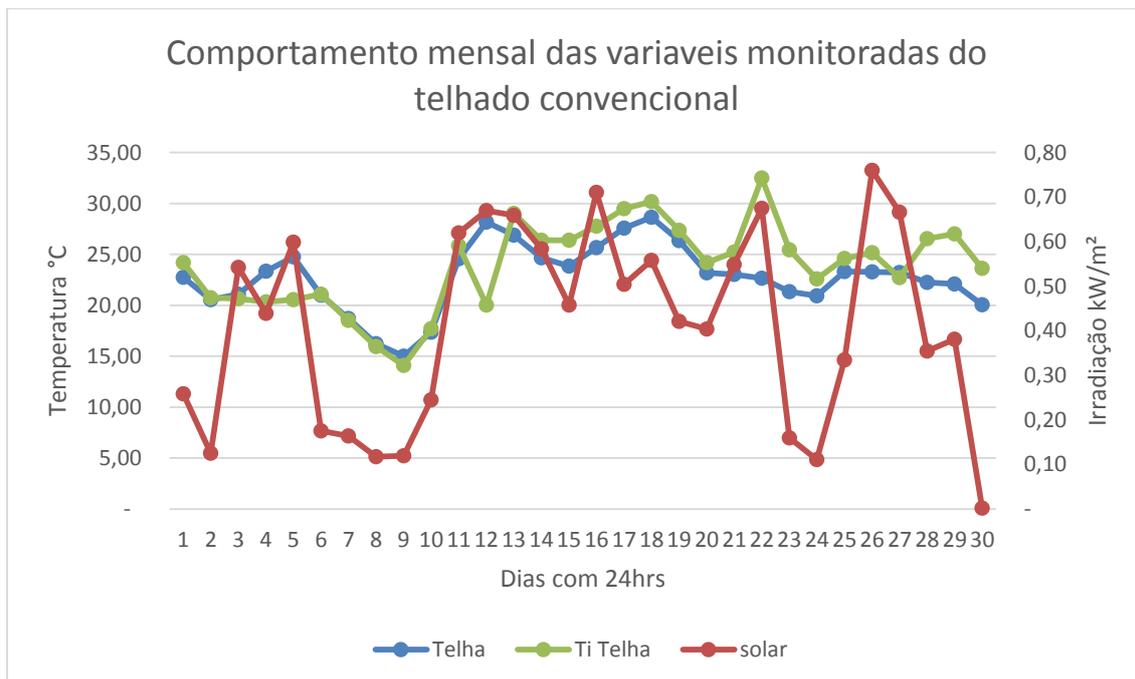
Figura 20: gráfico com o monitoramento diário das variáveis levantadas no telhado verde (gráfico obtido através das médias diárias).



Fonte: (autora, 2015).

Na Figura 21 as variáveis monitoradas no telhado convencional: temperatura abaixo a telha e temperatura interna ao protótipo, complementando com as informações, os valores monitorados de irradiação solar para o período de 30 dias.

Figura 21: gráfico com o monitoramento diário das variáveis levantadas no telhado convencional (gráfico obtido através das médias diárias).

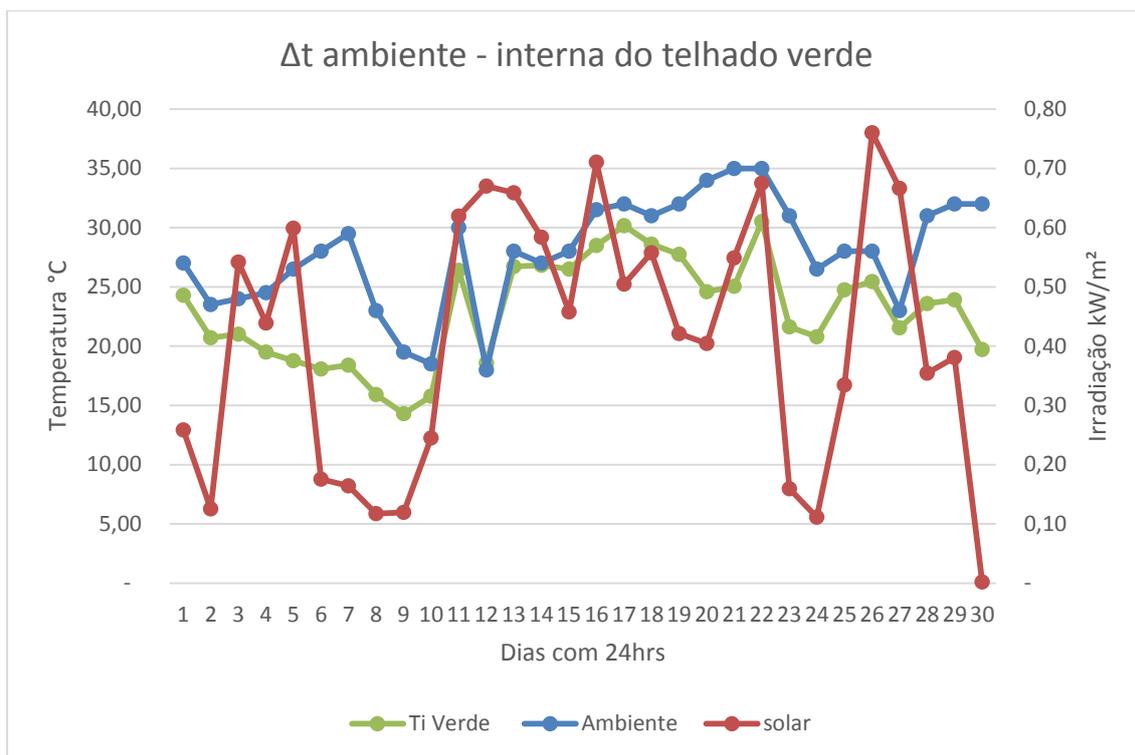


Fonte: (autora, 2015).

Para verificar a contribuição na diminuição da temperatura de cada protótipo, observando a Figura 22 tem-se o $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado verde combinado com a irradiação solar para o período monitorado, a qual apresentou uma variação média de $4,96^\circ\text{C}$, ou seja, a temperatura interna do protótipo com cobertura de telhado verde ficou mais baixa que a temperatura externa do ambiente. Observou-se ainda que no dia 22/10/15 registrou-se a maior temperatura ambiente: 35°C , temperatura interna do telhado verde: $30,51^\circ\text{C}$ e irradiação solar: $0,634\text{kW/m}^2$, tendo $\Delta t = 4,49^\circ\text{C}$.

Observou-se assim, o mesmo desempenho que Liu e Baskaran (2003) observaram em sua pesquisa, porém com uma amplitude térmica menor.

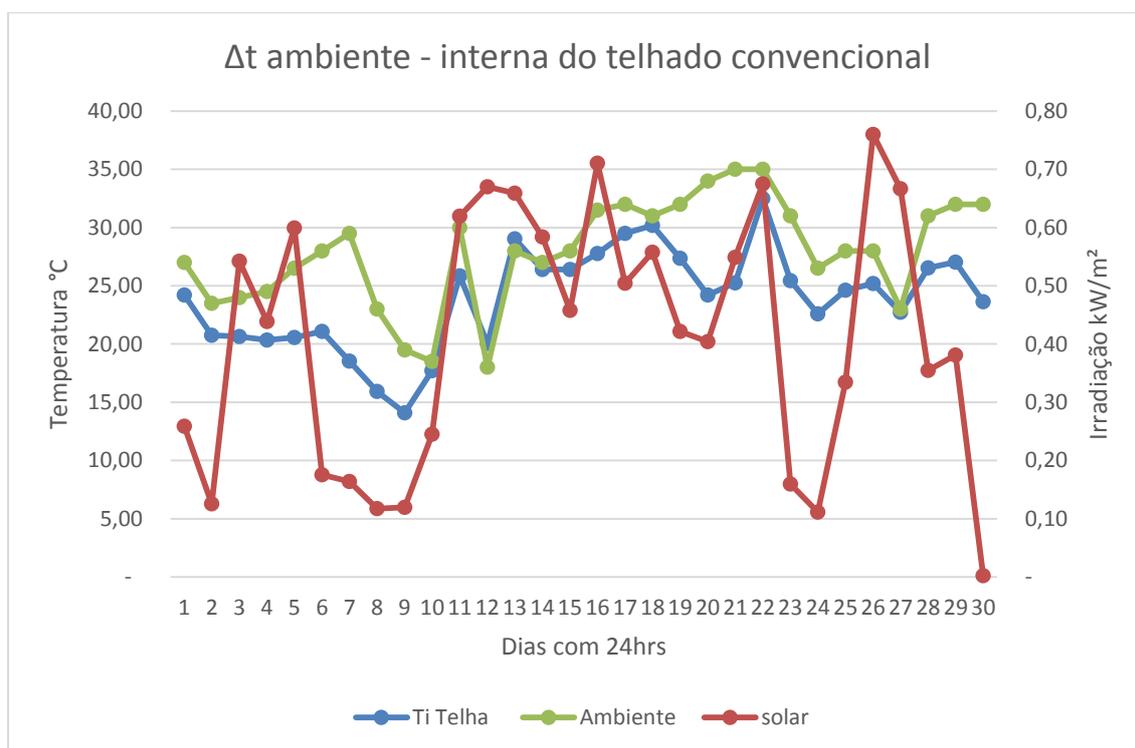
Figura 22: gráfico com variação da temperatura ambiente e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: (autora, 2015).

A mesma redução observou-se no protótipo com cobertura convencional, apresentado na Figura 23, porém a sua variação média foi de 4,03°C ($\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do telhado convencional}$), demonstrando redução na temperatura interna quando comparada à externa, porém reduziu 0,93°C a menos que o telhado verde, apontando para a maior contribuição do telhado verde para a redução da temperatura interna. Para o dia 22/10/15, que apresentou maior temperatura ambiente: 35°C, obteve-se a temperatura interna do telhado convencional: 32,49°C e irradiação solar: 0,634kW/m², tendo $\Delta t = 2,51^\circ\text{C}$, apontando novamente para a maior contribuição do telhado verde.

Figura 23: gráfico com variação da temperatura ambiente e temperatura interna do telhado convencional.



Fonte: (autora, 2015).

5.2 Comportamento térmico para o período de aquecimento (dia) entre 06:00hrs e 17:55hrs e de resfriamento (noite) entre 18:00hrs e 5:55hrs

Considerando os períodos de aquecimento, nos quais os protótipos receberam radiação solar, considerou-se o horário entre 06:00hrs e 17:55hrs, e de resfriamento quando os protótipos não receberam radiação solar, entre 18:00hrs e 05:55hrs, e a diferença de rega entre 1ª quinzena com rega 01 e 2ª quinzena com rega 02, onde através dos dados apresentados no site accuweather.com.pt.br, obteve-se as médias para as temperaturas externas, e através do monitoramento, as temperaturas médias internas ao telhado verde e ao telhado convencional, apresentadas a seguir:

1ª quinzena (rega 01)

- Média temp. externa: 25°C
- Média temp. interna do telhado verde: 20,78°C (**dentro da zona de conforto, segundo Olgay (1973)**)

- Média temp. interna do telhado convencional: 21,44°C **(dentro da zona de conforto, segundo Olgay (1973))**

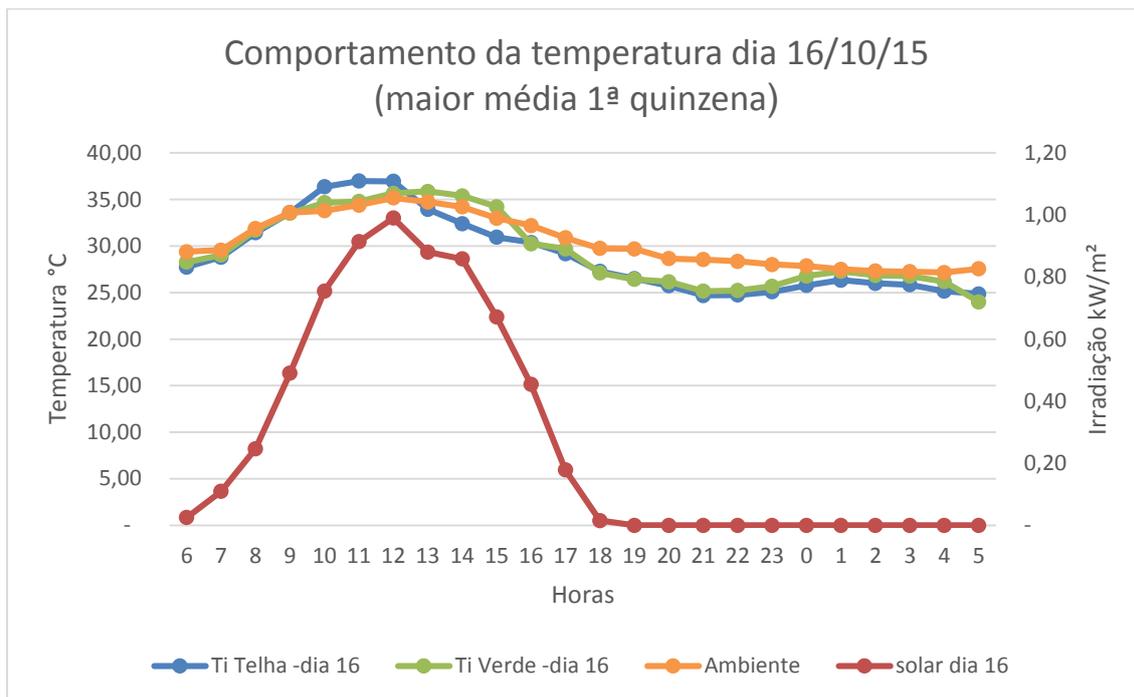
2ª quinzena (rega 02)

- Média temp. externa: 30,80°C
- Média temp. interna do telhado verde: 25,10°C **(fora da zona de conforto, segundo Olgay (1973))**
- Média temp. interna do telhado convencional: 26,30°C **(fora da zona de conforto, segundo Olgay (1973))**

Verificando as temperaturas médias diárias, utilizou-se como parâmetros de análise o dia mais quente e o mais frio da 1ª quinzena, respectivamente dia 16/10/15 e 12/10/15. E fez-se o mesmo para a 2ª quinzena, obtendo dados para os dias 22/10/15 e 27/10/15.

Para o exposto, obtiveram-se os gráficos apresentados na Figura 24, com o comportamento térmico dos dois protótipos no dia 16/10/15 (dia com maior média de temperatura na 1ª quinzena: 31,5°C) no qual observou-se uma significativa mudança nos picos de temperatura, sendo no telhado convencional às 11:30hrs e no telhado verde às 13:30hrs, confirmando as pesquisas de Sonne (2006), as quais afirmam que a variação no picos deve-se ao telhado verde armazenar calor, ficando mais quente no período posterior, enquanto que o outro telhado fica exposto a céu aberto, perdendo calor para o meio mais rapidamente.

Figura 24: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 16/10/15.



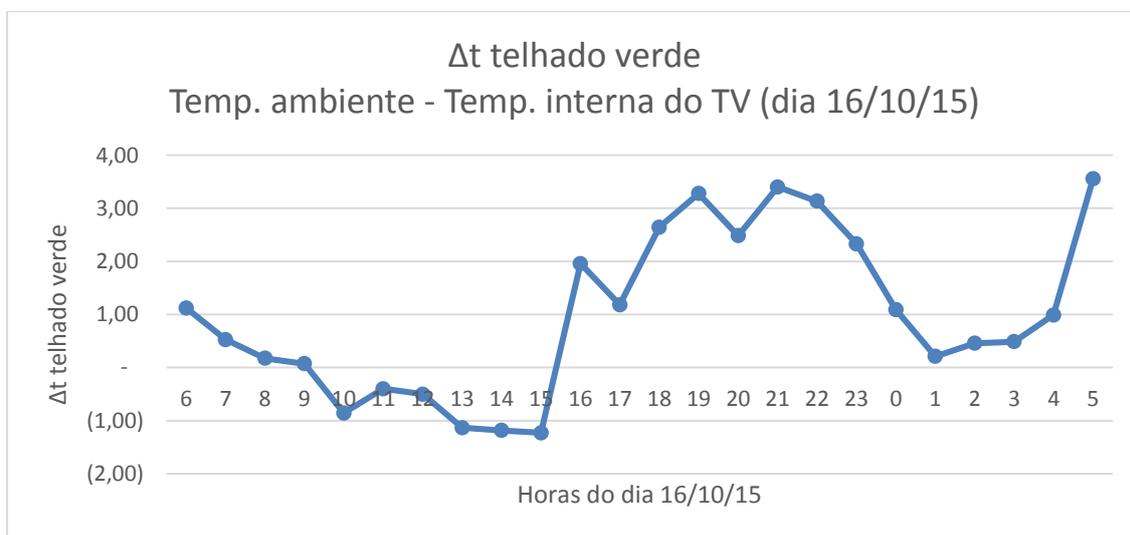
Fonte: autora, 2015.

Sendo assim, no experimento, observou-se que a temperatura do telhado verde demorou mais para aquecer comparando-o com o telhado convencional, porém se manteve mais tempo aquecido. Relacionando com a zona de conforto térmico, segundo Olgay (1973), tem-se que no dia 16/10/15 (dia mais quente) o telhado verde teve média de temperatura de 29,45°C e UR do ar: 86%, e o telhado convencional 29,03°C e UR do ar: 92%, estando os dois fora da zona de conforto.

Segundo Yannas e Maldonado (1995), a inércia térmica na edificação ajuda no atraso e na diminuição nos picos de calor externo, e o fato de armazenar calor dentro da edificação, funciona como dissipador de calor, evitando a oscilação e os picos durante o dia, dissipando o calor mais tarde. Ainda segundo os mesmos autores, inércia térmica é a capacidade de uma edificação armazenar e liberar calor, e à exemplo tem-se uma edificação com pouca inércia segue muito próxima a variação de temperatura externa, e com uma inércia infinita, a temperatura interna permaneceria constante. Sendo assim, para o dia 16/10/15 temos um atraso térmico entre os dois protótipos, ou seja, o telhado convencional teve um aporte de calor horas antes do telhado verde.

Na Figura 25 tem-se o gráfico do $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado verde, onde apresentou-se os valores desta variação, os quais iniciam-se as 6hrs da manhã com valores positivos, o que significa que a temperatura ambiente externa estava maior que a temperatura interna do protótipo, posteriormente há a inversão dos valores, tendo a partir das 9hrs da manhã temperaturas externas menores que a interna, com pico de temperatura entre 13:30hrs e 15hrs, e após este horário a inversão novamente dos valores, onde apresentou o maior período de temperaturas menores que o ambiente externo para o interior, partindo das 16hrs até 01hr da madrugada.

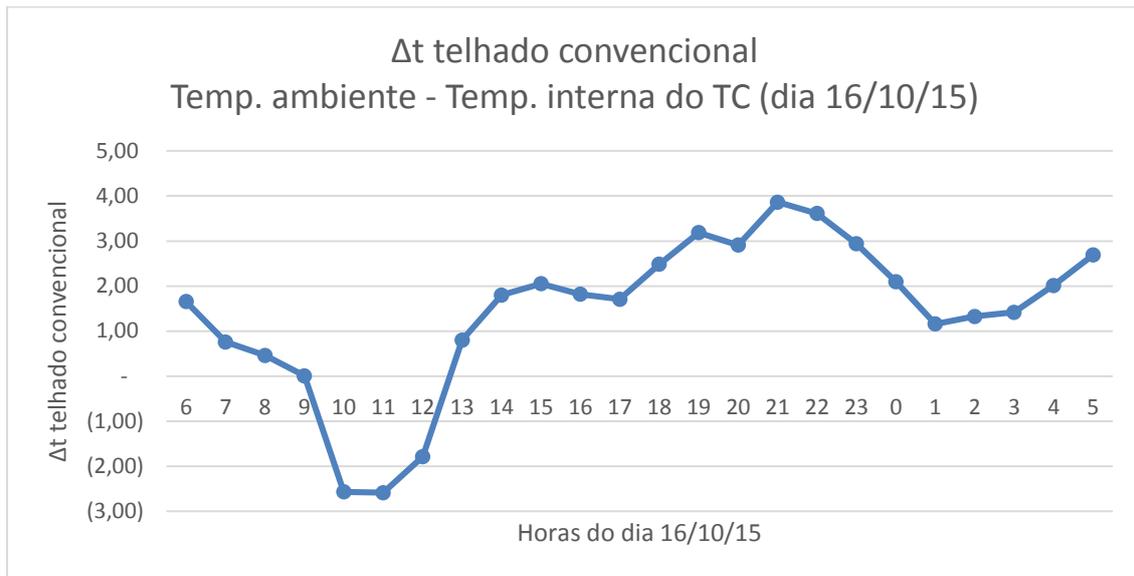
Figura 25: Variação da temperatura do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

No gráfico da Figura 26 observou-se o $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado convencional, o qual inicia o dia com temperaturas internas menores que a externa do ambiente, aproximadamente às 9:20hrs tem-se a inversão desta situação, com temperaturas internas maiores que a externa até as 12:30hrs, quando retoma a situação inicial do dia até as 5:00hrs do dia seguinte.

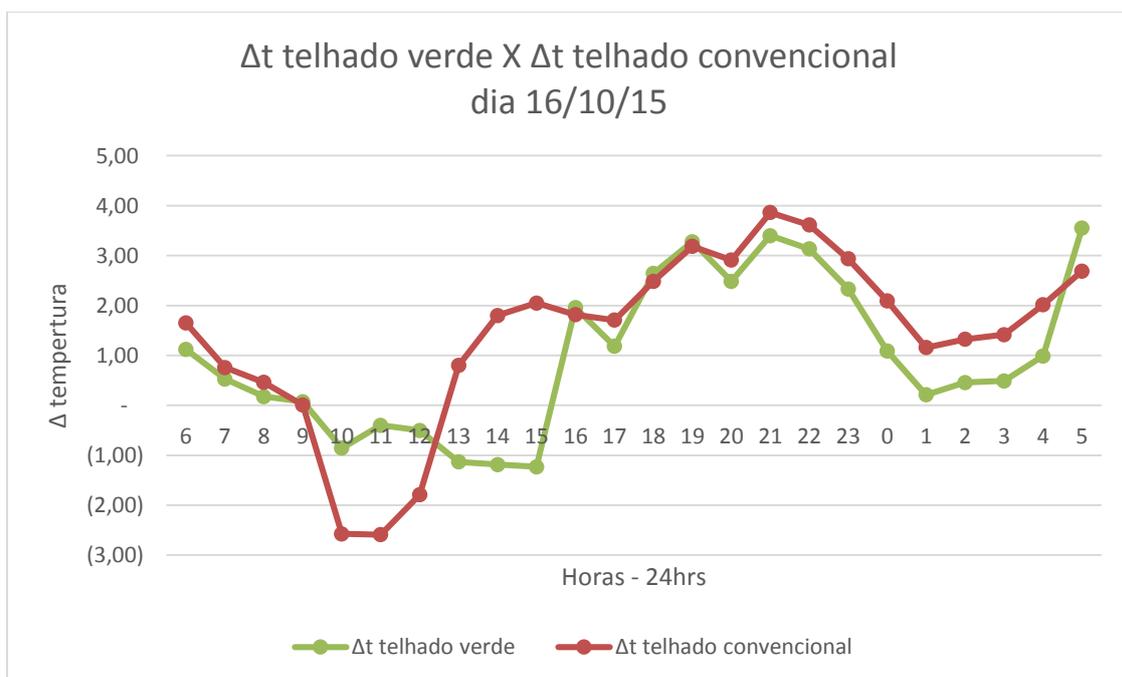
Figura 26: Variação da temperatura do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

Na Figura 27 o comparativo da variação da temperatura do telhado verde e do telhado convencional, unindo as informações apresentadas acima, onde observou-se que os pontos de picos negativos (quando a temperatura externa é maior que a temperatura interna) do telhado verde ocorreram posteriormente ao telhado convencional.

Figura 27: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.

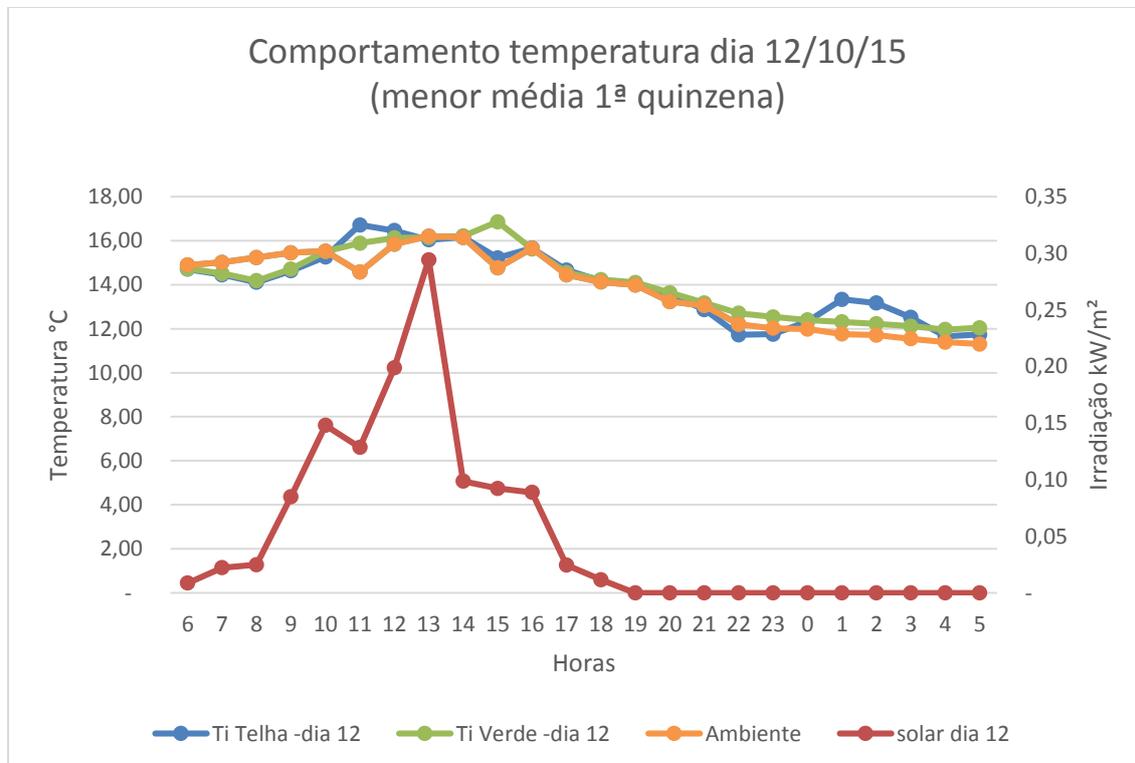


Fonte: autora, 2015.

É possível observar na Figura 28 o comportamento térmico dos dois protótipos no dia 12/10/15 (dia com menor média de temperatura na 1ª quinzena: 13,83°C), onde observou-se uma significativa alteração nos picos de temperatura às 11hrs no telhado convencional e às 15hrs no telhado verde, confirmando novamente os resultados das pesquisas de Sonne (2006), observando que o telhado verde manteve por mais tempo a temperatura adquirida no horário mais crítico para se obter uma temperatura confortável ao ser humano (meio-dia), enquanto que o telhado convencional perdeu calor mais rapidamente.

Relacionando com a zona de conforto térmico, segundo Olgyay (1973), tem-se que no dia 12/10/15 o telhado verde teve média de temperatura de 14,05°C e UR do ar: 6%, e o telhado convencional 13,98°C e UR do ar: 30%, estando os dois fora da zona de conforto. Quanto ao aporte de calor no interior do protótipo, o telhado verde teve um atraso térmico com relação ao telhado convencional, devido às suas camadas dificultarem os ganhos de calor através de transmissão por condução.

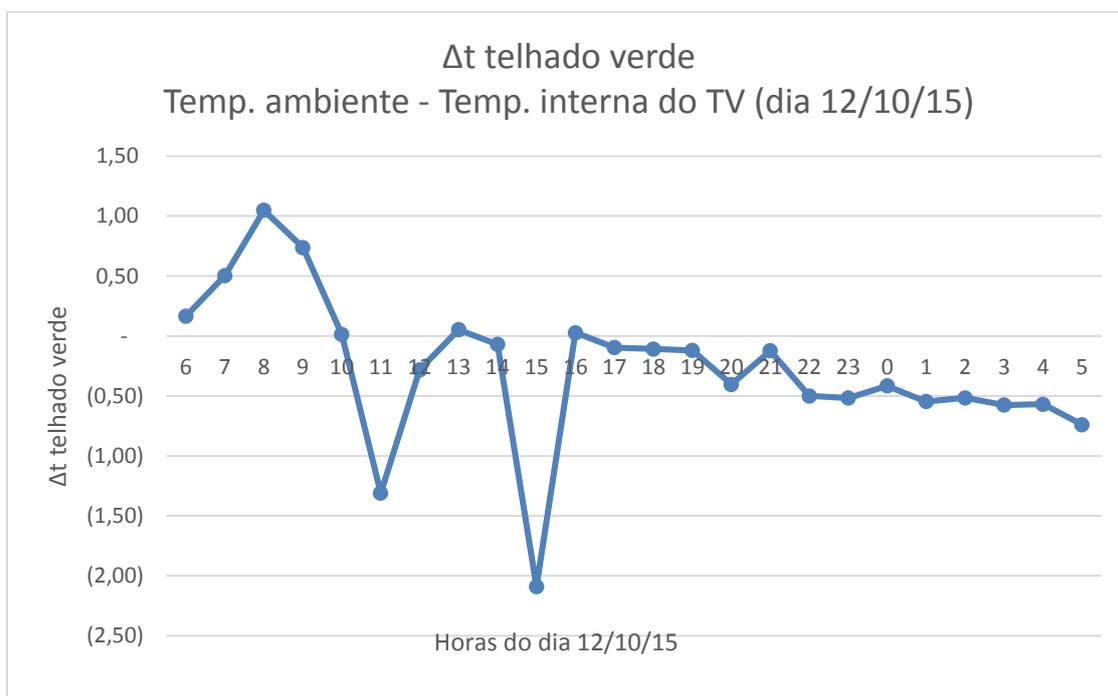
Figura 28: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 12/10/15.



Fonte: autora, 2015.

Na Figura 29 tem-se o gráfico do $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado verde, onde apresentou-se os valores desta variação, os quais iniciam-se as 6hrs da manhã com valores positivos, o que significa que a temperatura ambiente externa estava maior que a temperatura interna do protótipo, posteriormente há a inversão dos valores, tendo a partir das 10hrs da manhã temperaturas externas menores que a interna, com pico de temperatura às 11hrs, diminuindo após este horário, mas mantendo-se menor que a interna até o período da madrugada.

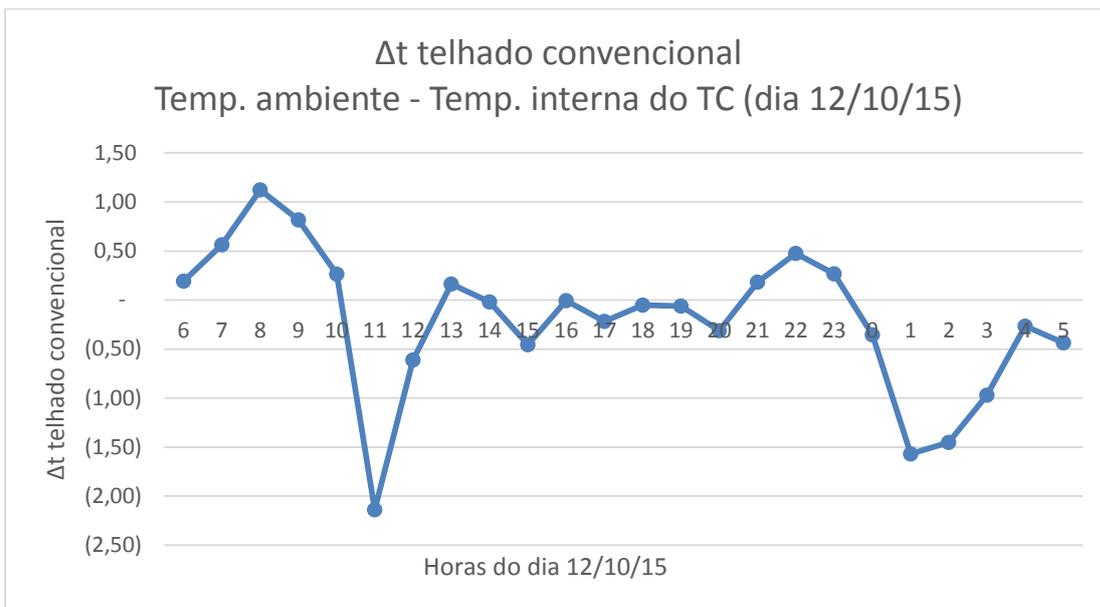
Figura 29: Variação da temperatura do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

No gráfico da Figura 30 observou-se o $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado convencional, o qual inicia o dia com temperaturas internas menores que a externa do ambiente, aproximadamente às 10:00hrs tem-se a inversão desta situação, com temperaturas internas maiores que a externa até as 13:00hrs, e após este horário em se mantém inconstante até o período da noite aproximadamente até às 20:00hrs.

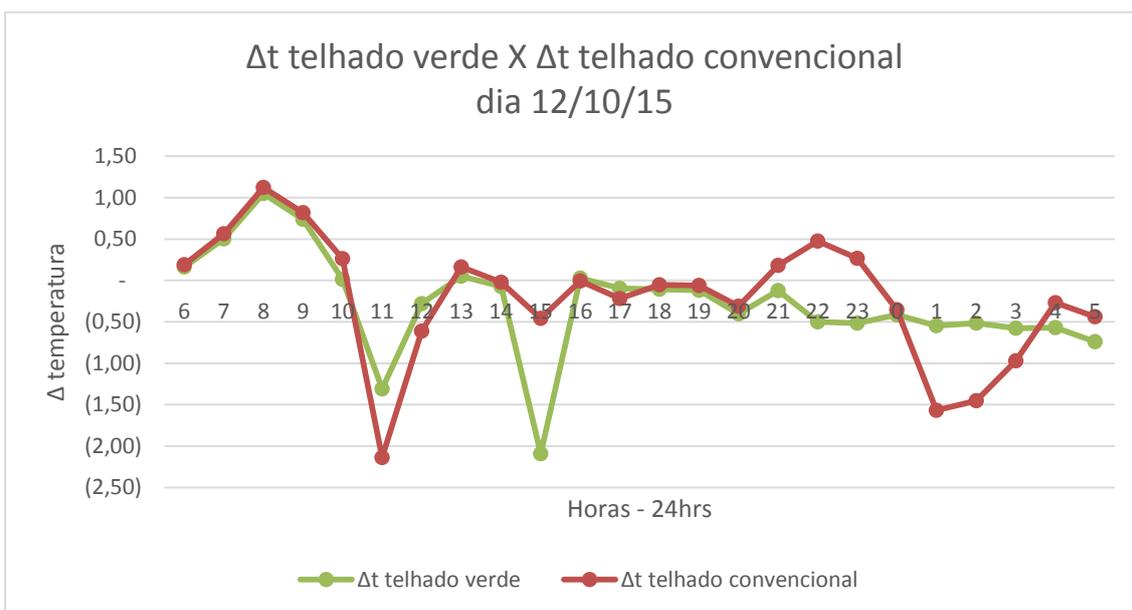
Figura 30: Variação da temperatura do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

O comparativo da variação da temperatura do telhado verde e do telhado convencional pode ser observado na Figura 31, o qual uniu as informações apresentadas anteriormente, onde obteve-se os picos negativos do telhado verde que representam a ocorrência posterior ao telhado convencional.

Figura 31: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.

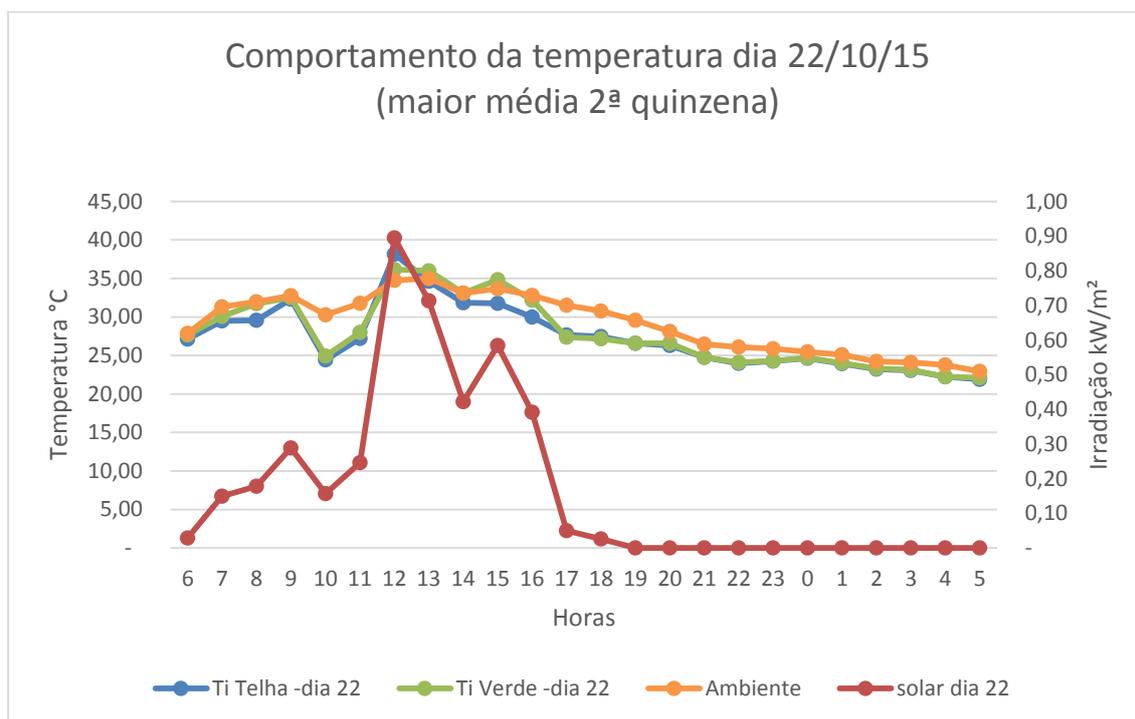


Fonte: autora, 2015.

O mesmo objetivo buscou-se apresentar no gráfico da Figura 32, onde tem-se o comportamento térmico dos dois protótipos no dia 22/10/15 (dia com maior média de temperatura na 2ª quinzena: 29,13°C) no qual observou-se que o pico de temperatura do telhado convencional ocorreu às 12hrs, e para o telhado verde às 15hrs, conforme as pesquisas de Sonne (2006), onde o telhado convencional apresentou temperatura mais baixa devido à perda de calor ser mais rápida que o telhado verde pois possui menos camadas para transmissão de calor.

Neste dia 22/10/15 teve-se média de temperatura de 27,81°C e UR do ar:79% para o telhado verde, e 27,35°C e UR do ar: 55% para o telhado convencional, estando os dois fora da zona de conforto, porém com a UR do ar do telhado convencional dentro da faixa considerada confortável, segundo Olgay (1973). Quanto ao atraso térmico, novamente o telhado verde se mostrou mais atrasado em relação ao convencional.

Figura 32: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 22/10/15.

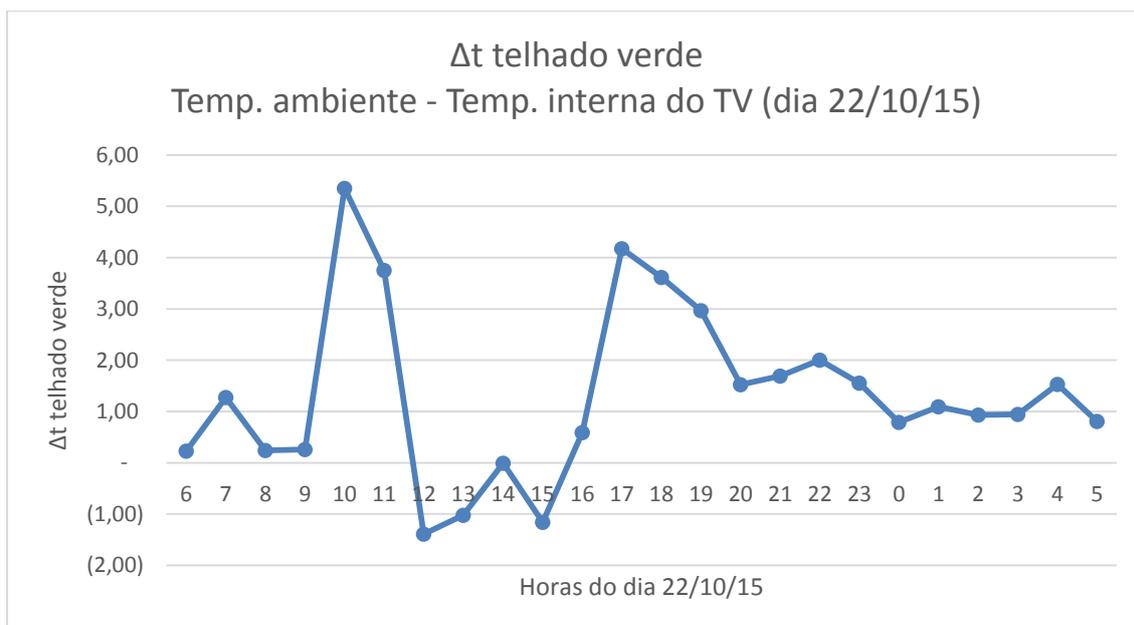


Fonte: autora, 2015.

Na Figura 33 tem-se o gráfico do $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado verde, onde apresentou-se os valores desta variação, os quais iniciam-se às 6hrs da manhã com valores positivos, o que significa que a temperatura

ambiente externa estava maior que a temperatura interna do protótipo, posteriormente há a inversão dos valores, tendo aproximadamente a partir de 11:50hrs da manhã temperaturas externas menores que a interna, com pico de temperatura às 12hrs e as 15hrs, diminuindo e invertendo-se após este horário, ou seja, a temperatura interna mantém-se mais alta que a interna do protótipo.

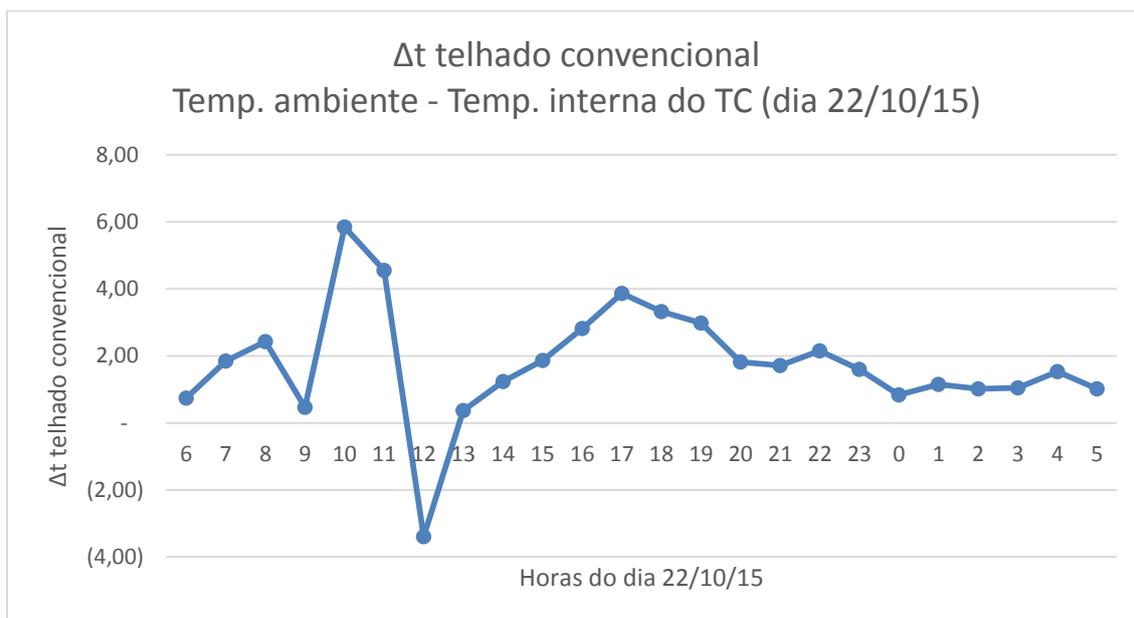
Figura 33: Variação da temperatura do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

No gráfico da Figura 34 observou-se o $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado convencional, o qual inicia o dia com temperaturas internas menores que a externa do ambiente, aproximadamente às 11:50hrs tem-se a inversão desta situação, com temperaturas internas maiores que a externa até as 13:00hrs, e após este horário há a inversão das temperaturas, onde a temperatura interna mantém-se mais baixa que a externa até 5hrs do dia seguinte.

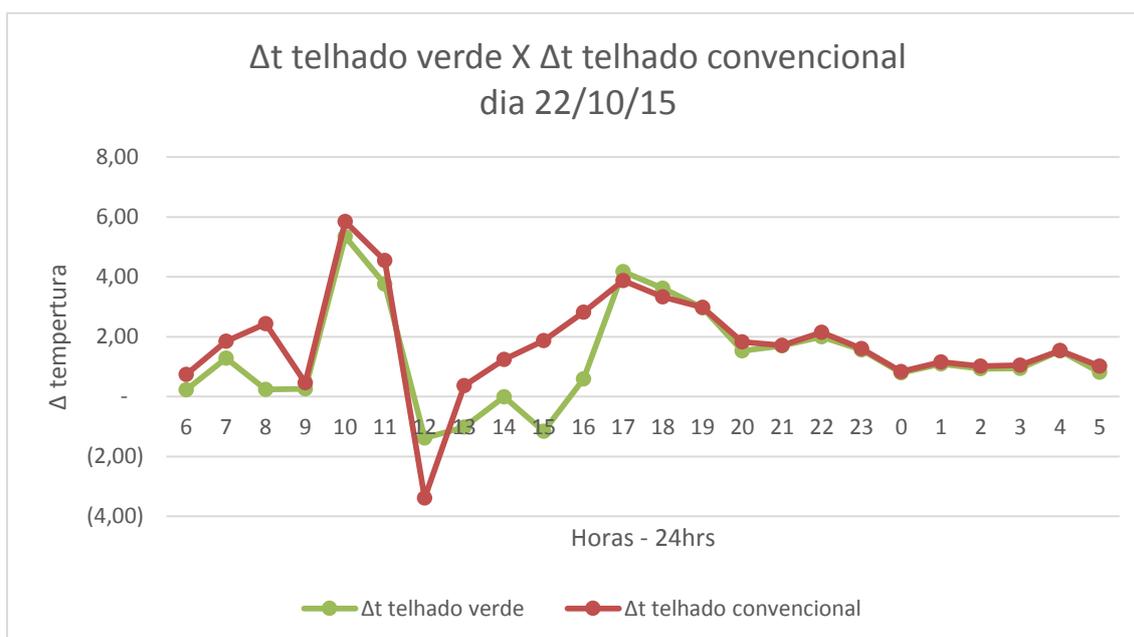
Figura 34: Variação da temperatura do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

Na Figura 35 tem-se o comparativo da variação da temperatura do telhado verde e do telhado convencional, unindo as informações já apresentadas acima, onde observou-se que os pontos de picos negativos do telhado verde ocorreram posteriormente ao telhado convencional como nos demais dias observados.

Figura 35: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.

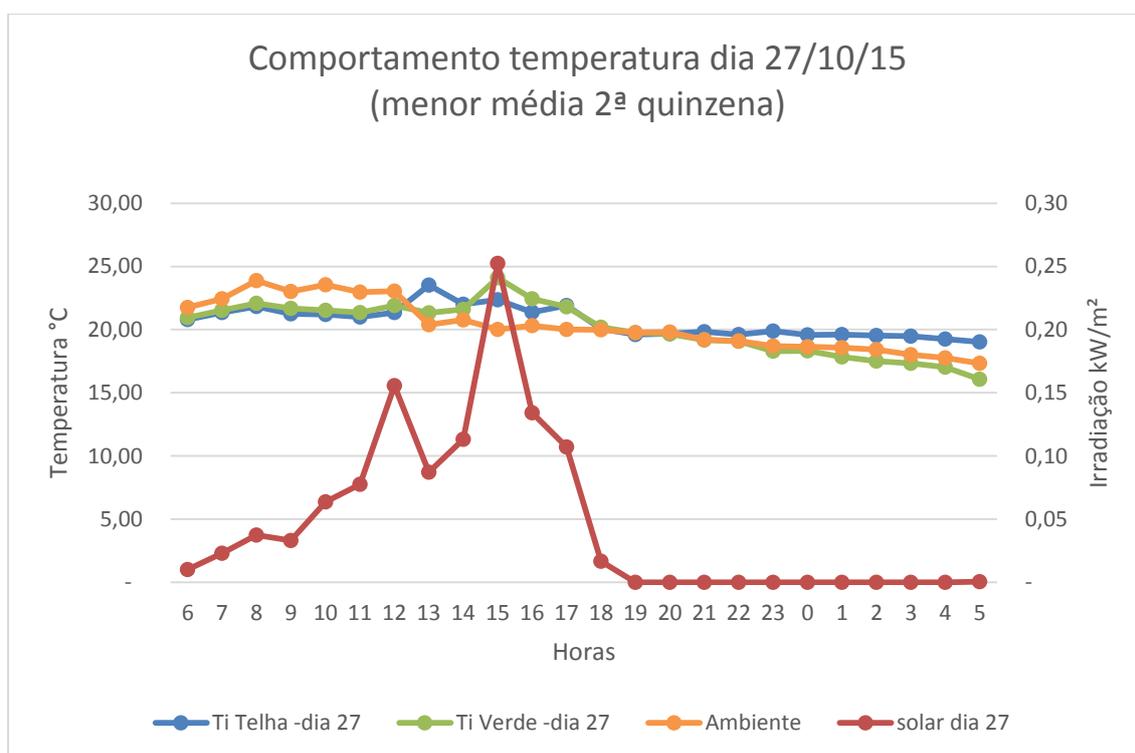


Fonte: autora, 2015.

A Figura 36 apresenta o comportamento térmico dos dois protótipos no dia 27/10/15 (dia com menor média de temperatura na 2ª quinzena: 20,30°C), no qual observou-se a alteração nos picos de temperatura às 13hrs no telhado convencional e às 15hrs no telhado verde, seguindo os preceitos das pesquisas de Sonne (2006).

Neste dia 27/10/15 teve-se média de temperatura de 20,11°C e UR do ar: 51% para o telhado verde, e 20,65°C e UR do ar: 83% para o telhado convencional, estando os dois com as temperaturas dentro da zona de conforto e UR do ar considerado confortável apenas para o telhado verde, segundo Olgay (1973). E o telhado verde teve um atraso térmico na transmissão de calor para o interior do ambiente quando comparado ao telhado convencional.

Figura 36: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 27/10/15.

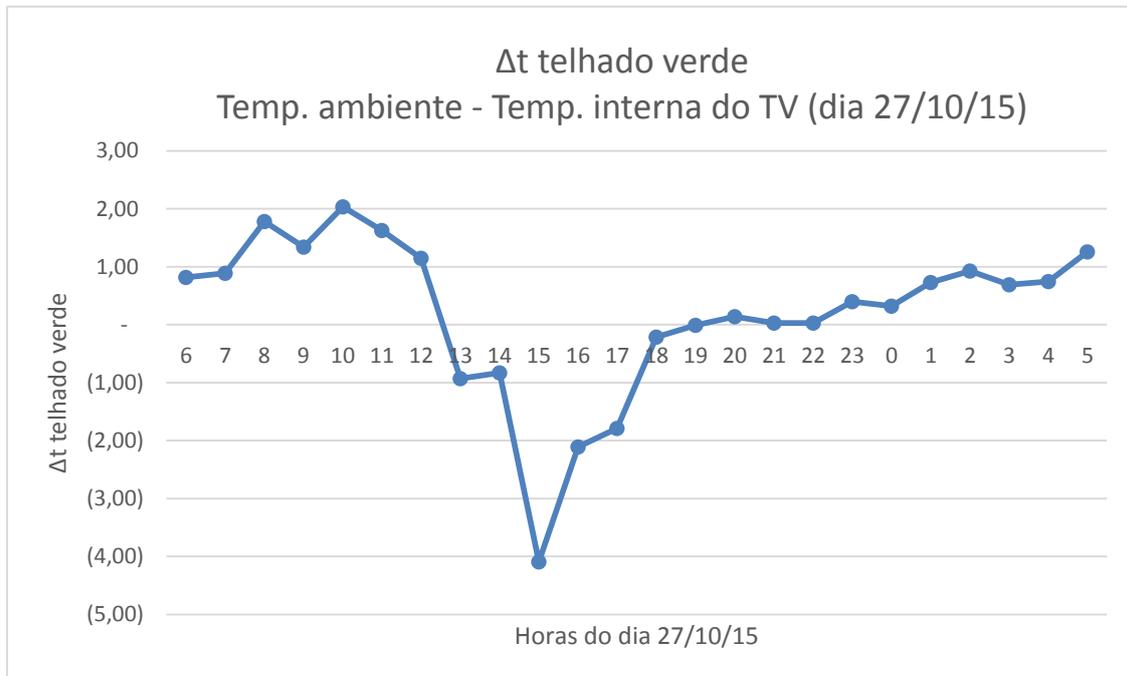


Fonte: autora, 2015.

Na Figura 37 tem-se o gráfico do $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado verde, onde apresentou-se os valores desta variação, os quais iniciam-se com valores positivos até aproximadamente às 12:30hrs, com temperatura ambiente externa maior que a temperatura interna do protótipo, posteriormente

há a inversão dos valores, com a temperatura interna maior que a externa, seguindo assim até as 18hrs, e alterando novamente a variação de temperatura, mantendo a temperatura interna mais baixa que a externa do ambiente.

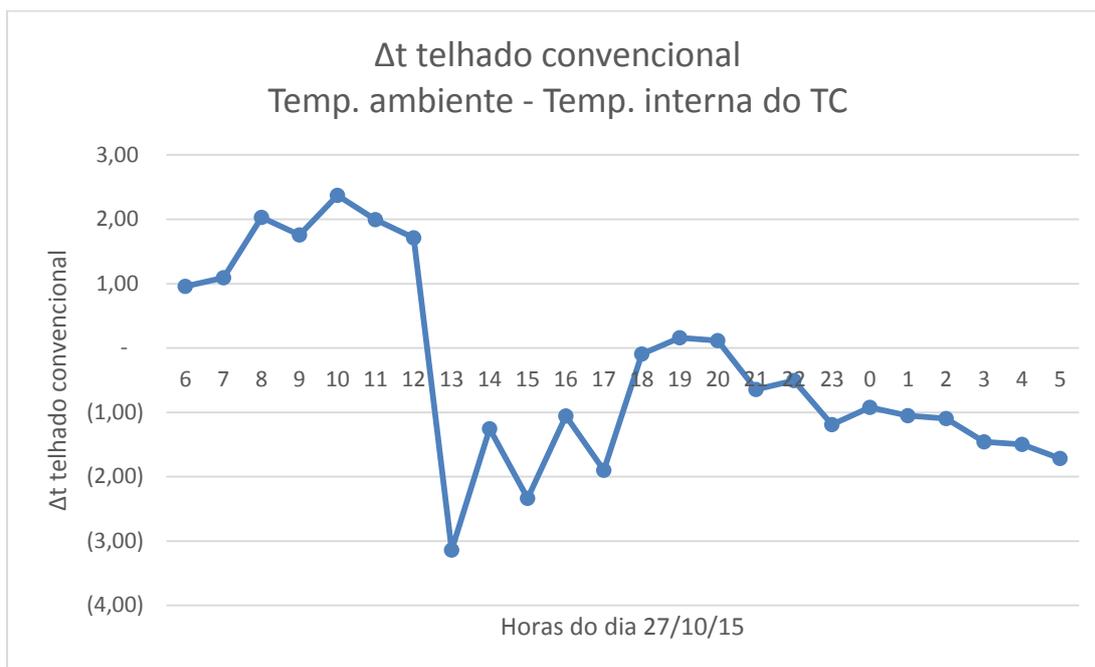
Figura 37: Variação da temperatura do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

A Figura 38 apresenta o gráfico de variação da temperatura do telhado convencional e da temperatura externa do ambiente ($\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do telhado convencional}$), o qual inicia o dia com temperaturas internas menores que a externa do ambiente, aproximadamente às 12:30hrs tem-se a inversão desta situação, com temperaturas internas maiores que a externa até as 18:00hrs, após este horário há a inversão das temperaturas, onde a temperatura interna mantém-se mais baixa que a externa até 20:00hrs, e finaliza o dia com temperaturas externas superiores à temperatura interna do protótipo.

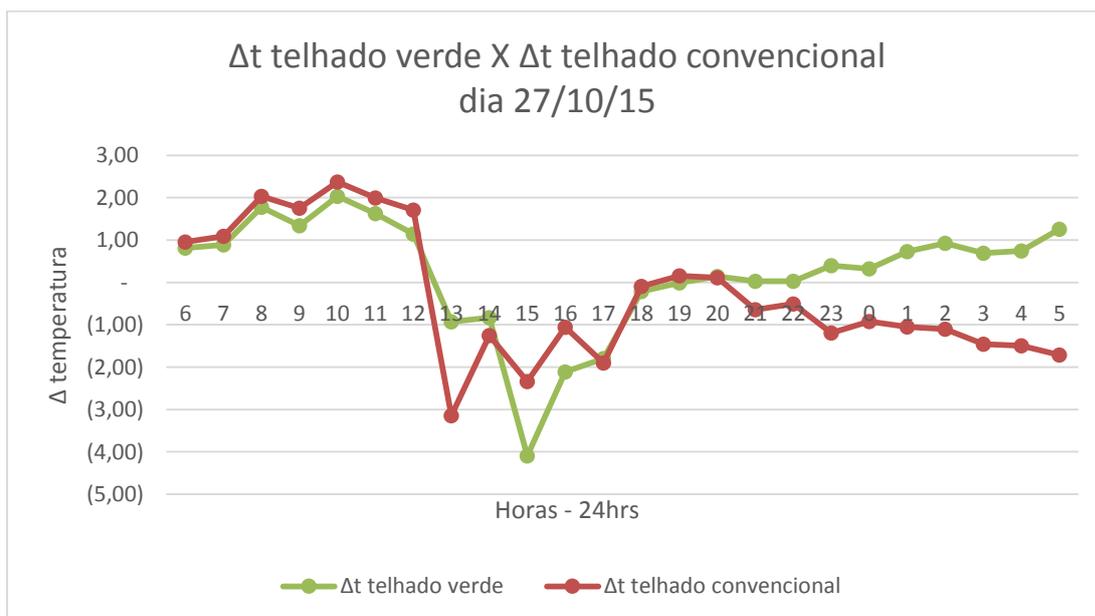
Figura 38: Variação da temperatura do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

As variações de temperatura acima apresentadas, mostram-se unidas na Figura 39, e observou-se que os picos negativos do telhado verde ocorrem posteriormente no telhado convencional.

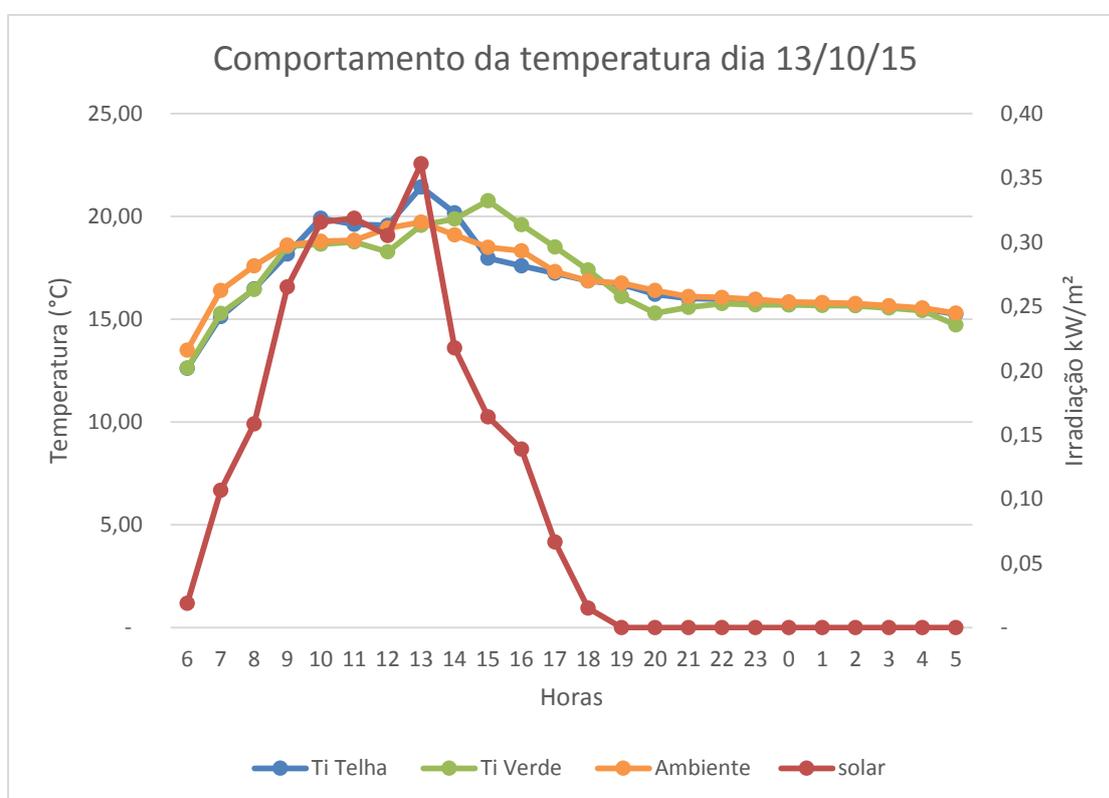
Figura 39: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

A seguir, fez-se as mesmas análises para um dia ensolarado sem a existência de nuvens ou parcialmente ensolarado, e observando o comportamento da irradiação solar no período de monitoramento, elegeu-se o dia 13/10/15, a ser apresentado na Figura 40, no qual observou-se picos de temperatura interna no telhado convencional às 13:00hrs, e no telhado verde às 15:00hrs. Teve média de temperatura ambiente de 17,01°C, UR do ar no telhado verde de 77% e UR do ar no telhado convencional de 92%.

Figura 40: gráfico com o comportamento da temperatura no dia 13/10/15.

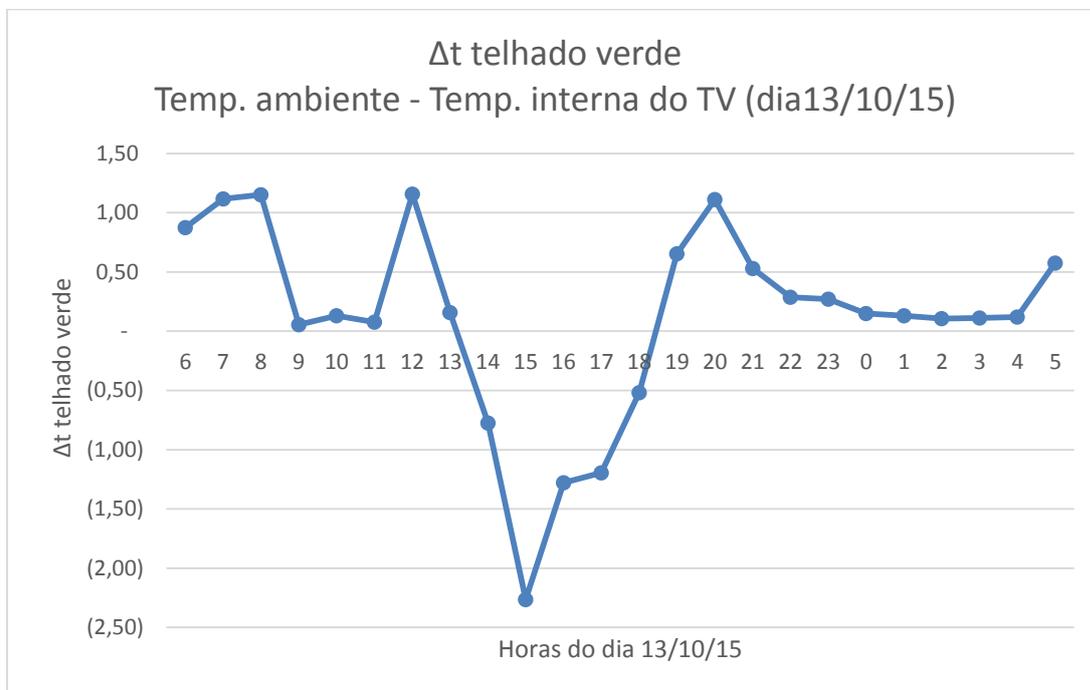


Fonte: autora, 2015.

A Figura 41 apresenta o gráfico do $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ do telhado verde, onde apresentou-se os valores desta variação, os quais iniciam-se com valores positivos até aproximadamente às 13hrs, com temperatura ambiente externa maior que a temperatura interna do protótipo, posteriormente há a inversão dos valores, com a temperatura interna maior que a externa, seguindo assim até aproximadamente às 18:30hrs, e alterando

novamente a variação de temperatura, mantendo a temperatura interna mais baixa que a externa do ambiente.

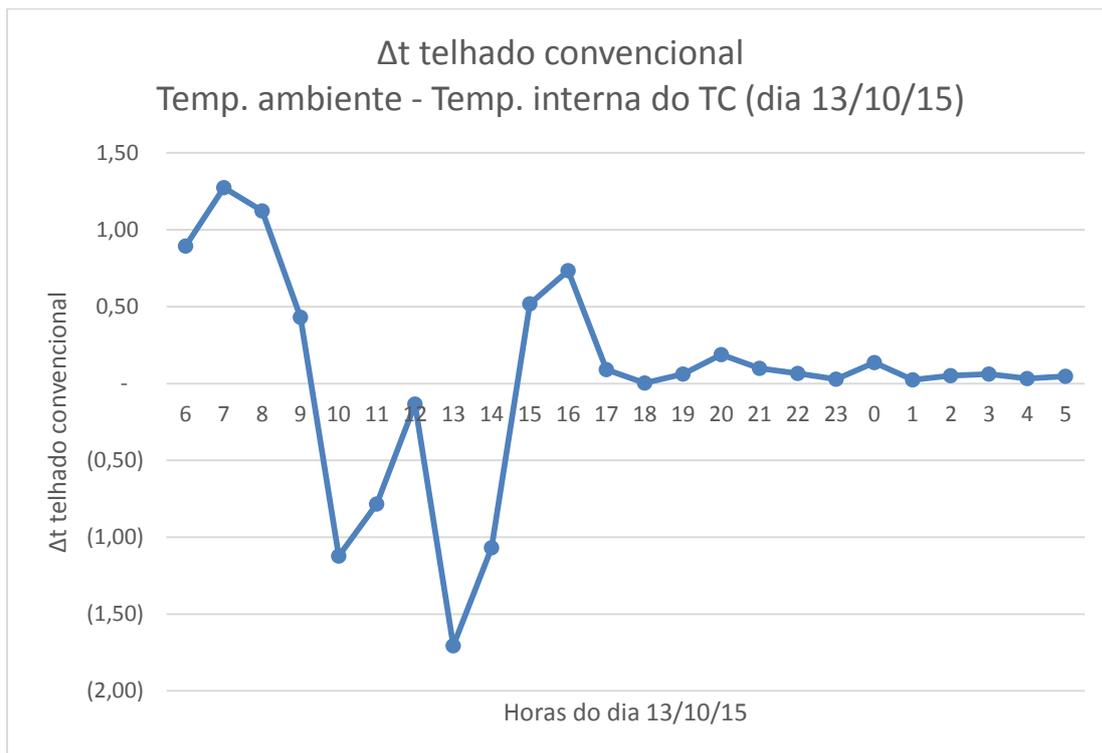
Figura 41: Variação da temperatura do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

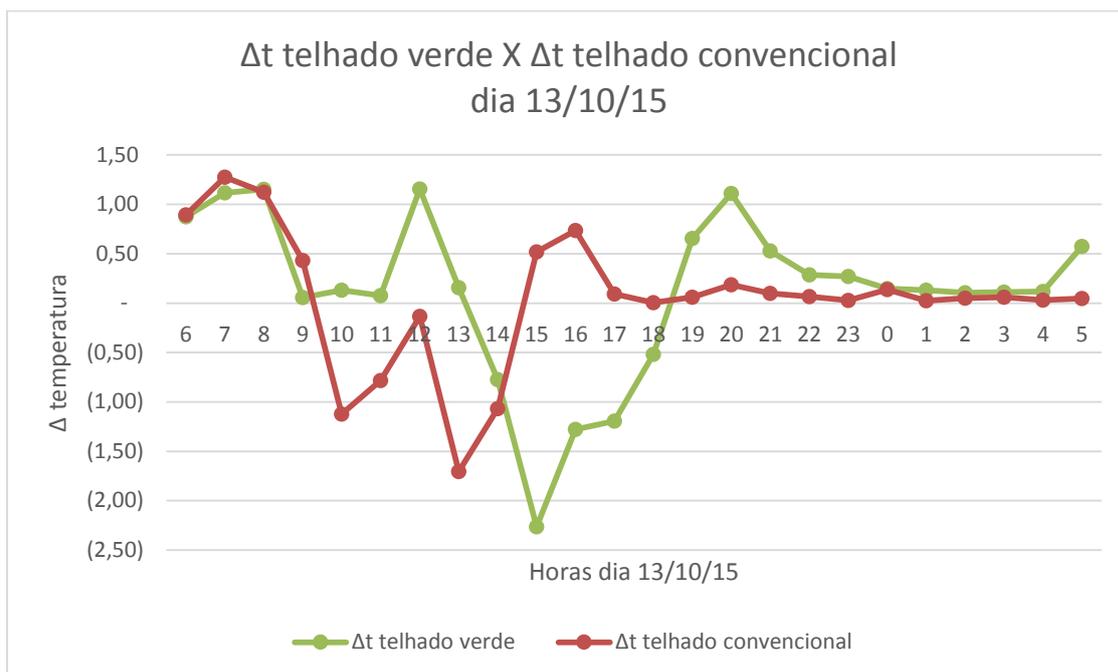
O gráfico de variação da temperatura do telhado convencional e da temperatura externa do ambiente ($\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do telhado convencional}$) é apresentado na Figura 42, o qual inicia o dia com temperaturas internas menores que a externa do ambiente, aproximadamente às 09:30hrs tem-se a inversão desta situação, com temperaturas internas maiores que a externa até as 14:30hrs, após este horário há a inversão das temperaturas, onde a temperatura interna mantém-se mais baixa que a externa até o final do dia monitorado.

Figura 42: Variação da temperatura do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

Na Figura 43 tem-se o comparativo da variação da temperatura do telhado verde e do telhado convencional, unindo as informações já apresentadas acima, onde observou-se que os pontos de picos negativos do telhado verde ocorreram posteriormente ao telhado convencional como nos demais dias observados, sendo que no telhado convencional teve-se a temperatura interna maior que a externa por 5hrs e no telhado verde por 4hrs.

Figura 43: comparativo do Δt do telhado verde e do telhado convencional.

Fonte: autora, 2015.

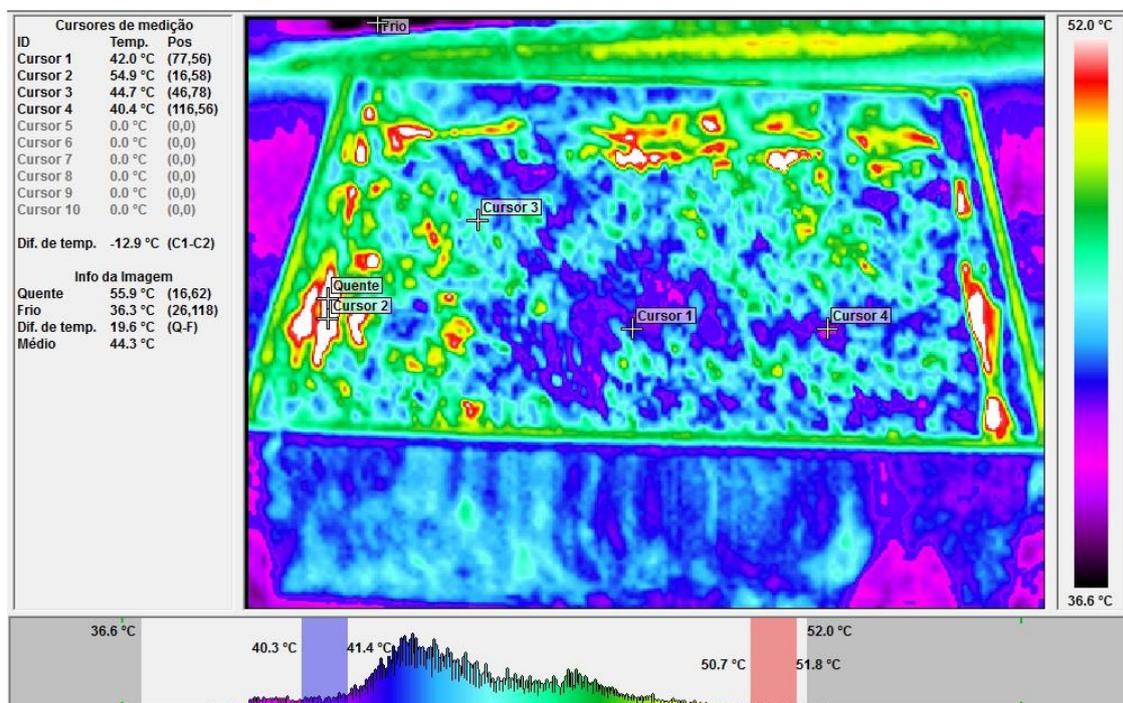
5.3 Comportamento da cobertura vegetal no telhado verde

Para apresentar o comportamento das temperaturas no telhado verde, além do sensor que monitorou a variação da temperatura na superfície da grama, também foram realizadas fotos no dia 16/10/2015 às 14:10hrs com a câmera termográfica modelo IRISYS 4000 Series Imager, apresentada na Figura 44, na qual tem-se 4 pontos de maior variação de temperatura, sendo o cursor 1: 42,0°C, cursor 2: 54,9°C, cursor 3: 44,7°C e o cursor 4: 40,4°C. Apresentou variação de 19,6°C entre as temperaturas de extensão visível, temperatura média de 44,3°C, ponto mais quente de 55,9°C e mais frio de 36,3°C. Observou-se que as temperaturas mais frias ficaram nas áreas onde a grama apresentava-se verde, diferentemente das áreas onde a grama estava mais seca, e este aumento de temperatura deve-se a não realização da evapotranspiração.

Como já exposto no item sobre a influência do telhado verde na temperatura do ambiente, Beatrice (2011) concluiu que solos de menor espessura são mais dependentes de cobertura vegetal para a minimização de seu aquecimento e que os solos de maior espessura o fazem com menor

dependência, e em seu experimento apontou o melhor desempenho em solos de 0,10m, embora não variasse seu comportamento térmico significativamente com o cultivo de outras três diferentes espécies. Sendo assim, para o experimento apresentado, manteve-se a mesma profundidade de substrato averiguada por Beatrice (2011), o qual averiguou 03 profundidades de substratos para análise do desenvolvimento da cobertura vegetal. Considerando esta pesquisa, não optou-se por outro tipo de cobertura vegetal, devido a não alteração no comportamento térmico também apresentada pela mesmo autor.

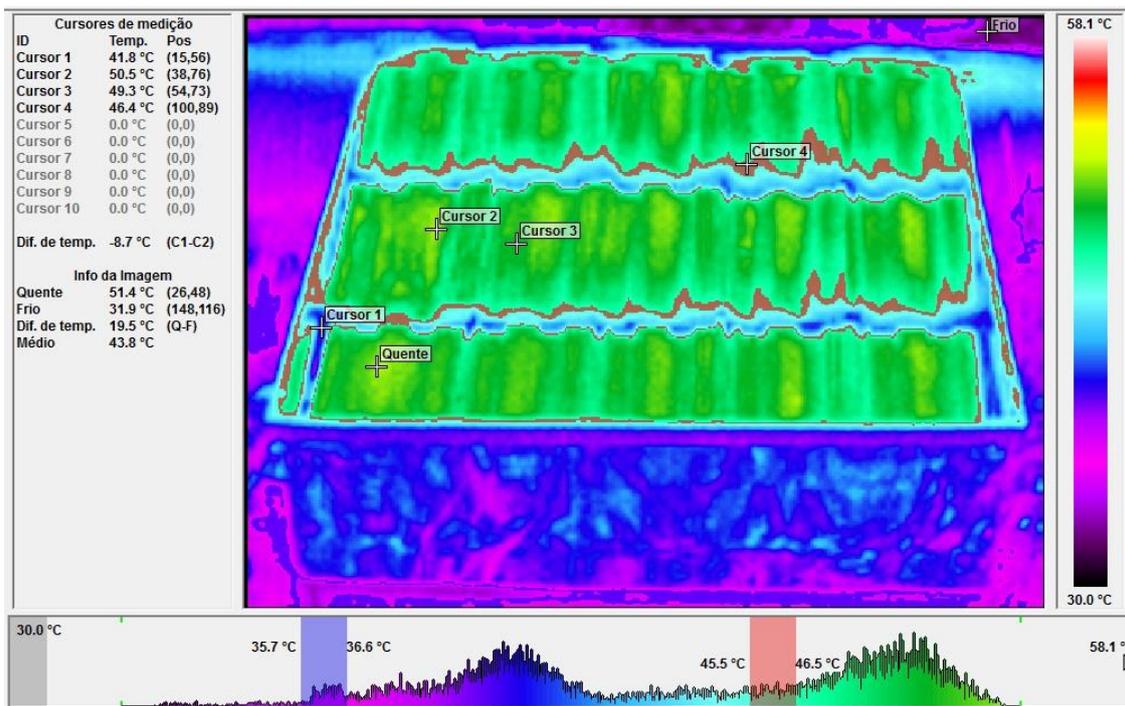
Figura 44: foto termográfica do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Para comparação do comportamento de temperaturas no telhado verde e no convencional, apresenta-se na Figura 45 a foto termográfica do telhado convencional, realizadas do mesmo dia 16/10/2015 às 14:24hrs, o qual tem no cursor 1: 41,8°C, cursor 2: 50,5°C, cursor 3: 49,3°C e no cursor 4: 46,4°C. Apresentou variação de 19,5°C entre as temperaturas de extensão visível, temperatura média de 43,8°C, ponto mais quente de 51,4°C e mais frio de 31,9°C. Observou-se que as temperaturas mais frias ficaram entre o encaixe das telhas, isso devido à passagem de ventilação entre as telhas.

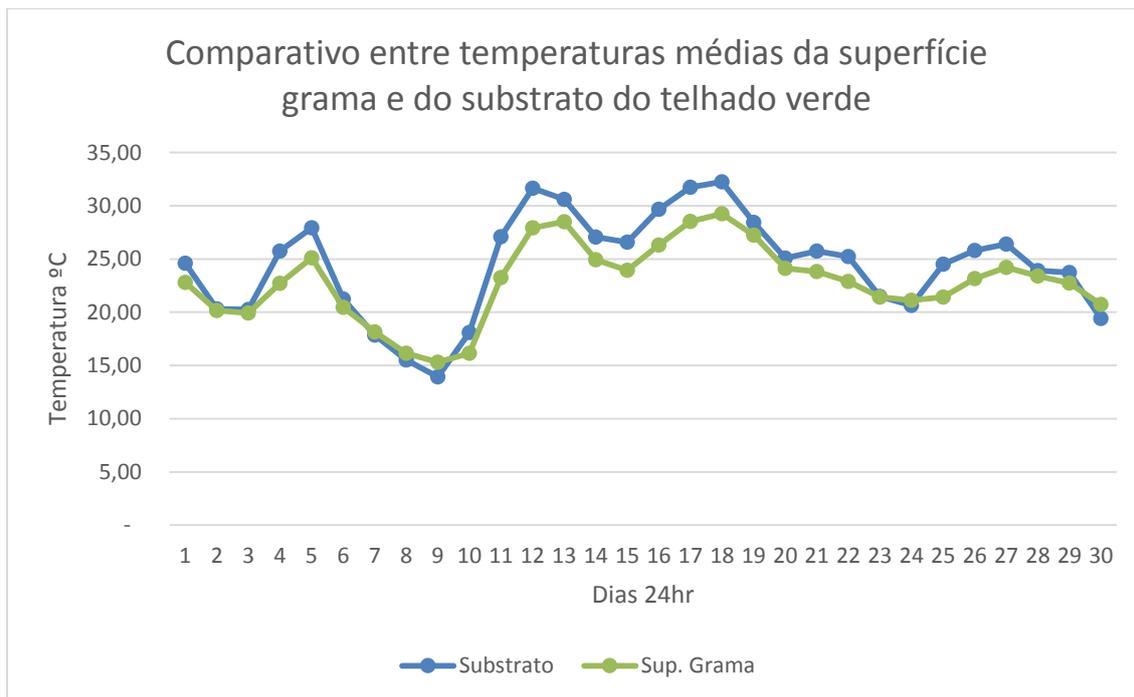
Figura 45: foto termográfica do telhado convencional.



Fonte: autora, 2015.

Considerando as diferenças de temperaturas apresentadas na foto tirada com a câmera termográfica do telhado verde, apresenta-se o gráfico da Figura 46 relacionando as temperaturas da superfície da grama e do substrato do telhado verde, o qual apresenta temperaturas médias da superfície da grama menores que as temperaturas do substrato, relacionado as pesquisas de Velazquez (*apud* ARAÚJO, 2007), onde segundo seus dados, o telhado verde trabalha como isolante térmico, devido à sua espessura e camadas que o compõem, agindo como uma barreira resistente na transmissão de energia.

Figura 46: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde.



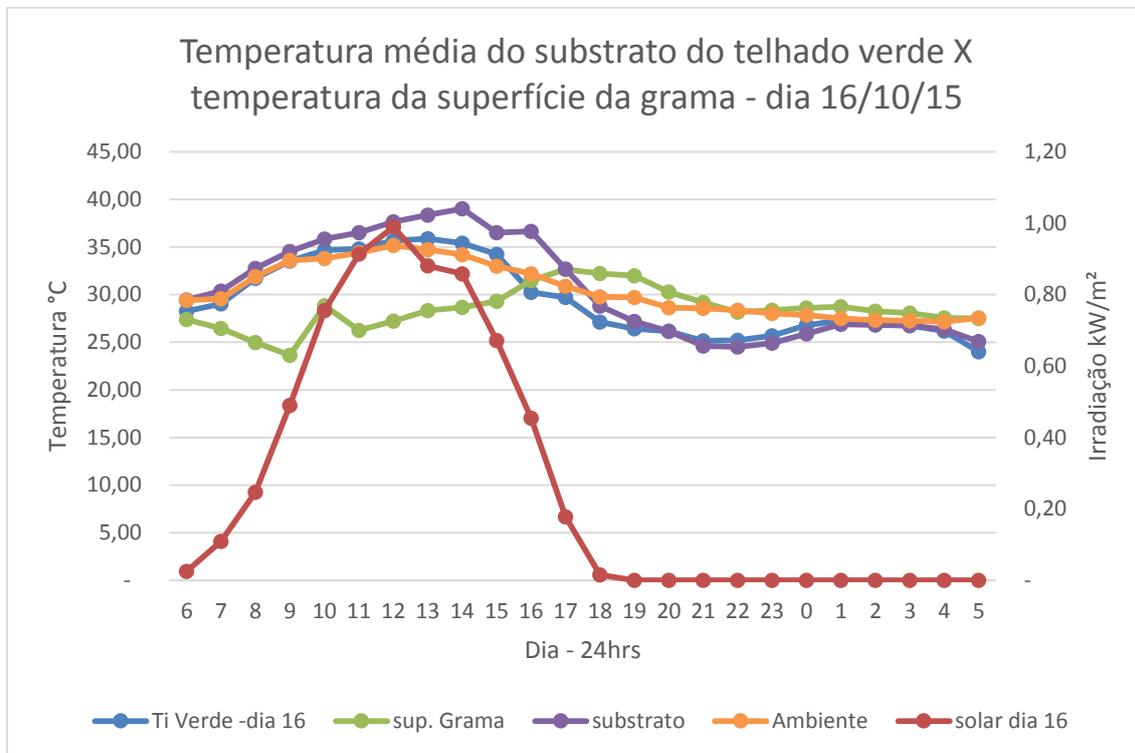
Fonte: autora, 2015.

Como exposto no item material e métodos, a diferença de irrigação ocorreu de duas formas, as quais interferiram no comportamento térmico da cobertura vegetal. Desta forma, os gráficos que apresentam estes resultados, foram feitos para os mesmos dias em que foram apresentados os dados para os dias com as temperaturas médias mais altas e mais baixas, conforme a Figura 47, onde o gráfico apresenta o comportamento térmico do telhado verde para o dia 16/10/15, onde observou-se que nos dias ensolarados, no qual a cobertura vegetal recebe radiação, as temperaturas se apresentaram mais baixas para a superfície da grama e mais altas para o substrato, que de acordo com Krusche *et. al* (1982), aproximadamente 27% é refletido, 60% é absorvido pelas plantas e pelo substrato através da evapotranspiração e 13% é transmitido para a base de suporte. Diferentemente dos dias nublados ou no período noturno, onde a temperatura da superfície da grama é maior que o substrato.

Sendo assim, tem-se que vegetação ainda mantém processos físicos e fisiológicos que contribuem para a redução da sensação de calor, por meio da

transpiração, sombreamento e absorção da radiação solar (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003; MODNA; VECCHIA, 2003).

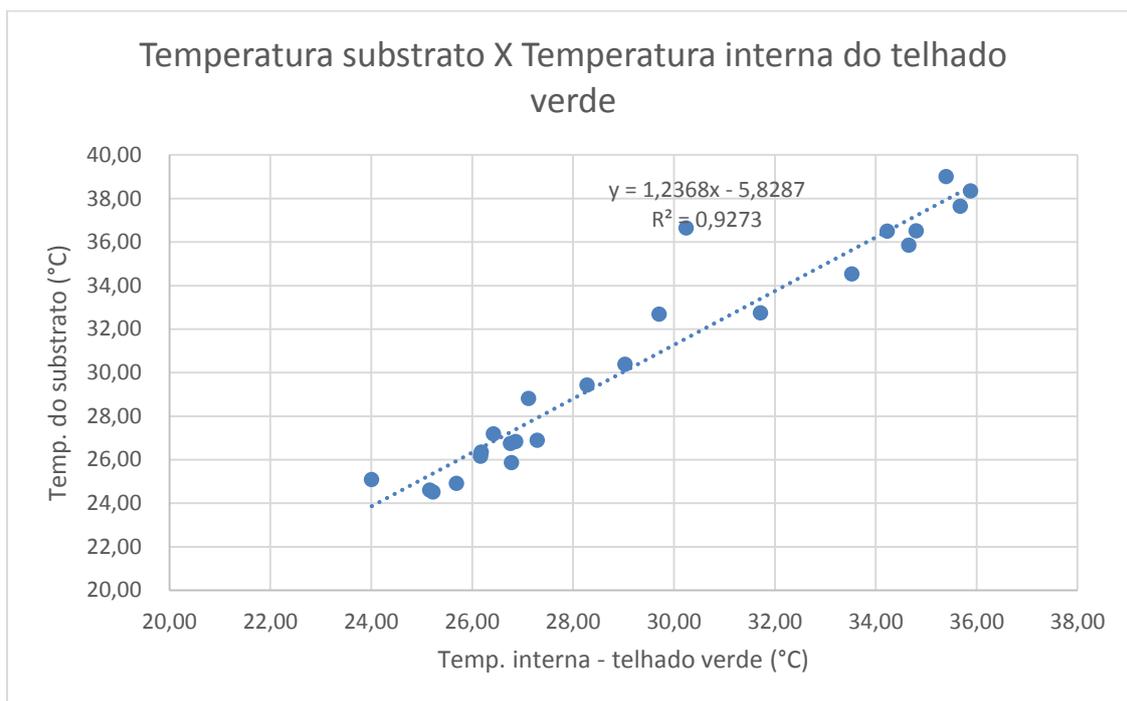
Figura 47: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 16/10/15.



Fonte: autora, 2015.

A Figura 48 apresenta a interação entre a temperatura do substrato e a temperatura interna do telhado verde, onde observou-se que a temperatura do substrato tem relação direta com a temperatura interna do ambiente, ou seja, quanto mais alta a temperatura do substrato, mais alta será a temperatura do ambiente interno respectivamente.

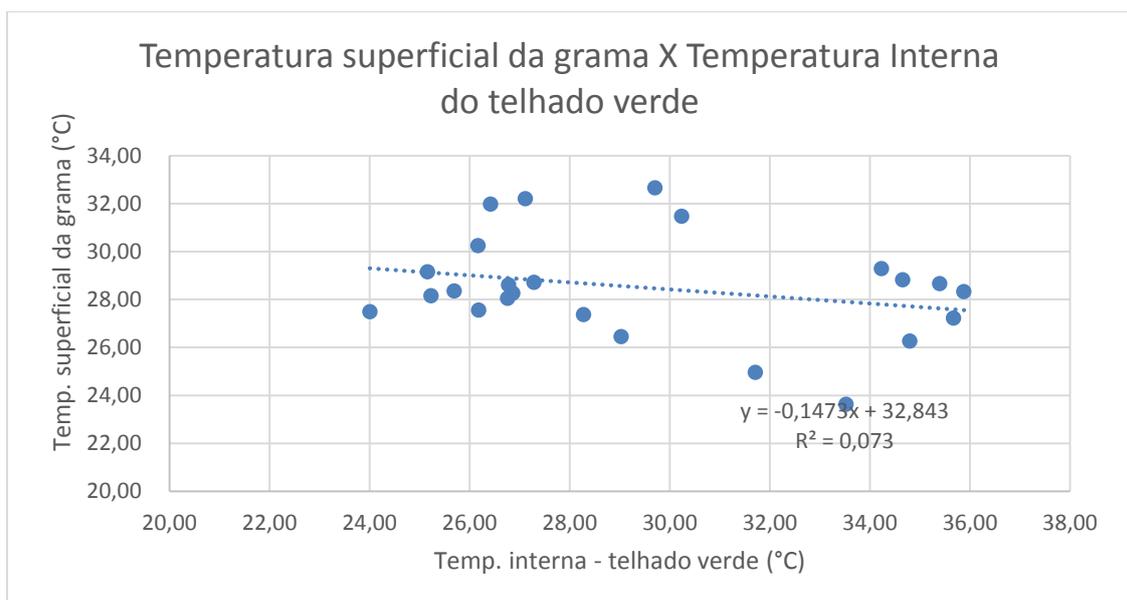
Figura 48: Interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

A mesma relação não se observou na Figura 49, onde tem-se a interação da temperatura superficial da grama e da temperatura interna do telhado verde, não tendo a cobertura vegetal influência direta na temperatura interna do protótipo.

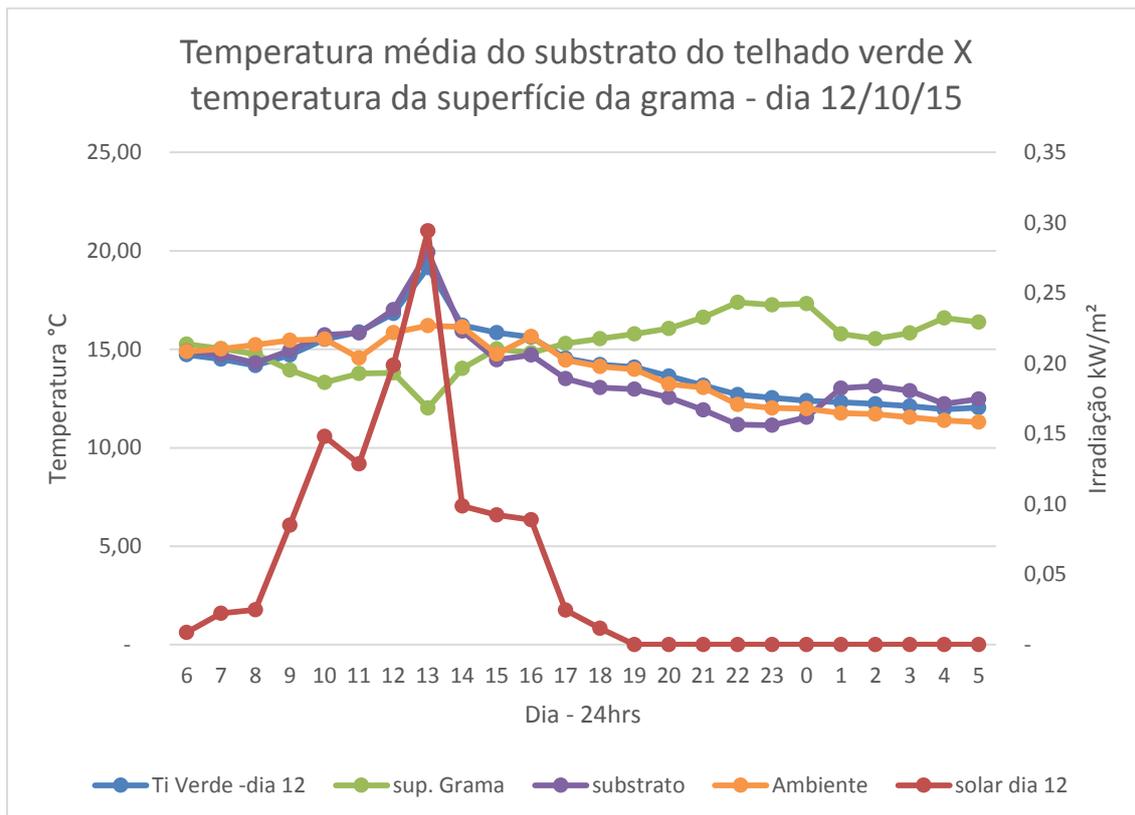
Figura 49: Interação entre temperatura superficial da grama e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

O gráfico comparativo entre as temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 12/10/15 (Figura 50), observa-se o mesmo comportamento do dia 16/10/15 para os dias ensolarados e para os dias nublados.

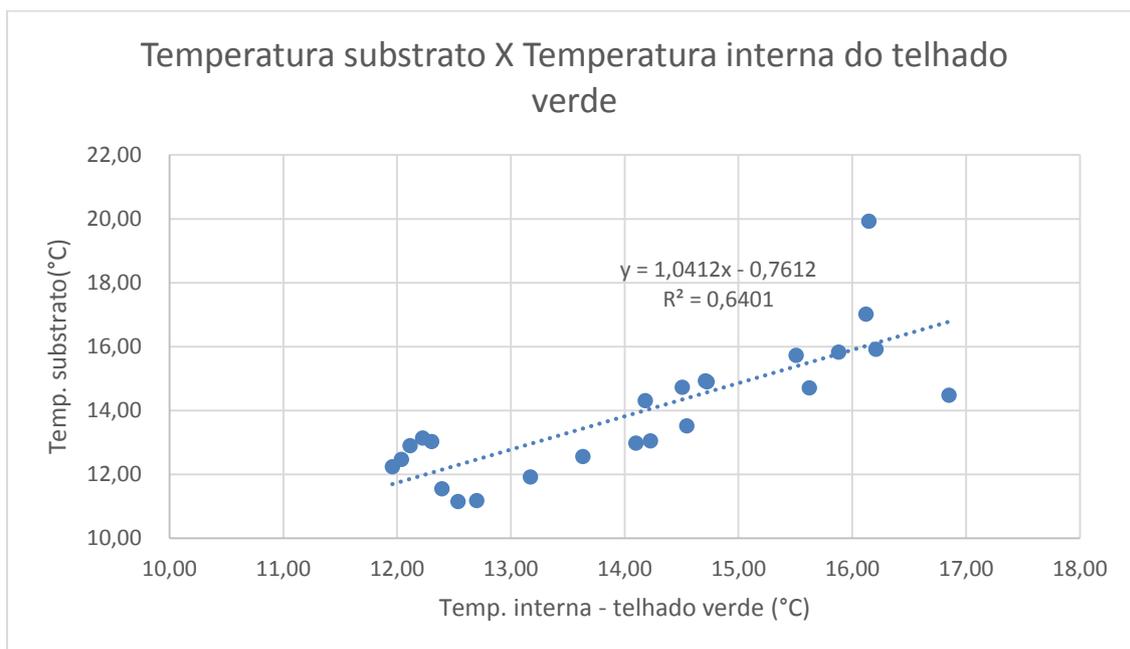
Figura 50: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 12/10/15.



Fonte: autora, 2015.

A Figura 51 apresenta a interação entre a temperatura do substrato e a temperatura interna do telhado verde para o dia 12/10/15, onde observou-se novamente que a temperatura do substrato tem relação direta com a temperatura interna do ambiente, tornando a temperatura interna mais alta conforme a sua também aumenta.

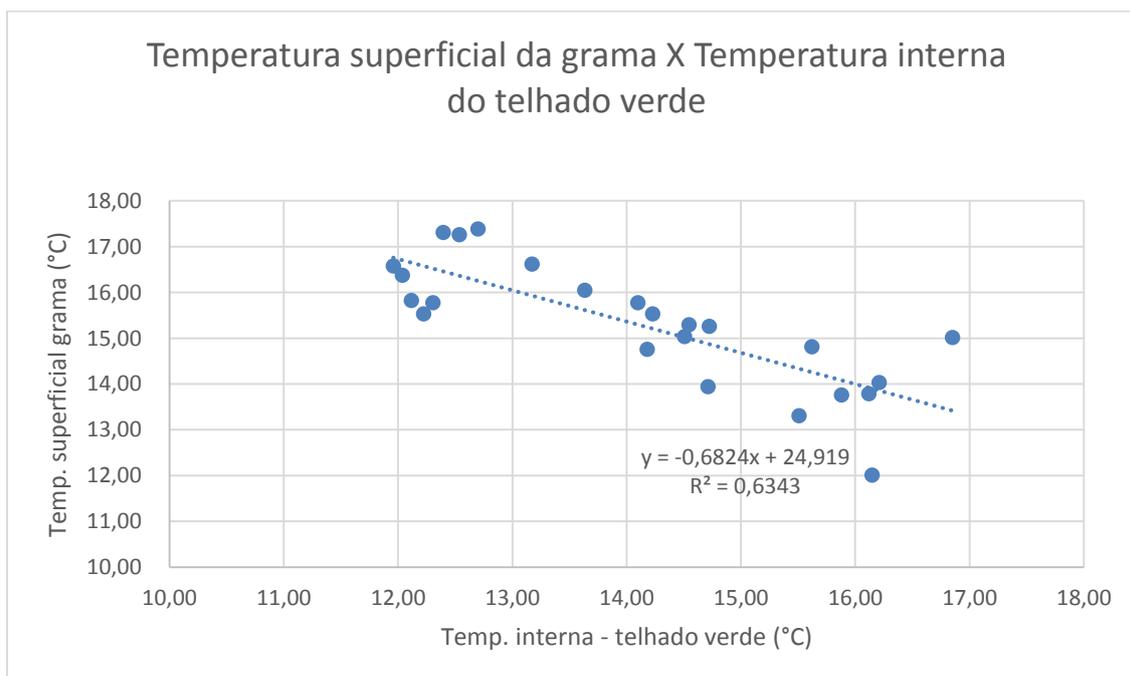
Figura 51: interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Relação contrária apresentada na Figura 52, onde tem-se a interação da temperatura superficial da grama e da temperatura interna do telhado verde, não influenciando diretamente na temperatura interna do protótipo.

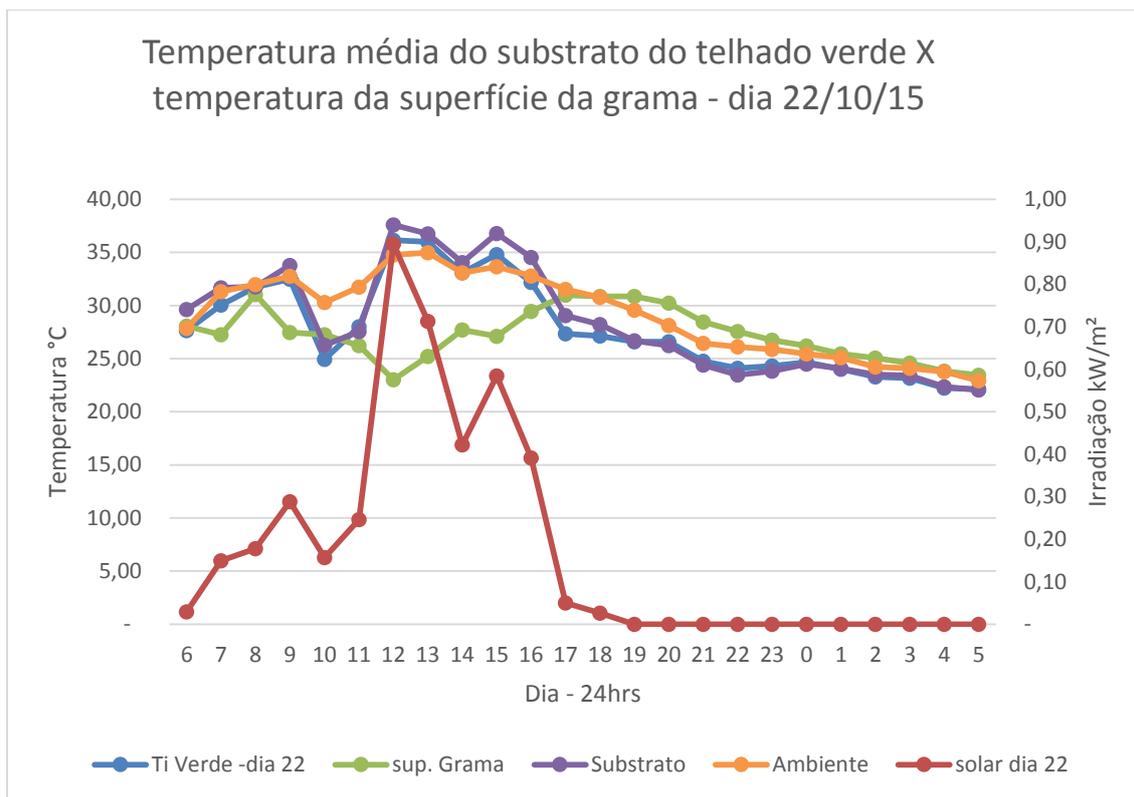
Figura 52: interação entre temperatura superficial da grama e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

O mesmo foi relacionado nos gráficos apresentados na Figura 53, onde apresenta-se o comparativo entre as temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde, retomando a afirmação de Krusche *et. al* (1982), para os dias ensolarados e para os dias nublados.

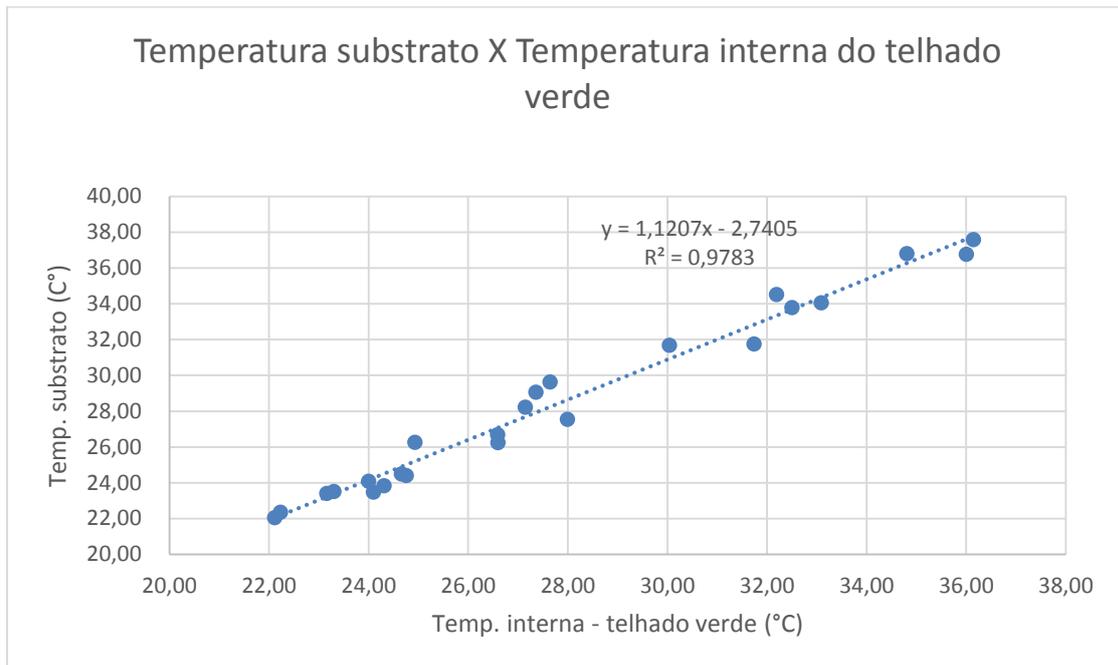
Figura 53: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 22/10/15.



Fonte: autora, 2015.

A interação entre a temperatura do substrato e a temperatura interna do telhado verde para o dia 22/10/15 apresenta-se na Figura 54, onde novamente a temperatura do substrato tem relação direta com a temperatura interna do ambiente, aumentando ou diminuindo conforme a sua também varia.

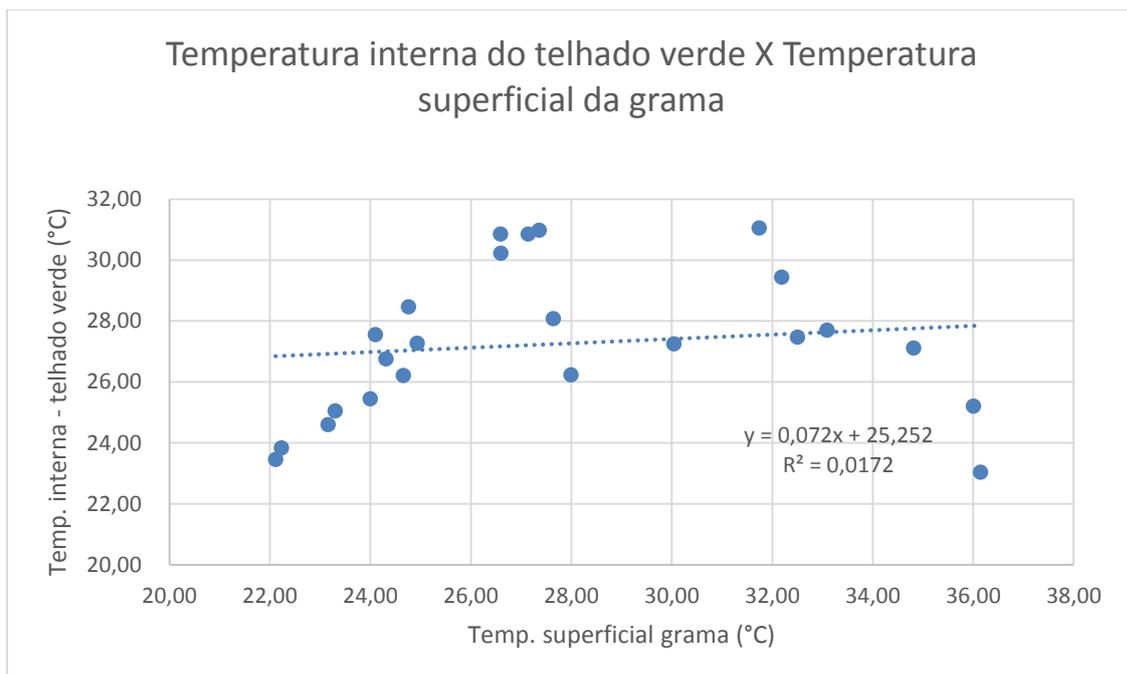
Figura 54: interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Interação a qual, não se confirma na Figura 55, onde a temperatura superficial da cobertura vegetal não interfere diretamente na temperatura interna do ambiente, como se observa pela equação e significância.

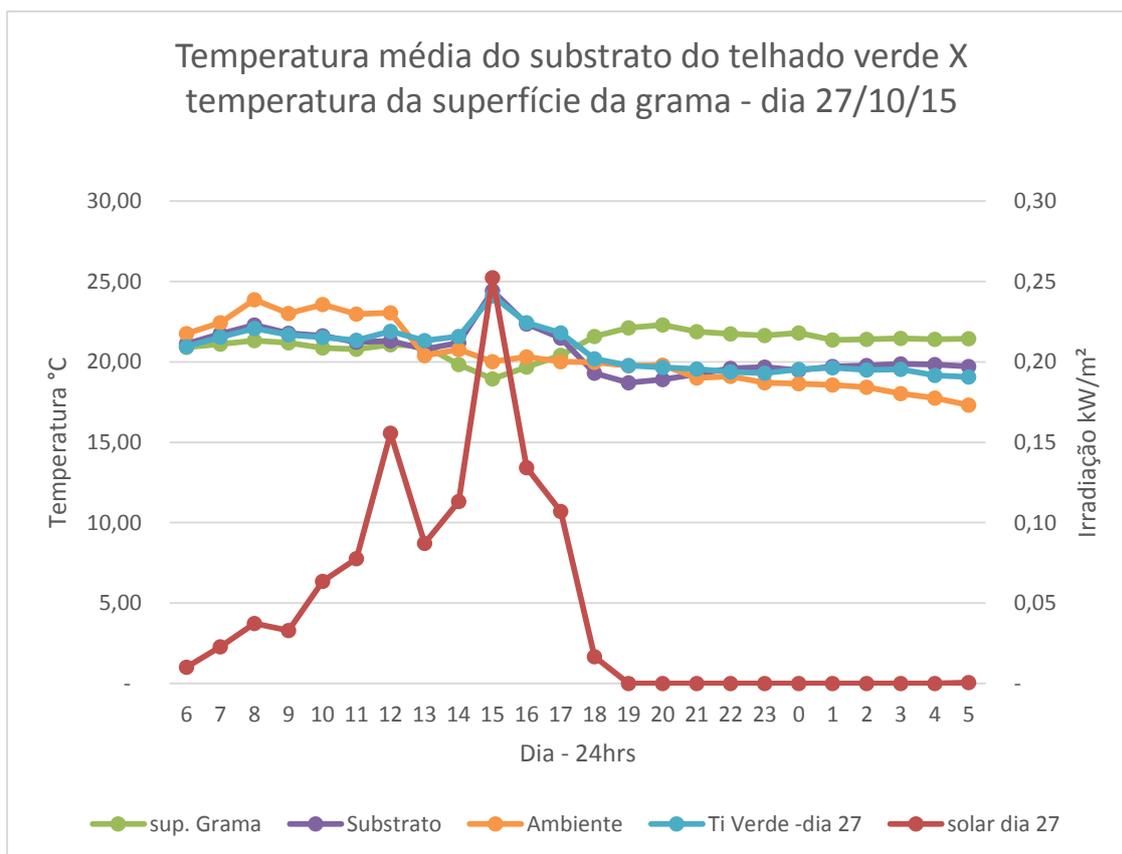
Figura 55: interação entre temperatura interna do telhado verde e temperatura superficial da grama.



Fonte: autora, 2015.

Para o dia 27/10/15 apresenta-se a Figura 56, a qual compara as temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde, onde observou-se o mesmo comportamento apresentado nos demais dias monitorados, conforme afirmam os autores Dimoudi e Nikolopoulou (2003), sobre os processos físicos e fisiológicos da cobertura vegetal.

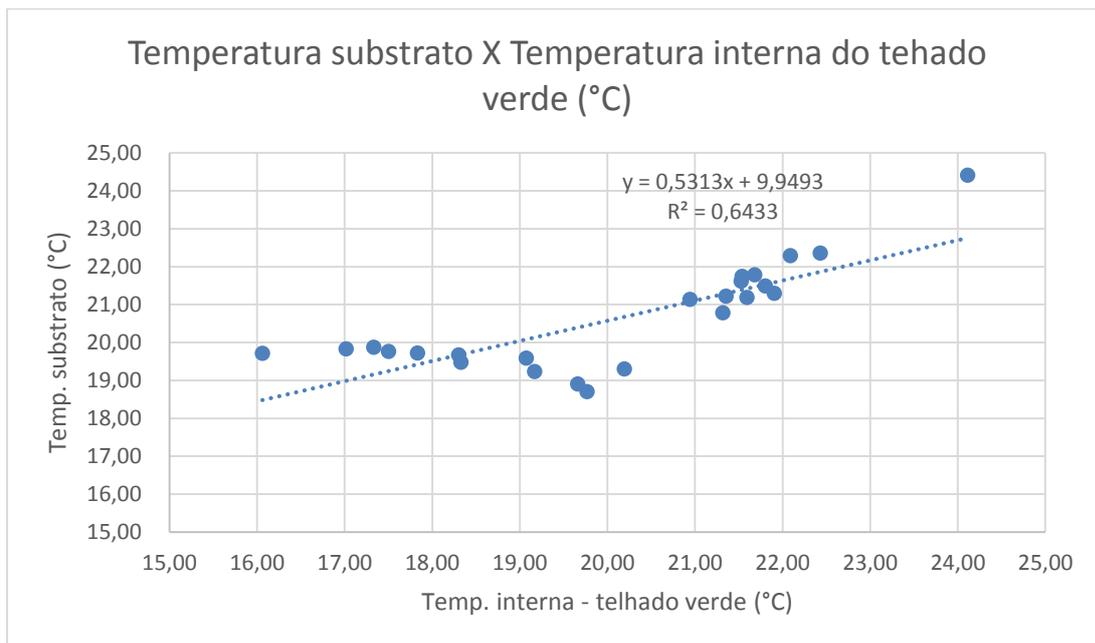
Figura 56: comparativo entre temperaturas médias da superfície da grama e do substrato do telhado verde para o dia 27/10/15.



Fonte: autora, 2015.

A interação entre a temperatura do substrato e a temperatura interna do telhado verde para o dia 27/10/15, é apresentada na Figura 57, e observou-se novamente que a temperatura do substrato tem relação direta com a temperatura interna do ambiente, tornando a temperatura interna mais alta conforme a sua também aumenta, havendo pontos discrepantes porém mantem-se crescente.

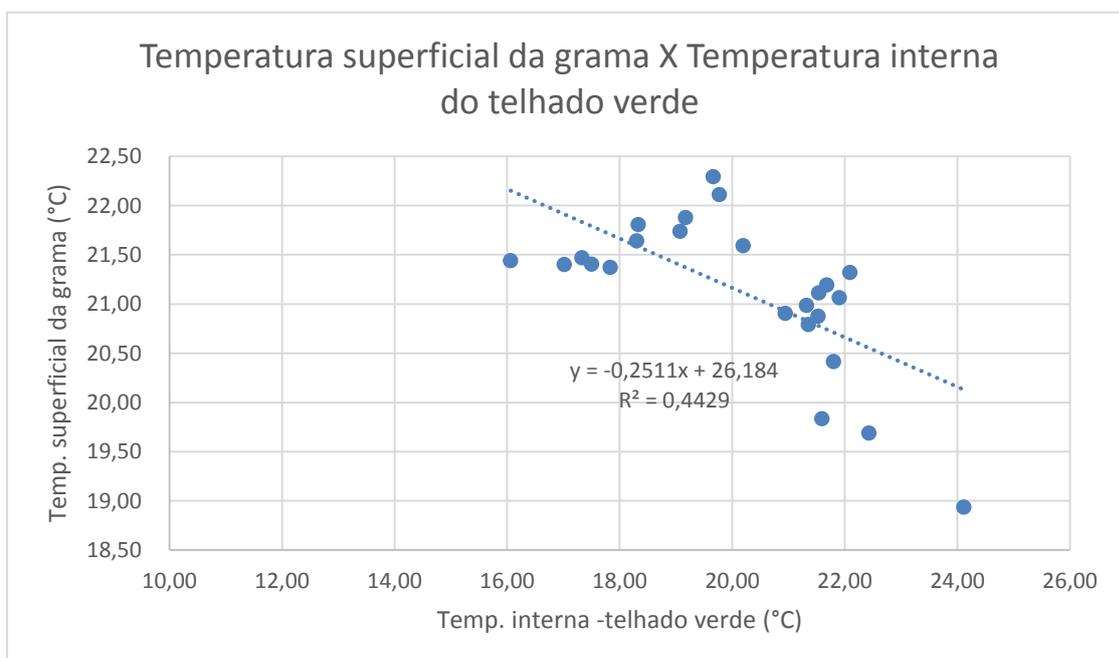
Figura 57: interação entre temperatura do substrato e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Na Figura 58 tem-se a interação entre a temperatura superficial da grama e a temperatura interna do telhado verde, a qual observa-se que não interfere diretamente na temperatura interna do ambiente.

Figura 58: interação entre temperatura superficial da grama e temperatura interna do telhado verde.



Fonte: autora, 2015.

Sendo assim, quando analisada a interação entre a temperatura do substrato e temperatura interna do TV, observou-se que a temp. do substrato tem relação direta com a temperatura interna do ambiente, ou seja, quanto mais alta a temp. do substrato adquirida pela irradiação solar, mais alta será a temperatura interna respectivamente. A mesma relação observou-se quando analisados os dados da interação entre a temperatura superficial da grama e a temperatura interna do TC para os dias mais quentes, quando a equação apresentou valores para R^2 iguais à 0,073 (16/10/15) e 0,01 (22/10/15), não tendo a cobertura vegetal influência direta na temp. interna do ambiente do protótipo. Já nos dias com médias de temp. externas menores e consequente irradiação menor, a temp. superficial da grama mostrou-se menos dependente da irradiação, obtendo-se valores para R^2 iguais à 0,634 (12/10/15) e 0,442 (27/10/15).

Com a apresentação dos resultados e discussões, pode-se observar, entre as variáveis monitoradas comuns aos dois protótipos, que a umidade relativa do ar pode determinar o conforto do indivíduo no ambiente, sendo a faixa considerada confortável entre 40% e 60%, e durante o monitoramento, observou-se que o telhado verde apresentou 7 dias dentro desta faixa, e o telhado convencional 4 dias.

O Δt do telhado verde - TV ($\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do telhado verde}$) apresentou variação média de 4,96°C, ou seja, a temperatura interna do TV ficou mais baixa que a temperatura externa do ambiente. E para o dia 22/10/15, o qual teve a maior média de temperatura ambiente externa: 35°C, a temperatura interna do TV apresentou valores médios de 30,51°C, ou seja, um $\Delta t = 4,49^\circ\text{C}$.

O mesmo verificou-se no telhado convencional – TC, o qual apresentou $\Delta t = 4,03^\circ\text{C}$ quando comparado à temperatura ambiente interna reduzindo 0,93°C \rightarrow (4,96°C do telhado verde – 4,03°C do telhado convencional), o que apontou novamente para a maior contribuição do TV para a diminuição da temperatura interna do protótipo.

O modo como os ambientes ganharam e perderam o calor armazenado nos ambientes foi diferente, tendo picos de temperatura. No telhado convencional (TC) os ganhos de calor aconteceram mais cedo (entre 10 e 12hrs) que o telhado verde (TV), assim como as suas perdas, porém o TV

demorou mais para ganhar ou transmitir o calor para o ambiente (entre 12 e 15hrs), porém quando diminuiu a temperatura interna, a mesma chegou próximo dos 24,0°C, enquanto que o TC à 26°C no dia 16/10/2015, evidenciando o atraso térmico no TV, promovido pela sua cobertura.

Da mesma forma ocorreu nos demais dias monitorados, uma vez que para os períodos mais quentes do ano deseja-se amenizar as temperaturas dos ambientes para que o ser humano desenvolva suas atividades gastando menos energia e com mais conforto. Conclui-se desta forma, que para o período monitorado, o TV não apresentou significativas quedas de temperatura para o período do dia, ente 6hrs às 17:55hrs, porém à noite apresentou-se mais confortável para o usuário. Tal observação pode ser mais adequada para ambientes com pouca permanência durante o dia e maior permanência durante a noite, ou ainda ser utilizado para regiões onde tem-se temperaturas mais amenas e deseja-se o aporte e concentração de calor para o dia, onde tem-se ambientes mais aquecidos para este período na permanência de pessoas no ambiente, e ausência dos mesmos usuários à noite, à exemplo os ambientes comerciais.

6 Conclusões

O trabalho contribui para as pesquisas sobre Eficiência Energética, com foco na racionalização da energia, a fim de verificar o conforto térmico em ambientes com telhado verde comparando-o com um convencional. O conhecimento destes níveis de conforto térmico são relevantes quando deseja-se ter ambientes com temperaturas mais agradáveis ao ser humano e à realização de suas atividades, podendo influenciar na diminuição de medidas passivas de refrigeração, ou seja, a utilização de ar condicionado.

Influenciado pelo fenômeno do El Niño, o mais forte desde o ano de 1997/1998, o período de coleta de dados pode servir como base para futuros estudos, os quais podem reproduzir os experimentos para um ano sem a influência de tal fenômeno, obtendo dados que venham a confirmar ou negar as conclusões obtidas neste trabalho, as quais julgo ser de suma importância para os estudos com foco em eficiência energética justamente por Cascavel – Pr estar em uma região de transição de clima tropical para o temperado.

Com o intuito de reproduzir um ambiente interno sob interferência das variáveis climáticas externas aos protótipos, as dimensões dos mesmos foram realizadas com base em 1m² (um metro quadrado), o que possibilita a obtenção de um valor que pode ser aplicado à áreas maiores construídas.

Este trabalho, bem como as pesquisas internacionais sobre telhados verdes, apresentou a variação das temperaturas internas do ambiente coberto pelo telhado verde e de um convencional, e suas perdas para o meio ao longo das horas do dia e da noite, bem como a influência do substrato do telhado verde na temperatura interna do ambiente.

Quanto ao comportamento da cobertura vegetal e do substrato, temos que quanto maior for a cobertura verde e menor a área de solo exposta à irradiação solar, menor será a temperatura do substrato, contribuindo para a diminuição da temperatura a ser transmitida ao ambiente, e a temperatura do substrato se mostrou maior que as demais variáveis monitoradas no TV (temperatura superficial da grama, temp. interna e temperatura do ambiente

externo) até aproximadamente as 18hrs, enquanto recebia irradiação solar, e após este horário perdeu calor, diminuindo sua temperatura com ausência da irradiação solar.

Quando analisada a interação entre a temperatura do substrato e temperatura interna do TV, observou-se que a temp. do substrato tem relação direta com a temperatura interna do ambiente, ou seja, quanto mais alta a temp. do substrato adquirida pela irradiação solar, mais alta será a temperatura interna respectivamente. Porém quando analisados os dados da interação entre a temperatura superficial da grama e a temperatura interna do TC para os dias mais quentes a cobertura vegetal não influencia diretamente na temp. interna do ambiente do protótipo, já nos dias com médias de temp. externas menores e conseqüente irradiação menor, a temp. superficial da grama mostrou-se menos dependente da irradiação.

Quanto à rega diferenciada, não se observou diferença nas temperaturas internas e nas temperaturas de substrato, podendo interferir no desenvolvimento da cobertura vegetal o qual não foi o foco do trabalho, podendo ser realizado em um novo experimento voltado para a análise do desenvolvimento da cobertura vegetal para os telhados verdes.

A pesquisa ainda contribui para a realização de futuros trabalhos com foco na eficiência energética, os quais podem experimentar novos tipos de substrato para verificar a influência do mesmo na temperatura interna do ambiente, diferentes tipos de cobertura vegetal ou ainda ser realizado em diferentes estações ou períodos do ano, sob a influência do El Niño ou não.

Referências bibliográficas

ANDRADE, Suely Ferraz de. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. Dissertação de mestrado. UFSC, 1997, Santa Catarina.

ARAÚJO, Sidney Rocha de. **As funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal. Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

BEATRICE, Caio Cury. **A avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011.125f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CANTOR, Steven L. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos**. Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro, 1997.

COELHO, Maria Francisca Pinheiro; TAPAJÓS, Luziele Maria de Souza; RODRIGUES, Monica. **Políticas Sociais para o desenvolvimento**. Simpósio Internacional sobre Desenvolvimento Social. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, UNESCO, 2010.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simas. **Em busca de uma arquitetura sustentável**. Rio de Janeiro, Ed. Revan, 2ª ed., 2011.

DIMOUDI, A. NIKOLOPOULOU, M. **Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits**. Energy and Buildings. v.35, p.69-76, 2003.

DUNNETT, Nigel; KINGSBURY, Noel. **Planting Green Roofs and Living Walls**. Portland: Timber Press, 2008.

EPE. MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional – BEN 2014**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>> Acesso em: 26 de outubro de 2014.

EREC, Sven Teske, Greenpeace Internacional; e Arthouros Zervos, Christine Lins e Josche Muth, Conselho Europeu de Energia Renovável. **Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**. São Paulo, Ed. Pigma, 2010.

FERREIRA, Buarque de Holanda. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Positivo – Didáticos. 4ed., 2009.

FRIEDRICH, Rainer and Peter Bickel. **Externalities of Energy**. Institut für energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung – IER Universität Stuttgart, Germany, 2005.

FROTA, Anésia Barro; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1999. 3ed.

GALINKIN, Maurício; BLEY JR. Cícero. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2ª ed. rev. - Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009.

GIVONI, B. **Climate and Architecture**. 2º ed. London: Applied Science, 1976 (reprinted 1981). Architectural Science Series.

GOLÇALVES, Joana C. S., DUARTE, Denise H. S. **Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, Porto Alegre. Vol.6 nº4, 2006.

GRIMM, Alice Marlene. **Meteorologia Básica – Notas de aula: Prof. Alice Marlene Grimm. Primeira versão eletrônica – setembro 1999.** Departamento de física UFPR. Disciplina Básica da Universidade Federal do Paraná. <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-5.html>> Acesso em: 28 de dezembro de 2015.

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética; **O que é eficiência energética?** Disponível em: <http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia#o_que_eh> Acesso em: 30 de Outubro de 2013.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná.** Curitiba: IAPAR, 1994.

KOHLER, M.; SCHIMIDT, M.; LAAR, M. **Roof Gardens in Brazil.** World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

KIBERT, Charles J. **Sustainable Construction. Green Building design and Delivery.** John Wiley e Sons, Inc. Hoboken. New Jersey, 2008.

KRUSCHE, P.; ALTHAUS, D.; GABRIEL, I. **Ökologisches Bauen. Herausgegeben vom Umweltbundesamt.** Berlin, Bauvelang GmbH, 1982.

LAGO, André Aranha Corrêa do. **Estocolmo, Rio e Joanesburgo: O Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas.** Instituto Rio Branco (IRBr), Brasília, 2006.

LEITÃO, Sérgio. **Energia, um debate vital para o país.** Estud. av. Vol. 27 no. 77. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142013000100016> Acesso em: 10 de Janeiro de 2016.

LIU, K.; BASKARAN, B., **Thermal performance of green roofs through field evaluation**. National Research Council Canada (NRC), Proceeding for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show, Chicago, IL., mai. pp. 1-10, 2003.

MASCARELLO, Vera Lúcia Dutra. **Princípios Bioclimáticos e Princípios de Arquitetura Moderna: Evidências no Edifício Hospitalar**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

MIGUEL, Jorge Marão Carnielo. **A casa**. Curitiba, Imprensa Oficial, 2003.

MINKE, Gernot. **Tectos verdes. Planificación, ejecución, censejos prácticos**. Editorial Fin de Siglo, Montevideo, Uruguay, 2004.

MODNA, D.; VECCHIA, F.; **Calor e Áreas verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, Sp**. In: VII Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e III Conferência Latino-Americana Sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações (COTEDI), Curitiba, Pr. 661-667, 2003.

NIEVA, Antonio BañoGuía; POZO, Alberto Vigi-Escalera del. **Guia de construcción sostenible**. Espana: Instituto Sindical do Trabajo, Paralelo Edición: 2005.

NRCA, National Ruffing Contractors Association (EUA) – **NRCA Green Roof Systems Manual**. 2007. Disponível em: < <http://www.nrca.net/>> Acesso em: 01 de Junho de 2015.

OLGYAY, V. **Design with climate – Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton University Press, New Jersey, 1963.

OLGYAY, V. **Design with climate**. Princeton University Press, New Jersey, 1973.

OLIVEIRA, Eric Watson Netto de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 86f. Dissertação (mestrado Engenharia Ambiental) – faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PEGORIM, Josélia. Quando o El Niño vai terminar? 2015. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/noticia/2015/11/19/quando-o-el-nino-vai-terminar--0786>> Acesso em: 10 de Janeiro de 2016.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS-REES, Stephanie. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 2 ed. Tradução Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROMERO, Marcelo de Andrade. **O Peso das Decisões Arquitetônicas no Consumo de Energia Elétrica em Edifícios de Escritórios**. NUTAU'98 – Arquitetura e Urbanismo: Tecnologias para o Século XXI. São Paulo: Anais, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP, 1998.

ROMERO, Marcelo de Andrade. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000.

SÁ, Marcos Morais. **Ornamentos e modernismo**. Rio de Janeiro: Racco, 2005.

SAADATIAN, Omidreza; SOPIAN, K.; SALLEH E.; LIM, C.H.; RIFFAT, Safa; SAADATIAN, Elham; TOUDESCHI, Arash; SULAIMAN ,M.Y. **A review of energy aspects of green roofs**. Revista Elsevier, 2013.

SCHUNCK, Eberhard; OSTER, Hans Jochen; BARTHEL, Ranier; KIESSL, Kurt. **Roof Construction Manual. Pitched Roofs**. Birkhauser: Edition Detail, 2003.

SERRA, R. **Clima, Lugar y Arquitectura**. Madrid: Ciemat, 1989.

SNODGRASS, Edmund C.; McINTYRE, Linda. **The Green Roof Manual. A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance.** Timber Press:Inc, 2010.

SONNE, J. **Evaluating Green Roof Energy Performance.** ASHRAE Journal, Florida. Florida, v.48, 2006.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; SOUZA, Cássia Rafaela Bum. **A utilização de elementos da arquitetura bioclimática visando a racionalização de energia em edificações rurais.** Publicado em: Revista Thème et Scientia, 2014.

VECCHIA, Francisco Arthur da Silva. **Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVLs) aplicada aos climas tropicais.** In: PLURIS 2005 – 1º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL, 2005, São Carlos. Anais do PLURIS 2005 – 1º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL.

VELAZQUEZ, L. S. **Organic greenroof architecture: sustainable design for the new millennium.** Environmental Quality Management, Hoboken, vol.14, nº4, Summer, 2005.

YANNAS, S., MALDONADO, E. eds. **PASCOOL handbook – Designing for summer comfort.** Architectural Association Graduate School. Londres, 1995. Cap. 4: Thermal Inertia.

YIN, Robert K. **Case study research: Design and methods.** Thousand Oaks, CA: Sage, 3 ed. ,2003.

WONG, N. H.; CHEN, Y. ONG, C. L.; SAI, A. **Investigation of termal benefits of rooftop garden in the tropical enviroment.** Building and Enviroment. v. 38, n. 2, 2003.