



CARLA FERNANDA BARBOSA TEIXEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS DE
FIBROCIMENTO TRATADAS COM REVESTIMENTOS
BRANCOS E SUBMETIDAS À ASPERSÃO DE ÁGUA**

**CAMPINAS
2013**



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

CARLA FERNANDA BARBOSA TEIXEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS DE
FIBROCIMENTO TRATADAS COM REVESTIMENTOS
BRANCOS E SUBMETIDAS À ASPERSÃO DE ÁGUA**

ORIENTADORA: PROF^a DR^a LUCILA CHEBEL LABAKI

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Doutor em Arquitetura,
Tecnologia e Cidade, na área de concentração Arquitetura, Tecnologia e Cidade.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELA ALUNA CARLA FERNANDA BARBOSA
TEIXEIRA E ORIENTADO PELA PROFA. DRA. LUCILA CHEBEL
LABAKI.

ASSINATURA DO ORIENTADOR(A)

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

T735a Teixeira, Carla Fernanda Barbosa, 1977-
Análise do desempenho térmico de telhas de fibrocimento tratadas com revestimentos brancos e submetidas à aspersão de água / Carla Fernanda Barbosa Teixeira. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Lucila Chebel Labaki.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Refletância. 2. Conforto térmico. 3. Eficiência energética. 4. Telhados - Resfriamentos. 5. Água - Uso - Aspectos ambientais. I. Labaki, Lucila Chebel, 1943-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Analysis thermal performance of fiber cement tiles treated with white coatings and submitted to water spraying

Palavras-chave em inglês:

Reflectance

Thermal confort

Energy efficiency

Roofs - Colds

Water - Use - Environmental aspects

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Lucila Chebel Labaki [Orientador]

Fernando Simon Westphal

João Roberto Gomes de Faria

Eduvaldo Paulo Sichieri

Racine Tadeu de Araújo Prado

Data de defesa: 05-06-2013

Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

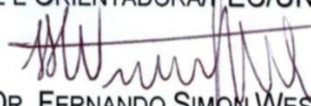
**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO TRATADAS COM
REVESTIMENTOS BRANCOS E SUBMETIDAS À ASPERSÃO DE ÁGUA**

CARLA FERNANDA BARBOSA TEIXEIRA


TESE DE DOUTORADO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA, CONSTITUÍDA POR:



PROF.ª DR.ª LUCILA CHEBEL LABAKI
PRESIDENTE E ORIENTADORA/FEC/UNICAMP



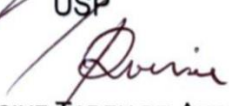
PROF. DR. FERNANDO SIMON WESTPHAL
UFSC



PROF. DR. JOÃO ROBERTO GOMES DE FARIA
UNESP



PROF. DR. EDUVALDO PAULO SICHIERI
USP



PROF. DR. RACINE TADEU DE ARAÚJO PRADO
USP

CAMPINAS, 05 DE JUNHO DE 2013

RESUMO

A busca por materiais, tecnologias ou meios que tornem as edificações mais eficientes energeticamente é uma meta de pesquisadores, educadores e projetistas não só no Brasil, mas também no mundo. O uso de cores claras em coberturas tem sido bastante estudado como estratégia de resfriamento para climas quentes. Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho térmico de acabamentos de cor branca em coberturas e estimar o consumo de energia para um ambiente com cobertura branca. Adicionado ao emprego de acabamentos refletivos, empregou-se a aspersão de água pluvial sobre os acabamentos empregados. A caracterização do desempenho de acabamentos de tinta na cor branca requisitou a realização de ensaios para determinar as características dos acabamentos nas superfícies das telhas: emissividade, refletância solar e absorção de água aspergida. Para tanto, a revisão bibliográfica do assunto foi necessária para investigar metodologias aplicadas em pesquisas realizadas no mundo. Em telhas de fibrocimento foram aplicadas tintas imobiliárias comuns (de diferentes composições químicas, porém de mesma cor branca) associadas à aspersão de água e expostas a intempéries ambientais. Temperaturas superficiais internas das telhas e variáveis meteorológicas foram coletadas e analisadas, conjuntamente com dados dos ensaios de refletância solar, emissividade térmica e absorção de água na superfície das telhas de fibrocimento. Os resultados para a técnica refletiva de acabamentos de cor clara comprovaram as expectativas, no entanto, quando esta técnica foi associada à aspersão de água nas superfícies, os resultados foram otimizados. Esses resultados ilustram a necessidade da atenção na especificação do tipo de acabamento branco. Estimou-se, através de simulação térmica, a influência do acabamento branco no consumo de energia anual de um ambiente. O propósito deste trabalho é contribuir com informações adicionais em relação ao acabamento de cor branca, atenuando as temperaturas da cobertura de uma edificação, como demonstrar que o emprego de água pluvial pode atenuar o volume escoado pelas vias na estação chuvosa.

Palavras-chaves: Refletância solar, Cobertura, Conforto térmico, Eficiência energética, Aspersão de água pluvial.

ABSTRACT

The search for materials, technologies and ways that can get constructions more energy efficient has been a concern of researches, educators and designers not only in Brazil, but also in the world. The use of light colors on roofing has been studied a lot; like cooling strategy for hot climates. The aim of this work is to analyze thermal performance of white coatings on roofing and to estimate energy savings in a room with white coating on roofing. Evaporative cooling, added to reflective cooling, was used through rain-water spraying on coating surfaces. Some testing on coatings as thermal emissivity, solar reflectance and absorption of sprayed water were requested for characterization of coatings thermal performance. In consequence of that literature review related to these themes was necessary to investigate methodologies applied in researches which have been done in the world. Commercial and ordinary paintings (of different chemical compositions, but with same color: white) were applied on fiber cement tiles in association to water spraying in weather conditions. Inside-surface temperatures and meteorological data were collected and analyzed together with solar reflectance, thermal emissivity and water absorption by tile coatings. Results of reflective technique proved expectations and illustrated that some attention is requested to choose the kind of white painting. However, when these coatings received water spraying on surfaces, they got the best results. The white coatings influences were considered through an annual thermal simulation energy saving. This work has the purpose to contribute with existing additional information in relation to white painting available, in order to get less roofing temperatures as well as to show that the rain water usage could be a tool for decreasing drained water on streets in rainy season.

Key-Words: Solar reflectance, Roofing, Thermal comfort, Energy efficiency, Rain water spraying.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	2
1.2. OBJETIVO.....	3
1.3. ESTRUTURA.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	8
2.1.1 Normatização e legislação em eficiência energética.....	10
2.1.2 Algumas ferramentas de avaliação energética	17
2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	23
2.3 COBERTURAS E MATERIAIS EFICIENTES	27
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
3. METODOLOGIA.....	37
3.1 SÍTIO	38
3.2 MATERIAIS	38
3.3 MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	41
3.3.1 Fase campus: bancadas	44
3.3.2 Fase residência	49
3.3.3 Caracterização dos acabamentos nas telhas.....	53
3.3.4 Estimativa de consumo energético.....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	62
4.2 DIAS DE SOL	66
4.3 DIAS DE SOL E ASPERSÃO DE ÁGUA	69
4.4 DIAS DE CHUVA.....	73
4.5 ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	77
4.6 TRATAMENTO DOS DADOS	78
5. CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS	87
APÊNDICE A.....	97
APÊNDICE B.....	103

*À MEMÓRIA DE FRANCISCA FERNANDES BARBOSA - MULHER SIMPLES E ESPIRITO
GENEROSO – PELO SEU AMOR DE MÃE E AVÓ.*

AGRADECIMENTOS

***À FUNDAÇÃO DE AMPARO E PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP
CONCESSÃO DA BOLSA DE DOUTORADO DR (2007/08221-5) E DO BEPE
(2012/06704-7); AO CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E
TECNOLÓGICO – CNPQ PELA CONCESSÃO DO EDITAL UNIVERSAL – C, E À
COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES
PELA CONCESSÃO DO PDEE (2277-11-5).***

*MEUS AGRADECIMENTOS A TODOS QUE EM AÇÕES OU PENSAMENTOS
CONTRIBUÍRAM PARA ESTE CICLO E EM ESPECIAL:*

À LUCILA C. LABAKI PELA ORIENTAÇÃO, APOIO E SUPORTE NOS MOMENTOS DIFÍCEIS.

*AO PROFESSOR ANDREAS WAGNER PELA OPORTUNIDADE DE ADQUIRIR
CONHECIMENTO: ACADÊMICO E PRA VIDA.*

*AOS AMIGOS E TÉCNICOS DO LACAF, DANIEL G. CELENTE E OBADIAS P. SILVA JR.,
PELA PACIÊNCIA, COMPREENSÃO E COOPERAÇÃO NA EXECUÇÃO DA PESQUISA.*

*AO ENGENHEIRO ALBERTO FONTOLAN E TODA A EQUIPE TÉCNICA DA FEC PELO
SUPORTE OPERACIONAL E LOGÍSTICO.*

*AO INSTITUO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC POR FORNECER DADOS
METEOROLÓGICOS.*

À COLEGA DOUTORANDA ANA PAULA WERLE PELOS ENSAIOS REALIZADOS NA USP.

*À AMIGA ERICA E SUAS FAMÍLIAS, RODRIGUES E STEIGLEDER, PELO APOIO EM TERRAS
GERMÂNICAS.*

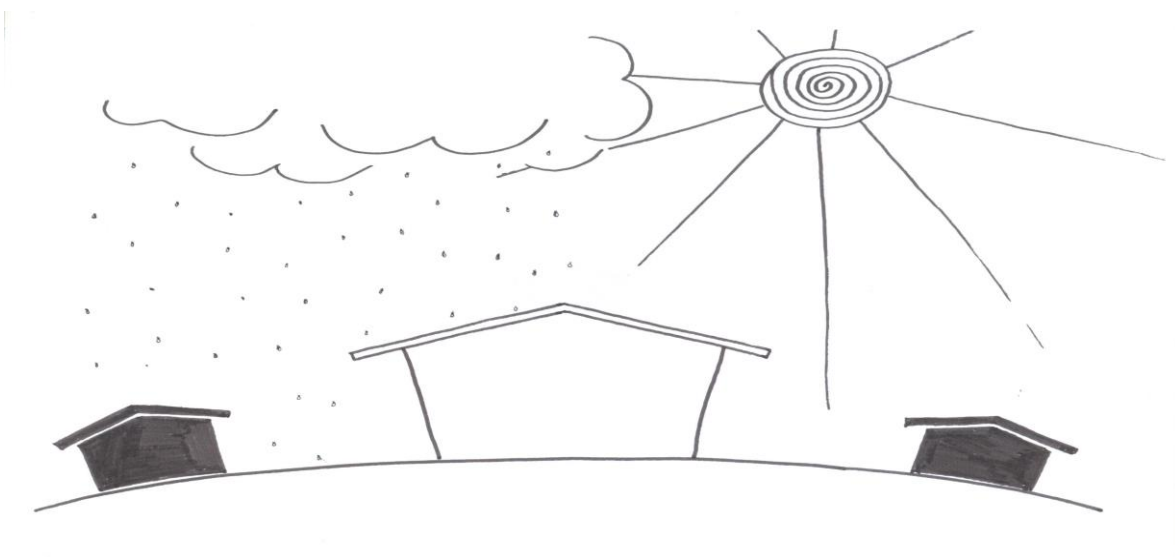
À “TEACHER” E AMIGA VERA LÚCIA MERES PELO SUPORTE (IN ENGLISH) E PELO APOIO.

*À AMIGA LOYDE V. ABREU-HARBICH POR DIVIDIR EXPERIÊNCIAS, CONHECIMENTO E
VIAGENS ACADÊMICAS.*

*...”NÃO IMPORTA: QUE A IGNORÂNCIA NOS APEDREJE; QUE A INJÚRIA NOS APONTE AO
DESCRÉDITO; QUE OS OBSTÁCULOS SE MULTIPLIQUEM, COMPLICANDO-NOS A JORNADA;
QUE A MUDANÇA DE OUTREM NOS RELEGUE AO ABANDONO, ... (EMMANUEL)”*

SONHE, ACREDITE, LUTE E PERSISTA!

1. INTRODUÇÃO



1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Construções mais eficientes é a meta almejada por projetistas, construtores e governantes no mundo. Não é mais possível pensar em projetar edificações com novos padrões estéticos, novas tecnologias, em novos contextos (de organização espacial, de organização social, de inserção de novas mídias) com os antigos padrões de consumo energético. Se antigamente, por exemplo, o dormitório era o espaço do repouso dos membros da casa, hoje ele é uma célula de sobrevivência para cada membro, quase independente do resto da casa. A nova maneira de estar no mundo do homem, conectado as novas mídias e tecnologia, reflete também na qualidade projetual dos espaços públicos: necessitam, primeiramente, terem rede *wi-fi*, além de tomadas elétricas extras. Este novo cenário implica em um número maior de equipamentos e acessórios, relacionados a cada indivíduo. E cada um destes itens agrega ao seu uso energias: elétrica ou de baterias para funcionar, cuja ação acarreta geração do calor dissipado no ambiente.

Adicionado a isso, nos setores de serviço, comércio e industrial, têm-se uma predominância de edificações mais herméticas. Sejam envidraçadas (quando se trata de torres de serviços) ou sem emprego de janelas (quando o uso é industrial); sejam com fechamentos opacos mais delgados (sem que esta leveza estrutural seja compensada nos aspectos de térmica e de acústica) que, somado a outros fatores, não menos importantes e cuja citação seria irrelevante, contribuem para ineficiência energética das mesmas.

No intuito de melhorar as construções existentes (minimizando os efeitos dos cenários descritos acima) e de contribuir com as novas edificações (para que sejam mais eficientes), pesquisadores realizam o resgate de técnicas vernaculares. Tais técnicas, como o emprego de acabamentos claros, muito presente nas construções gregas, ou o uso do resfriamento evaporativo, com a presença de pátios com água e vegetação, presente nas construções de áreas áridas, tiveram seus benefícios comprovados em novas construções, como relatam muitas pesquisas (TEIXEIRA e LABAKI, 2010 e 2012; SYNNEFA et al., 2006; LEVINSON et al., 2005; KANT e MULLICK, 2003; NAHAR et al., 2003;

PRADO e FERREIRA, 2005; BRETZ et al., 1998; BRETZ E AKBARI, 1997; GIVONI, 1997; BERDAHL e BRETZ, 1997; TEIXEIRA, 2006; CAVALCANTI, 2001; TIWARI et al., 1982; SILVA et al., 2005; RORIZ e RORIZ, 2005). Também se ressaltam pesquisas desenvolvidas com base em materiais ou componentes da envoltória da construção. Os avanços da nanotecnologia puderam ser aplicados em acabamentos como os empregados para alta refletância solar, acabamentos seletivos e termo cromáticos (com adição de dióxido de titânio) ou materiais que mudam seu estado físico (os chamados *phase change materials* – PCM's), contribuindo para a melhoria do cenário térmico das construções.

A qualidade térmica dos materiais da envoltória está relacionada diretamente à transferência de calor para o interior das construções. Além disso, o calor antropogênico, gerado através das atividades humanas nas edificações, irá somar-se à carga térmica total que deverá ser eliminada pela climatização mecânica ou pela ventilação natural, quando há condições propícias para tal emprego.

A relevância do tema proposto se manifesta na suposição de que haveria diferenças de desempenhos térmicos entre os diferentes acabamentos brancos disponíveis no mercado. A contribuição desse tipo de acabamento implicaria na atenuação das temperaturas superficiais do material, se comparada com a amostra original. Tais efeitos culminariam também em contribuições para o conforto térmico, e possivelmente, na redução de energia para climatização.

1.2. OBJETIVO

O objetivo geral desta tese é estudar a contribuição dos acabamentos de cor branca, a base de tintas imobiliárias disponíveis no mercado: acrílica e impermeabilizante, em telhas de fibrocimento. Além de expor as mesmas à diferentes cenários: presença ou não de aspersão de água, como também, a diferentes ocorrências das variáveis climáticas locais, cuja função é atenuar as

temperaturas superficiais do material e verificar seus efeitos para a eficiência energética.

Para tanto, foi pesquisado especificamente:

- ✓ A caracterização das amostras dos acabamentos empregados na pesquisa através de ensaios de refletância, emissividade e absorção de água;
- ✓ A atenuação do ganho de calor com o uso de tintas de cor branca quando empregadas em telhas de fibrocimento, através da análise das temperaturas superficiais internas dos acabamentos;
- ✓ A atenuação do ganho de calor com o emprego de aspersão de água sobre a superfície externa das telhas de fibrocimento com os acabamentos de cor branca, através do monitoramento das temperaturas superficiais internas.

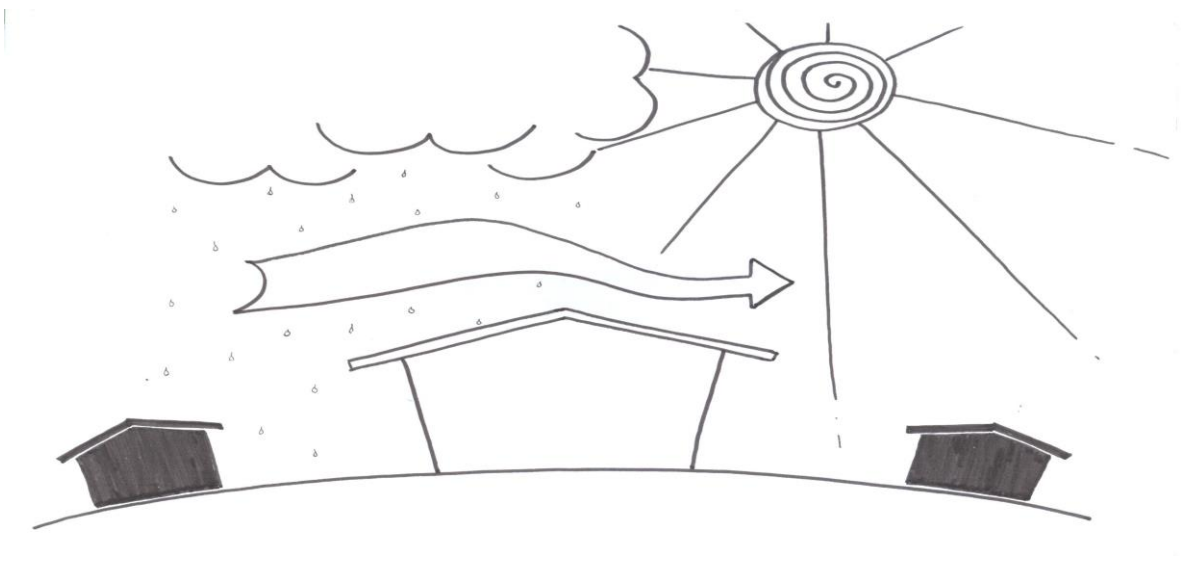
1.3. ESTRUTURA

A pesquisa foi realizada em duas fases, em relação aos experimentos: a primeira fase no Campus universitário, e a segunda em uma residência¹. O trabalho foi estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 relata a revisão bibliográfica pertinente ao tema, como atenuação de calor através da cobertura, dados de pesquisas nacionais e internacionais, além de novos materiais que vêm sendo aplicados neste setor. Nos Capítulos 3 e 4 são descritos os métodos e materiais aplicados, além da apresentação dos resultados mais significativos do período correspondente à fase da pesquisa na residência, após desocupação da área experimental no campus. No capítulo 5, são apresentadas as conclusões. O Apêndice A traz de forma comparativa outros meses de

¹ No desenrolar da pesquisa, por solicitação da direção da Universidade, foi necessário o remanejamento da infraestrutura existente no campus e replanejamento das atividades para dar continuidade à pesquisa.

monitoramento da fase residência para ilustrar as variações no desempenho térmico em função das variações de cenários de tempo. Optou-se por incluir o Apêndice B, onde são descritos os resultados parciais obtidos até o momento da interrupção da aquisição de dados no campo experimental da universidade. Acredita-se que a fase de planejamento, alinhamento entre as equipes de trabalho, preparação e execução de infraestrutura e soluções de imprevistos merecem importância tanto quanto o tratamento de dados e análise dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



Para o propósito da tese investigou-se pesquisas que trouxeram dados relevantes aos tópicos abaixo relacionados, embasando assim a fase experimental:

- ✓ Eficiência energética;
- ✓ Arquitetura bioclimática;
- ✓ Materiais eficientes;

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O substantivo eficiência refere-se, em termos gerais, a dispor de menores recursos para obter-se o melhor, ou pelo menos, o mesmo resultado. Já o substantivo qualificado, eficiência energética, pode ser empregado em vários setores da economia, como no transporte, na geração de energia, na produção de maquinários, como também nas edificações. Especificamente em edificações, relaciona-se aos recursos e materiais mais adequados para obter-se o menor consumo de energia em uma edificação.

Especialmente em edificações, a eficiência energética relaciona-se também às áreas de conforto térmico, leis e normatização do consumo energético, ferramentas de verificação e comportamento dos usuários.

O conforto térmico em edificações pode ser obtido analisando e controlando-se as influências do clima sobre as características construtivas das edificações, principalmente, dos vários componentes integrantes da envoltória, como coberturas, paredes, áreas envidraçadas, além do atendimento às necessidades humanas. E tanto os usuários como os materiais construtivos estão sob a dominância de um fator – o clima urbano.

Cada região, por influência de fatores tanto geográficos como meteorológicos ao longo dos anos, define um tipo climático. No entanto, o homem acaba alterando as características do clima com suas atividades de

transformação do meio natural, principalmente, na escala meso e microclimática. Uma série de processos como: urbanização e adensamento, impermeabilização do solo, verticalização das edificações, escassez de áreas verdes, promove fenômenos como ilhas de calor, efeito estufa, chuva ácida, inversão térmica, entre outros, que acabam caracterizando, dentro de um mesmo tipo climático, algumas particularidades que definem o microclima urbano. Isto refletirá no emprego adequado de alguns materiais construtivos ou técnicas passivas de resfriamento ou aquecimento. Algumas literaturas ou normatizações costumam generalizar em recomendações de uso de algum material ou técnica construtiva, almejando garantir uma prática adequada. Principalmente no caso do Brasil, a inclusão de cidades com características distintas, como Campinas e Florianópolis, no mesmo critério de classificação climática para adequação projetual, acaba por desconsiderar algumas peculiaridades. Se naturalmente, a primeira está situada a 700m de altitude, já a segunda está ao nível do mar e recebendo toda a umidade do oceano Atlântico. Logo, os resultados do impacto das ações do homem geram considerações diferentes nas edificações das duas localidades. Vale ressaltar também que no caso do emprego da técnica de resfriamento evaporativo, a literatura recomenda seu uso, com sucesso, somente para localidades quentes e áridas. Compreendendo que em regiões de clima árido, o uso da água se destina primordialmente para a manutenção da vida humana e fins mais nobres, seu emprego para climatização de edificações torna-se um disparate. Neste mesmo raciocínio, a pesquisa de Teixeira e Labaki (2013) empregou o resfriamento evaporativo na cidade de Campinas, a partir do reuso da água pluvial armazenada do período das chuvas.

Se por um lado as normatizações e literatura auxiliam a exemplificar as generalidades da teoria, por outro, ressalta-se aqui a importância de verificação de outras possibilidades de acabamentos, técnicas construtivas e materiais que desafiem o óbvio e considerem as condições do microclima urbano local.

2.1.1 Normatização e legislação em eficiência energética

As publicações de estudos na área de conforto ambiental datam da segunda metade do século passado. No entanto, as pesquisas nesta área ganham maior destaque após a crise do petróleo, no século passado, e com as consequências do avanço tecnológico e da alteração do estilo de vida, nos últimos 30 anos. Alguns eventos tornaram-se recorrentes, como no Brasil, a defasagem entre geração e a demanda de energia que culminou em uma série de cortes e racionamentos. E internacionalmente, a ocorrência de verões europeus e norte-americanos, extremamente severos, que culminaram em muitos óbitos, além do aumento do consumo energético são alguns das ocorrências que sinalizaram na necessidade de providências e regulamentações. Chamou-se atenção para o impacto das ações do homem no planeta, e conseqüentemente, para a questão energética em edificações.

A Comunidade Europeia editou normas rígidas que restringem o consumo máximo de uma edificação. Para países como Alemanha, as novas construções deveriam atender a normativa *EnEV (Energy Saving Regulation – 2006)* e DIN V 18599e (norma alemã para construções). Isto implica em reduzir o uso de energia primária, que inclui o gasto de energia para aquecimento de água doméstica, ventilação, ar condicionado e iluminação, bem como a energia auxiliar para as bombas e ventiladores (ALEMANHA, 2010). Para os imóveis não residenciais, a intenção é ter uma redução de 30% do consumo registrado para este segmento e para os edifícios residenciais; a meta é reduzir em 50% o consumo, através de novas tecnologias e materiais, para que as construções possam atender a normatização.

Para tanto, foram enviados pesquisadores a centros de referência no mundo para promover treinamento em tecnologias e estudos mais avançados na área de eficiência energética. Com os seus retornos, universidades alemãs, financiadas por órgãos governamentais, desenvolveram programas para avaliar o conforto térmico e o desempenho energético das edificações, como

ThermoCo, SolarBau, projeto EVA, Enerkenn, EnOB, entre outros (VOSS et al., 2010).

Nacionalmente, as iniciativas na área de eficiência energética culminaram com a Portaria Interministerial 1.877 de 1985, que instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel (Brasil, 2010). Posteriormente, ações nesta área sucederam-se, como algumas relacionadas a seguir:

- Decreto 99.656 de 26.10.1990 que criou a Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE);
- Decreto 34.979 de 23.11.1993 que instituiu o Programa Estadual de Conservação de Energia nas Edificações no Rio Grande do Sul;
- Portaria 001 de 13.08.1998 que criou grupo de trabalho para estudar a eficiência energética
- Portaria 46 de 07.03.2001 que criou o Comitê de Acompanhamento das Metas de Conservação de Energia;
- Decreto 45.765 de 04.05.2001 que instituiu o Programa Estadual de Redução e Racionalização do Uso de Energia em São Paulo;
- Resolução CC-23 de 18.03.2004 que instituiu grupo técnico para estudar e propor melhores práticas de projeto e técnicas de gestão de sistemas no uso da energia elétrica;
- Resolução CC-64 de 29.09.2005 que definiu a denominação do grupo técnico do Comitê de Qualidade da Gestão Pública

Conjuntamente, a elaboração de leis, decretos e portarias na área de eficiência energética, como o Decreto 0-006/1993 que instituía o Selo Verde de Eficiência Energética, seguiram-se muitos outros, como alguns dos aqui relacionados abaixo:

- Decreto 3.330 de 06.01.2000 - Define meta de redução de consumo de energia nos órgãos públicos para iluminação, refrigeração e arquitetura ambiental
- Decreto 19.147 de 14.11.2000 - Dispõe sobre a redução do consumo de energia elétrica em prédios públicos;
- Decreto 45.643 de 26.01.2001 - Estabelece procedimentos para aquisição de lâmpadas de alto rendimento;
- Lei 10.295 de 17.10.2001 - Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia;
- A Lei 10.334 de 19.12.2001 tratou da fabricação e da comercialização de lâmpadas incandescentes;
- O Decreto 4.059 de 19.12.2001 estabeleceu níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, para máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no país;
- A Portaria 113 de 15.03.2002 estabeleceu meta de consumo para os órgãos públicos;
- Regulamentação para etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos - Versão experimental aprovada pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética que trata da etiquetagem voluntária em edificações comerciais e públicas;
- O Decreto 21.806 de 26.07.2002 tornou obrigatória a adoção do Caderno de Encargos para Eficiência Energética em prédios públicos;
- O Decreto 4.508 de 11.12.2002 definiu os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos;

Primeiramente, as edificações comerciais, serviços e públicas foram atendidas, e posteriormente, os edifícios residenciais. A etiqueta contém uma classificação, variando de “A” a “E,” em função do consumo de energia. Assim, da construção mais eficiente, A, para a menos eficiente energeticamente, E.

Através de coeficientes e indicadores são avaliados três sistemas individuais como ilustra a Figura 1: envoltória, iluminação e condicionamento do ar. A etiqueta também poderá ser concedida de forma parcial, desde que avaliado, pelo menos, a envoltória da edificação. As classes de “A” a “E”, requerem faixas de valores de coeficientes de eficiência energética (CEE) como ilustra a Figura 2.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (CEE)	
	Mínimo	Máximo
A	2,94	-
B	2,76	2,94
C	2,58	2,76
D	2,39	2,58
E	-	2,39

Figura 2: Coeficiente de eficiência energética - CEE

Fonte: BRASIL, 2010

Referente à envoltória, implica em computar os ganhos e perdas energéticas através de fachadas e cobertura. Em edifícios altos, as fachadas são os elementos que mais transferem energia para o interior enquanto que em edificações de até dois pavimentos a cobertura é o elemento mais agravante. Neste contexto, os resultados de pesquisas que envolvem materiais empregados em coberturas e fachadas podem contribuir para melhorar as opções de especificações nos projetos submetidos à etiquetagem.

Ainda segundo o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (BRASIL, 2010), a etiquetagem é concedida em dois momentos, na fase de projeto e na fase do edifício concluído. O objetivo do programa é

incentivar uso racional de água e de energia solar. Inicialmente implantada em forma de etiquetagem voluntária, no futuro passará a ser obrigatória, com validade de cinco anos, prazo em que os edifícios certificados deverão passar por novas avaliações do Inmetro.

Além disso, tem-se a edição de duas normas em relação às edificações: NBR 15575 (ABNT, 2010) e NBR 15220 (ABNT, 2005). A primeira trata do desempenho de sistemas e componentes em edifícios e a segunda, de recomendações projetuais de adequação de habitações de interesse social ao clima. Em relação ao clima, NBR 15220, oito zonas climáticas foram criadas no território brasileiro (Figura 3) com recomendações que se restringem aos sistemas de materiais que compõem fechamentos verticais e horizontais (como paredes e coberturas), além de área de janelas, atraso térmico e amortecimento.

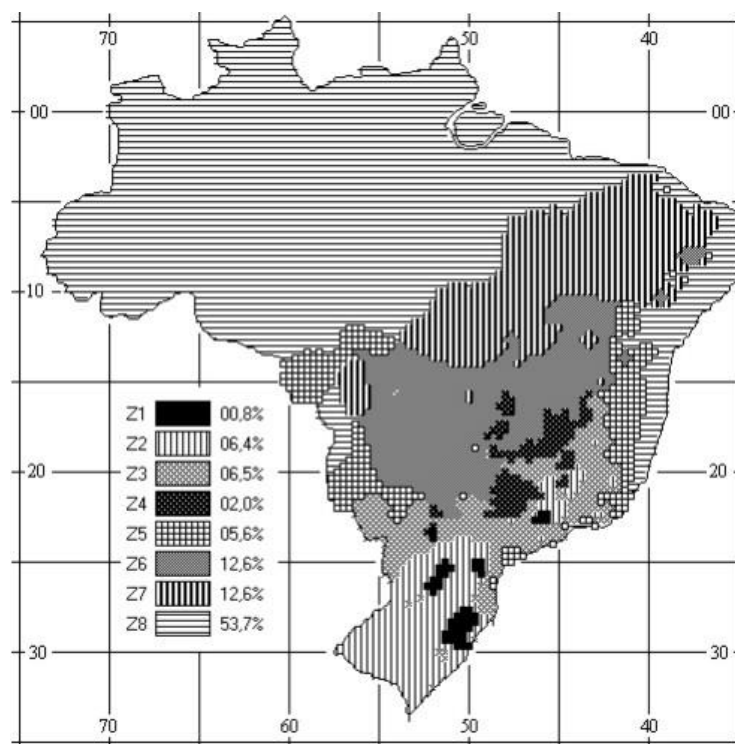


Figura 3: Mapa com o Zoneamento Bioclimático para as oito regiões brasileiras.

Fonte: ABNT, 2005

As recomendações projetuais são denominadas por letras, cada uma representa uma técnica para adequar a edificação ao clima como ilustra a Figura 4 para a cidade de Campinas-SP. Com a plotagem das médias das temperaturas máximas, mínimas e da umidade relativa da cidade de Campinas, obteve-se indicação das letras BCFI que correspondem respectivamente ao aquecimento solar da edificação; uso de massa térmica para aquecimento; ventilação seletiva e cobertura com maior massa térmica.

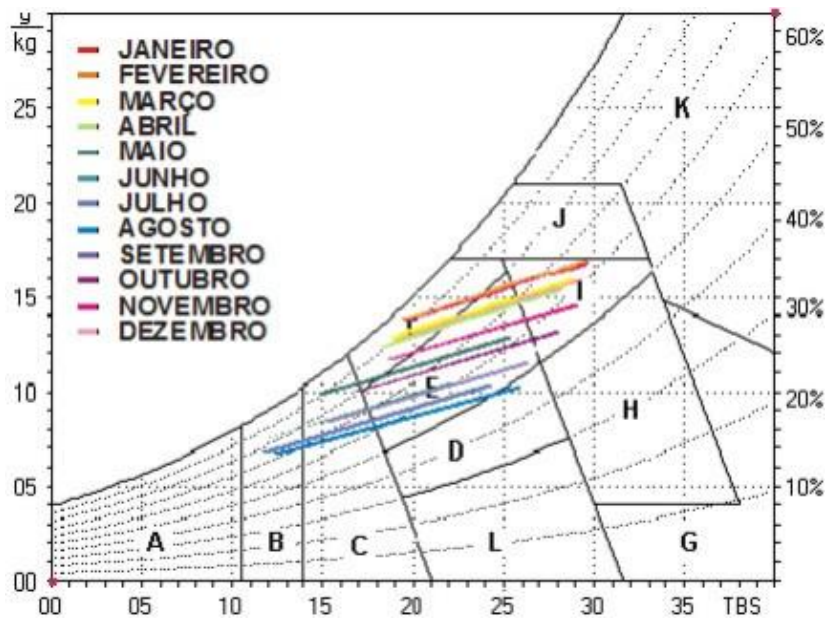


Figura 4: Carta bioclimática para a cidade de Campinas-SP.
 Fonte: TEIXEIRA, 2006)

Na norma 15575, ABNT (2010), estabeleceu requisitos e critérios de desempenho para edificações de até cinco pavimentos, com destaque para as partes 4 e 5, sistemas de fechamentos verticais internos e externos; e coberturas respectivamente. Os requisitos de desempenho compreendem a vários itens, desde uso e operação à conforto térmico e segurança contra incêndio. Os níveis de desempenho, que deverão ser atendidos, variam de mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). No caso das coberturas, os itens avaliados são: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico,

funcionalidade e acessibilidade, durabilidade e manutenção, adequação ambiental.

Ressalta-se que Normas não tem caráter obrigatório, como Decretos e Leis, assumindo o papel de recomendações de conduta para os projetistas. Assim, hoje, o cenário da construção civil brasileira tende a passar de uma atitude consciente dos profissionais para o cumprimento de legislação.

2.1.2 Algumas ferramentas de avaliação energética

Para atender as normatizações existentes e citadas no texto acima, há metodologias que seguem cálculos prescritivos e ou ferramentas de simulação computacional. Atualmente, há inúmeras ferramentas computacionais de avaliação de conforto térmico e eficiência energética, conhecidas através dos artigos publicados em periódicos ou eventos científicos internacionais.

Países como Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Alemanha, Japão, entre muitos, já dispõem de suas próprias ferramentas computacionais. Outros, que não dispõem de ferramentas próprias, utilizam-se de ferramentas produzidas no exterior, após identificação da metodologia de entrada, processo e saída dos dados, realizando muitas vezes algumas adaptações.

Um dos dados de entrada necessários são as características climáticas locais, expressas em um arquivo climático. O grau de confiabilidade gerada pelos dados obtidos através da simulação térmica ou da eficiência energética é muitas vezes pequeno, devido, em grande parte, pela dificuldade de se obter dados meteorológicos para se elaborar um arquivo climático para certa localidade. Principalmente em países em desenvolvimento, os dados meteorológicos, quando disponíveis, necessitam de adaptações e cálculos extras devido à climatologia nestes países ter-se desenvolvido mais em função da aviação e da agricultura. Isto explica a localização das estações meteorológicas e a natureza dos parâmetros medidos, sendo por vezes

ignorados os mais relevantes para o conforto térmico e eficiência energética como radiação solar (GOULART et al., 1998).

Algumas ferramentas de simulação exigem formatos específicos de arquivos climáticos ou um mínimo de parâmetros como registros horários de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e radiação solar. E conforme a ASHRAE (2009), existem dois tipos de tratamento de ano climático, utilizados mundialmente, desenvolvidos para cálculos de energia nos Estados Unidos: o *Test Reference Year (TRY)*, ou ano climático de referência, elaborado pelo *National Climatic Center* e o *Typical Meteorological Year (TMY)*, ou ano climático típico, elaborado pelo Sandia Laboratories.

Quanto à metodologia de tratamento, o *TRY* é representativo de um ano real sem extremos de temperatura. Esse método implica que os extremos serão descartados, ou seja, será elaborado um arquivo com as ocorrências médias. Goulart (1998), por exemplo, para a identificação do *Test Reference Year – TRY*, descreve a metodologia utilizada para a cidade de Florianópolis-SC. Este tipo de arquivo, *TRY*, é muito utilizado pelos norte-americanos e europeus. Já o *TMY* é uma seleção dos meses sem extremos de temperatura para composição de um ano representativo. Ambos os métodos são originados do tratamento de dados horários de uma série consecutiva de dados anuais, de 10 a 20 anos (CARLO e LAMBERTS, 2005).

Estas tipologias apresentam formatos padronizados, tanto na disposição quanto na característica dos dados que compõem o arquivo. As formas de apresentação dos dados podem, no entanto, apresentar variações dependendo da forma de utilização dos mesmos. Para uso em programas computacionais, frequentemente os arquivos climáticos são convertidos em formatos específicos como os formatos “*epw*” do *EnergyPlus*, e o “*wea*” do *Ecotect*, por exemplo.

É observada a predominância do uso de uma ou outra ferramenta de simulação numa região. A exemplo destaca-se o *EnergyPlus*, muito empregado nos Estados Unidos, e o *TRNSYS* e *DesignBuilder*, muito empregado na

Alemanha. No entanto, muitas outras ferramentas se somam nestes dois países para a verificação de edificações existentes, como também de novas construções e projetos.

Segundo o artigo de Al-Rabghi e Hittle (2001), ferramentas como o *Visual-DOE* e o *BLAST* foram empregadas num estudo comparativo. Foram descritas as etapas de manipulação das duas ferramentas para a avaliação do consumo energético de uma edificação escolar em Jeddah, na Arábia Saudita. As etapas são caracterizadas e processadas diferentemente por cada *software*, muitas vezes mais detalhadas em um do que no outro, porém concluíram que o *BLAST* pode ser usado para dimensionar: sistema de ar condicionado facilmente, novos materiais construtivos e controles de funcionamento podem ser incorporados. Também é possível utilizar o mesmo arquivo climático no *VisualDOE-2*.

Uma versão mais recente do *VisualDOE*, a versão 4, no artigo de Fasiuddin et al. (2010), foi usada para executar simulação em ambientes com controles de climatização. Várias estratégias de investimento zero, como controle do termostato, o controle reverso da noite, hora agendada de operação, etc, foram investigadas num edifício comercial da Arábia Saudita. O modelo de simulação foi calibrado com os valores do consumo real para garantir dados precisos. O estudo indicou que é possível obter economias substanciais de energia, de até 16,7% para manter o conforto térmico da edificação, só com a implementação de estratégias de operação do sistema de ar condicionado.

Já a Alemanha desenvolveu programas para monitoramento da eficiência energética em edificações, como também, ferramentas que oferecessem suporte a tal verificação. A partir de 1995, o programa *Enbau* monitorou 23 edificações onde foram levantadas muitas variáveis e realizadas análises energéticas durante os primeiros 10 anos. Uma das conclusões deste programa foi que a simulação torna-se uma ferramenta essencial na análise energética, especialmente para resfriamento passivo (NEUMANN et al., 2006). E em se tratando de resfriamento passivo, especificamente nos casos de investigação de

estratégias de ventilação e suas aplicações mais complexas, desenvolveu-se uma ferramenta de simulação ambiental, *Co/Sim*, que simula e testa estas estratégias de controle em diferentes tipologias de sistemas de ar-condicionado e aquecimento solar (WITTWER et al., 2001).

Sakka et al. (2010) afirmam que o impacto no consumo energético alemão é verificado principalmente para produzir condições de conforto interno no verão, no setor residencial, devido as construções serem planejadas para minimizar as trocas térmicas entre o interior da edificação e o ambiente externo. Segundo Gossauer (2010) além da questão energética nas edificações, tem-se o aspecto social e econômico. O conforto, como a resposta fisiológica e psicológica dos ocupantes, é reflexo da operacionalidade e complexidade dos sistemas passivos que influenciam nas condições do bem estar e produtividade da empresa. Para Wagner et al. (2007) a subjetividade dos votos dos ocupantes em ambientes naturalmente ventilados ou passivamente resfriados correspondem a uma faixa de temperatura do ar externo sob condições transitórias de verão.

Um estudo (BREESCH et al., 2005) utilizando a ferramenta *TRNSYS-COMIS*, para ventilação, num edifício do escritório de baixo consumo energético, em Kortrijk, Bélgica, foi realizado. O uso de técnicas de resfriamento passivo combinado com uma carga de refrigeração reduzida resultou em uma boa condição de conforto térmico no verão. As simulações foram utilizadas para estimar a importância relativa das diferentes técnicas. A avaliação mostra que o resfriamento passivo tem um impacto importante sobre o conforto térmico de verão no prédio.

Em Steeman et al. (2009), uma metodologia de simulação integrada do edifício com sua instalação de resfriamento evaporativo indireto foi necessária para ter em conta o balanço de massa e calor em cálculos de construção. Desta forma foi possível estudar a interação entre o desempenho térmico de um sistema de resfriamento por evaporação indireta e o equilíbrio de hidratação de um ambiente. Foi empregado o programa *TRNSYS* na avaliação. Concluiu-se

que a eficácia térmica é independente das condições de entrada do ar exterior e seu retorno.

A ferramenta *DesignBuilder* é outra opção utilizada em eficiência energética. Análise e predição de conforto térmico foram realizadas com este *software* em uma edificação com multi-andares e emprego de ar condicionado, na cidade de Rockhampton, na Austrália. Trata-se de uma região quente e úmida da área central de Queensland. Foram empregados tecnologias de resfriamento de baixo consumo energético, como coberturas refrigeradas. De acordo com Chowdhury et al. (2008) foi realizada comparação entre as previsões e o índice de predição de votos médios (*PMV*). Em uma escala de sensação térmica de sete pontos, calculou-se a temperatura efetiva e umidade relativa para as técnicas de resfriamento. Os resultados de simulação mostraram que os sistemas utilizados de condicionamento do ar por chillers ofereceu melhores condições de conforto térmico para os ocupantes durante o verão e inverno em climas subtropicais. A validação dos resultados da simulação foi verificada com os valores medidos de temperatura e umidade para o dia típico no verão e no inverno. Os resultados preditos mostram um acordo razoável com os dados medidos.

O *EnergyPlus* é outro exemplo de ferramenta de simulação no controle do desempenho energético das construções. Pode ser empregada tanto para dimensionar a carga térmica dos ambientes como para avaliar o consumo energético anual de uma edificação. Nascimento e Barbosa (2009) o utilizaram para analisar as variáveis construtivas e de padrão de uso e ocupação em um edifício de escritórios de advocacia em Londrina, Paraná. Com as características climáticas fixas, foram comparadas: as temperaturas internas e externas, como as máximas e mínimas; comparação do consumo de energia real e a conta de energia; execução de simulações testes com absorvância; tipos de vidro nas janelas; transmitância; ocupantes; proteção solar; cargas internas entre outros. A análise concluiu que o controle das cargas internas neste tipo de edificação pode chegar a 30% no consumo de energia anual. E grande parte do

controle do consumo de energia nos edifícios de escritórios depende do comportamento dos usuários, como também afirmam Westphal e Lamberts (2007). Porém, observaram os autores que a absorvância e a transmitância alcançaram valores significativos e não podem ser ignoradas.

Büttner e Duarte (2009) realizaram uma avaliação térmica e energética de coberturas de edificações comerciais de partido horizontal para a cidade de Cuiabá, Mato Grosso. Quatro variações de cobertura quanto à cor e a composição dos sistemas foram analisadas; e aplicadas técnicas de redução de cargas térmicas: sombreamento e resfriamento evaporativo. A metodologia de simulação do *EnergyPlus*, versão 2.2, não contemplou o resfriamento evaporativo. Para incluir o efeito desta técnica, os autores selecionaram uma sequência de cálculos e efetuados com equações, num processo externo ao programa, para se determinar a temperatura interna ou a taxa de resfriamento. Os autores ressaltam que este método simplificado não é preciso, porém concluem que as atenuações de cargas obtiveram sucesso com a associação da barreira radiante e sombreamento da cobertura mais que o sistema evaporativo e a cor da telha.

Ressalta-se que o emprego de uma ou outra ferramenta de simulação, na maioria das vezes, requer a utilização de outros softwares, ou para complementar os dados de saída, ou para auxiliar nos dados de entrada. Um exemplo disso foi relatado por Riederer et al. (2009) no emprego do *TRNSYS* para a concepção global de um edifício enquanto que o *Matlab* ou *Simulink* poderiam ser usados para otimizar as estratégias de controle.

Também se ressalta que as ferramentas criam um ambiente fictício para a edificação e para as condições ambientais onde ela está inserida, baseado em previsões de modelos matemáticos. Esses modelos podem recriar um ambiente real, no entanto há incertezas contidas no processamento de informações. Ou seja, preferivelmente as medições e avaliações *in loco* trazem dados com menos incertezas, no entanto, para pré-verificações de projetos e estimativas de

possíveis situações, os resultados de simulações proporcionam bons parâmetros para trabalho.

2.2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

O termo Arquitetura Bioclimática vem à luz deste século consolidar o que muitos de nossos ancestrais já praticavam em suas edificações, mas só que sem o conhecimento empírico. A observação do clima e adequação das edificações, ao longo dos tempos, propiciou uma herança de técnicas praticadas repetidamente e aprimoradas, sem o objetivo direto da eficiência energética nas construções.

O resgate destas técnicas, o emprego da tecnologia e do conhecimento técnico-científico na automação destes sistemas, no desenvolvimento de materiais inteligentes, na avaliação do desempenho energético faz emergir uma nova fase para as práticas arquitetônicas. Então, será exigido muito mais do profissional, cuja competência será aliar não só a concepção estética, mas também, o emprego de técnicas que possibilitem auxiliar na conservação do meio ambiente.

Muitas são as técnicas, recursos e materiais que podem ser aplicados com o intuito de minimizar a transferência de calor pelo envelope das construções e com isto otimizar o uso energético na edificação. Teixeira (2006) em sua dissertação elencou as mais variadas técnicas desenvolvidas em pesquisas e seus resultados, além de fazer uso de algumas para um tipo climático brasileiro. Aqui serão destacadas as pesquisas cujos resultados trazem alguma consideração em relação à eficiência energética.

A pesquisa de Al-Sanea (2002) consistiu em avaliar e comparar o desempenho térmico de elementos construtivos da cobertura, sujeita às mudanças periódicas de temperatura do ambiente, da radiação solar e trocas de energia radiante. Os resultados mostraram que, em geral, a contribuição das trocas por radiação foi maior que o dobro das trocas de calor por convecção. O

autor concluiu que a inclusão da camada de isolante de 5 cm de poliestireno moldado reduz a carga térmica de transferência pela cobertura em 33% do valor obtido para a cobertura de referência sem isolante. Já o poliuretano reduziu em 25% a carga térmica. Relacionar a espessura de isolante térmico à redução de carga térmica pela cobertura traz uma informação importante para a fase de projeto que irá refletir no consumo energético da construção ao longo da sua vida útil.

Nahar et al. (2003) aplicaram diferentes técnicas de resfriamento para a cobertura de protótipos testados em uma região árida da Índia. Nessa pesquisa sete técnicas foram executadas para atenuar o ganho de calor na cobertura, através da radiação solar: pintura branca da cobertura, isolamento térmico com um material típico da região (Sania), resfriamento (radiante) noturno, resfriamento evaporativo, peças de cerâmica polida, câmara de ar como isolante e uma mistura de cimento e vermiculita aplicada sobre a cobertura. O resfriamento evaporativo mostrou-se mais eficiente, seguido da cerâmica polida, contribuindo para atenuação da carga térmica.

O uso da vegetação é uma técnica que vem ganhando a simpatia da população em geral, tanto pelos benefícios gerados para a edificação, mas também, ao microclima urbano e permeabilidade urbana à águas pluviais. A vegetação em fechamentos verticais e na cobertura também é conhecida como técnica passiva, muito utilizada por nossos ancestrais, principalmente em períodos Babilônicos. Wong et al. (2003) realizaram um estudo com vegetação na cobertura em clima tropical. A pesquisa confirmou que jardins em coberturas contribuem com benefícios térmicos tanto para o edifício como para o ambiente próximo, ou seja, contribuem para baixar o consumo energético para climatização do ambiente, além de atenuar os efeitos das ilhas de calor no meio urbano.

Em outra pesquisa na Estônia, foi verificado que a cobertura verde diminui significativamente a flutuação da temperatura no verão. Neste caso, a presença da vegetação contribuiu para aumentar a inércia. Já no inverno, ela

atua como isolante térmico, evitando o resfriamento da edificação, segundo Teemusk (2009). Já para Spala et al. (2008) o emprego da vegetação na cobertura de uma edificação, em Atenas, mostrou-se eficiente somente no verão. Para o inverno, seu emprego como isolante e no auxílio de evitar a perda de calor da edificação para o ambiente não foi satisfatório. Conclui-se que os benefícios da cobertura verde dependem ou ainda não estão com suas relações de interferência consolidadas dentro de um tipo climático. Acredita-se que mais pesquisas variando os múltiplos fatores envolvidos num clima como: amplitude térmica diária, tipo de espécie vegetal, espessura da camada de solo, índice pluviométrico, entre outros, possam contribuir para destacar os benefícios da cobertura verde.

O pesquisador Rjapakasha (2003) verificou a eficiência da ventilação do átrio como uma estratégia passiva de resfriamento em climas quentes e úmidos. Desenvolvida para o clima japonês, a estratégia incluiu o átrio no desenho do edifício, otimizando assim, a ventilação natural e minimizando as altas temperaturas externas. Contudo, sua eficiência depende de detalhes do projeto, da construção, como o tipo mais apropriado de saída de ar e da configuração do entorno que pode influenciar tanto na alteração da velocidade e direção da ventilação natural.

Em países localizados em altas latitudes, no inverno, a demanda por ambientes aquecidos é alta e o envelope da construção deve receber a maior quantidade de radiação disponível para realizar o aquecimento passivo. Porém, no verão, paredes e coberturas expostas à radiação solar incidente requerem sombreamento para não ocasionar ambientes internos desconfortáveis (CHWIEDUK, 2009). Analogamente, em países de baixas latitudes, tem-se o inverso. No entanto, é importante conhecer dados referentes à energia solar local para obter-se uma boa construção.

O resfriamento evaporativo é outra técnica que contribui na redução da carga térmica pelo material exposto a radiação solar. Cavalcanti (2001) pesquisou em Recife, Pernambuco, os resfriamentos: evaporativo, evaporativo-

convectivo e radiante em coberturas de fibrocimento. O autor concluiu que o resfriamento evaporativo nos dois primeiros processos é mais eficiente do que no resfriamento radiante. Já o resfriamento evaporativo-convectivo obteve resultados duas vezes melhores na diferença de temperaturas médias dos protótipos. Observa-se que o resfriamento evaporativo-convectivo, segundo o autor, consiste no processo de resfriamento por evaporação d'água na camada de ar mais próxima a cobertura. O ar, uma vez resfriado, pelo processo de convecção resfria a telha.

Já Nascimento e Roriz (2005) monitoraram os efeitos que a evaporação provoca sobre as temperaturas superficiais internas de telhas cerâmicas, sujeitas às variações climáticas como vento e radiação solar. Uma telha foi mantida seca enquanto que a outra recebia o gotejamento de água sobre sua face externa em intervalos de 10 min durante 6 h. A evaporação provocou redução de até 18,67°C na temperatura superficial interna da telha cerâmica no experimento de bancada. Apesar de não aparecer dados referentes ao impacto desta redução no consumo de uma edificação ou no conforto humano, diferenças de temperatura na ordem de 15°C são facilmente perceptíveis no contato via tato com o material.

Na cidade de São Carlos, Roriz e Roriz (2005) desenvolveram um experimento de bancadas com telhas cerâmicas para o uso de resfriamento evaporativo. O sistema desenvolvido utiliza um dispositivo eletrônico "Climus" para registros dos dados. O sistema é acionado toda vez que a temperatura de superfície da cobertura ultrapassar um limite, sendo desligado quando um limite inferior for alcançado.

O material cerâmico, empregado por nossos ancestrais para armazenamento de água fresca e alimentos, possui porosidade e características termo-físicas, que na presença de água, provocam a refrigeração do material. Já outros materiais como a telha de fibrocimento, amplamente empregada devido à leveza e baixo custo, desde edificações populares a comerciais, possui características diferentes como porosidade, espessura, cor e características

físicas. Neste sentido, estudos são necessários e neste sentido Teixeira (2006), em Campinas, fez uso de técnicas passivas de resfriamento em coberturas de fibrocimento em células-teste. Empregou-se pintura branca, filme de alumínio e aspersão de gotas de água. A autora verificou que no período de janeiro a março, onde há a maior incidência de precipitações típicas de verão, o uso de aspersão de água foi mais eficaz que os demais, chegando a obter uma atenuação da temperatura superficial da telha em torno de 8°C.

Pensar e projetar com uma arquitetura mais consciente das condições climáticas locais é uma ferramenta de grande valor para tornar edifícios mais confortáveis termicamente, e conseqüentemente, mais eficientes energeticamente. O desenvolvimento de pesquisas brasileiras se faz necessário pela grande extensão territorial e pela diversidade climática que aqui atuam, sendo importantes para transformar o cenário das edificações nacionais.

2.3 COBERTURAS E MATERIAIS EFICIENTES

Quando se refere à cobertura com ênfase em eficiência é necessário dividi-las em duas categorias, segundo a norma ASTM 1980-01: em coberturas planas ou com baixa inclinação e as com inclinação maior que 9,5°. Aqui no Brasil, as coberturas planas ou com baixa inclinação são empregadas em garagens, habitação de interesse social, prédios comerciais e industriais. Já as coberturas com inclinação maior são empregadas em residências, com inclinação em torno de 30°, porque não temos ocorrência de neve intensa em solo brasileiro.

O uso de cores e ou acabamentos claros ou brancos, em coberturas, contribui significativamente para aumentar o albedo no cenário urbano e com isto contribuir para atenuar os efeitos de ilha de calor. No entanto, o que se discute muito é o emprego de ações para transformar toda cobertura em uma superfície branca (BOIXO et al., 2012). Esta ação pode acarretar num desconforto visual para usuários de arranha-céus, devido a um entorno

predominantemente refletivo. Mas é claro que os acabamentos de outras superfícies podem contribuir para amenizar este efeito, como ilustra a Figura 5. E em coberturas residenciais, os incômodos também podem afetar pedestres e autos, dependendo de quanto elas sejam visíveis do nível da calçada e rua. Evidentemente, este fato é mais incômodo em altas latitudes do que para terras brasileiras.

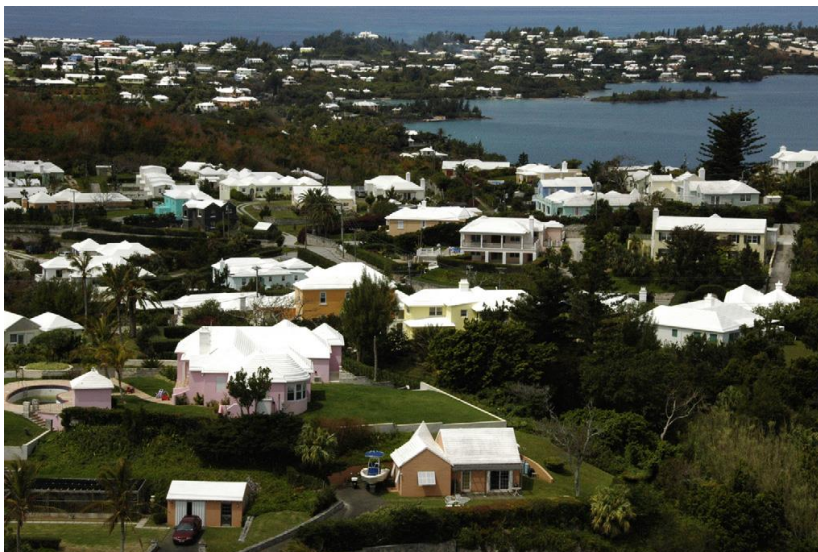


Figura 5: Coberturas residenciais inclinadas e com alta refletividade em Bermuda, 2010.

Fonte: Flickr, David Silverman apud Boixo et al., 2012.

Materiais de acabamentos que possuem alta refletância solar são chamados de acabamentos “cool” ou “seletivos” por absorverem menos calor numa determinada faixa do espectro eletromagnético. Estes acabamentos, quando expostos a radiação solar apresentam temperaturas superficiais mais baixas em relação aos acabamentos comuns. O uso de técnicas passivas ou desenvolvimento de tecnologia em acabamentos “cool” ou “seletivos” contribuem para uma cobertura mais eficiente. A presença de telhas “cool” e tintas com pigmentos refletivos são mais comuns nos Estados Unidos ou em Portugal do que no Brasil. A cobertura eficiente energeticamente deve preferencialmente ter alta refletância solar e ou alta emissividade para ondas longas. Com baixas temperaturas superficiais do material isto implica em menor calor penetrando na construção e ou menos calor transferido para o ar interno.

Assim, a alta refletância solar é obtida a partir da habilidade de um material refletir mais radiação solar em relação ao total de radiação solar incidente no material. Enquanto que a alta emissividade à ondas longas é obtida através da habilidade da superfície em liberar calor do total de energia absorvida. Tanto uma como outra propriedade estão relacionadas às características físicas da superfície deste material e são mediadas numa escala de 0 a 1.

Uma cobertura para ser eficiente, por exemplo, em terras tropicais, precisa absorver menos energia na região do visível e emitir mais energia na região do infravermelho. Muitas pesquisas trazem índices de alguns acabamentos na região do visível e infravermelho, resultado da aplicação de várias metodologias existentes para este fim (DORNELLES, 2008; SANTAMOURIS et al., 2011; LEVINSON et al., 2007).

Para a obtenção do índice de refletância solar de uma superfície homogênea é comum o espectrofotômetro de mesa, seguindo as metodologias propostas em ASTM E903-1996 EN 14500, CIE130-1998 e ASHRAE 74-1988; o refletômetro solar portátil com seus procedimentos descritos em ASTM C1549-2002; e o piranômetro em ASTM E1918-1997. Em superfícies com características heterogêneas, seja por conta do acabamento ou por ação de intempéries, há procedimentos do *Cool Roofing Rating Council* – CRRC que utilizam o refletômetro solar portátil através da *CRRC-1 Test Method #1* (CRRC, 2012). Finalmente, para superfícies rugosas e não uniformes é recomendado o uso do piranômetro, através das normas ASTM E1918-1997. Já para a determinação da emissividade térmica, há técnicas propostas para o uso do emissômetro portátil em ASTM C1371-04 e ASTM E408, como também para o espectrofotômetro, através da EN 12898 onde o espectrômetro infravermelho de Fourier é requerido (SANTAMOURIS et al., 2011). Contudo, segundo os mesmos autores, há várias incertezas envolvidas nos procedimentos (amostras, temperaturas, geometrias, etc) para a determinação da emissividade nos procedimentos.

A tecnologia é uma forte aliada na criação de novos materiais construtivos, como também, na melhoria dos já existentes, visando o melhor desempenho em durabilidade, resistência, como também nos últimos anos, em energia. Neste sentido, têm-se os materiais “cool”, que aparentemente são semelhantes aos tradicionais, porém não absorvem tanto energia em determinados comprimentos de ondas. Segundo Synnefa et al. (2006), este tipo de material pode também atenuar os efeitos de ilha de calor. Investigando o desempenho de amostras de acabamentos, usados comumente na construção civil, nas regiões do visível e do infravermelho, foram selecionados quatro tipos: S15 não recebeu coloração; S7 teve a coloração preta; e S8 e S5 são dois tipos de branco. A temperatura atingida pelas amostras, quando expostas a radiação solar direta, foi verificada através de um termômetro de infravermelho, como ilustra a Figura 1. A amostra S7 atingiu níveis de temperaturas maiores que as demais.

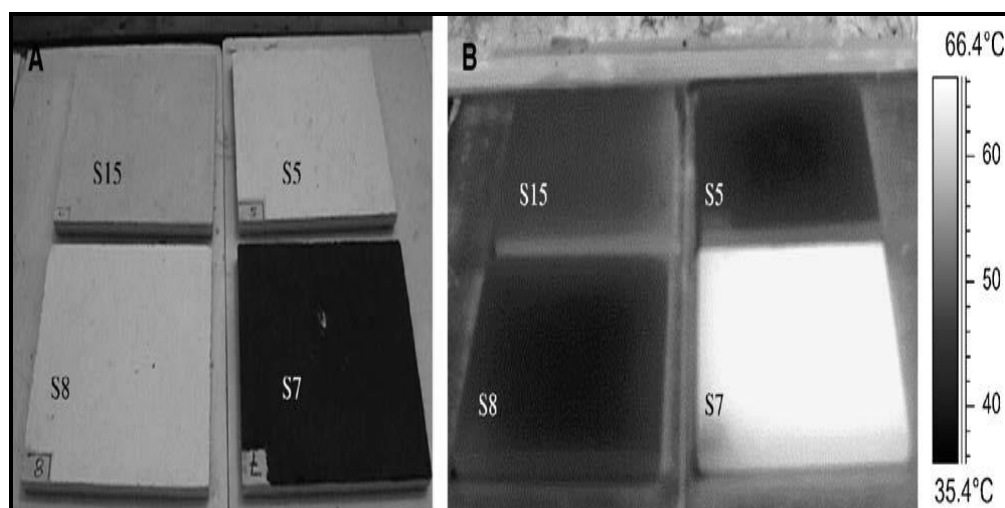


Figura 6: Imagem térmica das amostras “cool”. A - região do visível; B – região do infravermelho.

Fonte: Synnefa et al., 2006

O comportamento denominado “seletivo”, pelo fato de absorver ou refletir com maior intensidade intervalos particulares do espectro eletromagnético, é extremamente útil para objetivos específicos como, por exemplo, melhorar a eficiência de um coletor solar. A aplicação deste conceito de seletividade

térmica ocorreu nos Estados Unidos por Levinson et al. (2007). Eles monitoraram pigmentos “frios” para pintura de coberturas, com o objetivo de minimizar as cargas térmicas das edificações. Neste sentido, foram identificados e caracterizados materiais que, embora mantenham a aparência normal das telhas, provocam alta refletância da radiação solar. Quando aplicados sobre telhas de concreto, estes pigmentos elevaram a refletância solar em torno de 0,3 com maior ganho para as cores mais escuras. Em outro estudo, Levinson et al. (2005) afirmam ser possível alterar a absorção de calor pelas coberturas. Para os proprietários de casas com telhados inclinados e visíveis ao nível do solo, que muitas vezes preferem produtos de cobertura não-branca por questões estéticas, o desenvolvimento de um acabamento não-branco, que reflita a energia na região do infravermelho próximo pode ser aplicado in loco para telhas de concreto e argila. Foi utilizado um modelo em escala para monitoramento em três localidades: Fresno, São Bernardino e São Diego, nos Estados Unidos. Os revestimentos aplicados reduziram o pico de temperatura dos telhados em torno de 5 a 14°C e os fluxos de energias obtiveram redução de 13 a 21%.

A nanotecnologia trás suas contribuições ao desenvolvimento de pesquisas na construção civil. Os materiais chamados *Phase Change Materials* – *PCM's* aliados à estrutura da cobertura estão sendo estudados como um novo potencial tecnológico para reduzir a transferência de calor nas construções. Este tipo de material utiliza-se do armazenamento de calor latente usando ligações químicas para armazenar e liberar calor, ou seja, a transferência de energia ocorre quando o estado físico do material é alterado (sólido para líquido e vice-versa). O processo é relatado através da absorção de parte do calor no processo de liquefação durante o dia enquanto que a noite há a liberação de calor através do processo de solidificação do material. Materiais do tipo *PCM* são compostos por micro capsulas de partículas de um tipo de parafina e um polímero, que variam entre 17 e 20µm, disponíveis comercialmente, com aplicações de coberturas à fachadas envidraçadas (DOERKEN, 2011; BASF, 2011) (Figura 7).

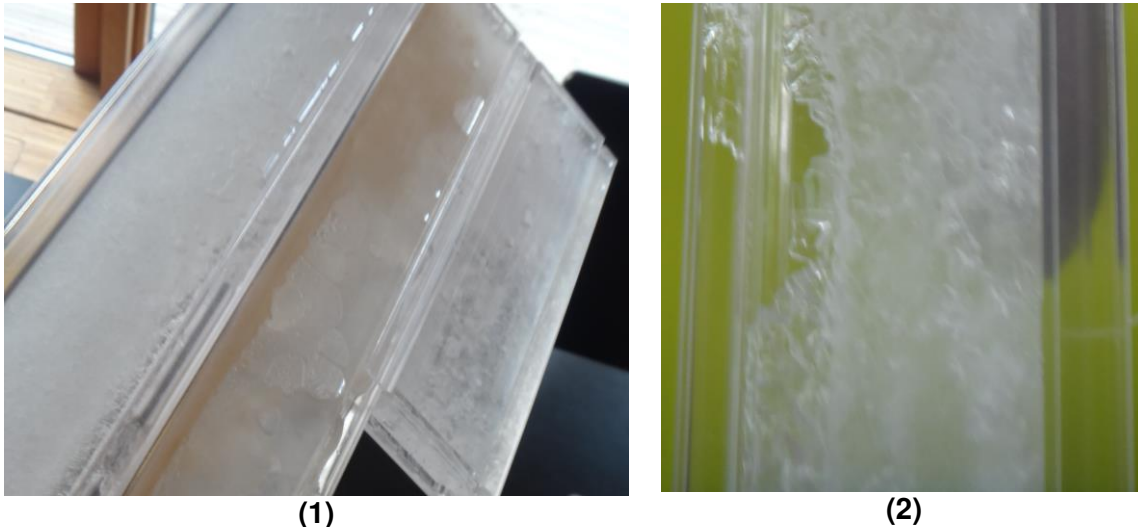


Figura 7: Materiais do tipo PCM. (1) Três tipos de PCM de acordo com as faixas de temperatura de atuação; (2) Detalhe do PCM.

Fonte: arquivo do autor, 2011

Segundo Santamouris et al. (2011) e Karlessi et al.(2011) há três tipos principais de materiais *PCM*s:os metais (com alto ponto de fusão para aplicações na construção civil), os inorgânicos e os orgânicos. Os orgânicos possuem mais características que os fazem ser mais adequados à aplicação na construção civil. Estabilidade química, segurança, reciclável, não reagentes e aplicáveis a maioria dos materiais de construção civil são exemplos de características que elegem os *PCM*'s orgânicos como melhor opção. Quando aplicados em amostras coloridas apresentaram uma diferença de temperaturas superficiais em relação as amostras *cool* de 1°C a 2°C, enquanto que para amostras comuns as diferenças foram de 3°C a 7,5°C.

Este tipo de material foi empregado na cobertura do projeto, elaborado e construído pela *Technische Universität Darmstadt*, como uma das técnicas passivas de redução do consumo energético em uma edificação. O projeto, que incluía também o emprego de painéis fotovoltaicos com aplicações, tanto energéticas como estéticas, na envoltória para a produção de energia elétrica. Aliado a isso, a presença de sistema inteligente de gerenciamento e automação dos equipamentos elétricos, entre outros recursos, também contribuíram para

que o projeto fosse o vencedor da competição do *Solar Decathlon* do ano de 2009 (Figura 8).



Figura 8: Vista do projeto ganhador do *Solar Decathlon* – 2009, em Darsmtadt, Alemanha.
Fonte: arquivo do autor, 2011

Os materiais, com tecnologia termo cromática, têm as características óticas e térmicas para melhorar os resultados no desempenho energético no microclima urbano, em construções e nas condições de conforto humano.

Na Figura 9 observam-se duas amostras na cor marrom, onde a amostra da esquerda é termo cromático com óxido de titânio. Ao ser exposta as condições climáticas de um dia de sol de verão, a amostra torna-se clara, num tom de branco, devido ao aumento da sua temperatura superficial de 30°C para 42°C. Karlessi et al. (2009) concluem que os acabamentos termo cromáticos com TiO₂ apresentam um aumento de sua refletância solar na fase branca de

43% para a amostra de cor verde, 38% para a de cor marrom e 33% para a de cores preta e cinza. A emissividade térmica varia de 0,83 a 0,91 nos acabamentos termo cromáticos e, não apresentaram diferenças significativas observadas nos experimentos entre as amostras “cool” e comum.

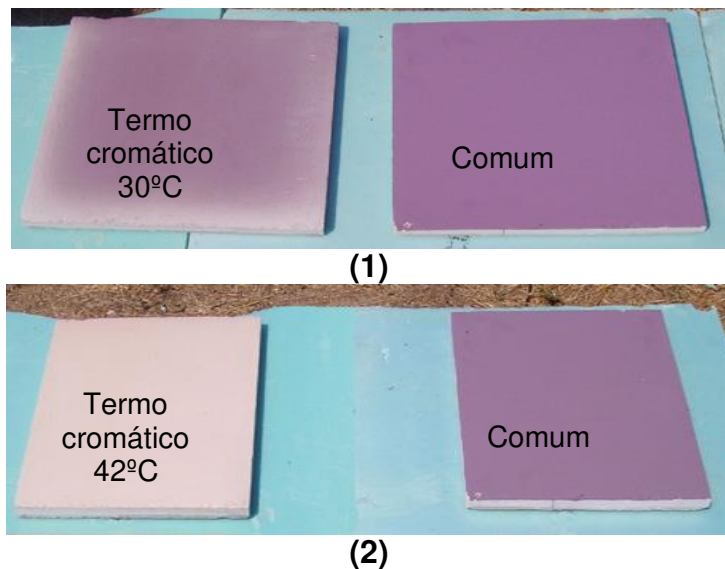


Figura 9: Mudança cromática em amostras da cor marrom.

Fonte: Karlessi et al.,2009

A Figura 10 mostra a escala térmica na região do infravermelho entre amostras da cor marrom termo cromático, *cool* e comum. É possível também observar a alteração de cor nas amostras quando expostas a radiação solar.

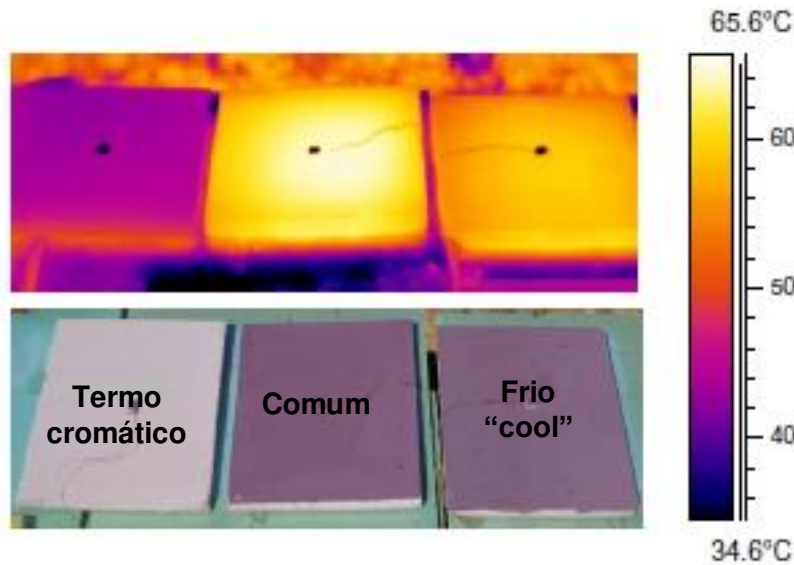


Figura 10: Imagem térmica de amostras de material comum, frio e termo cromático.

Fonte: Santamouris et al., 2011

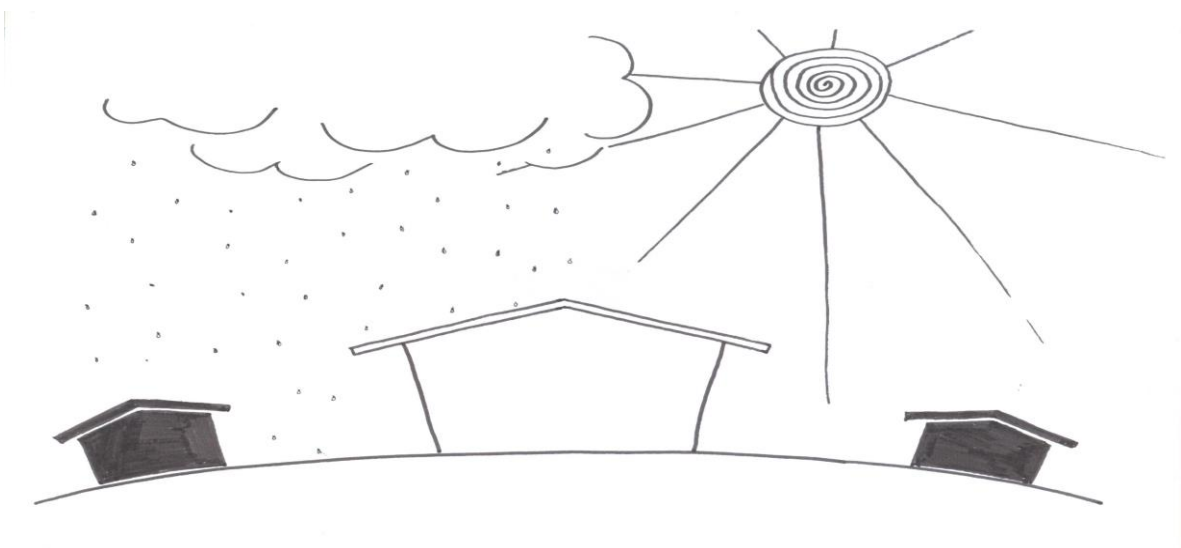
Os acabamentos que recebem a tecnologia termo cromática apresentaram uma desvantagem: a fotodegradação. A interação com a radiação solar causou a quebra nas ligações poliméricas, liderando alterações das propriedades químicas e mecânicas, como também, perda do efeito da reversibilidade termo cromática (POSPISIL e NESPUREK, 2000; KARLESSI et al. 2009). Alguns resultados positivos já foram alcançados quando protetores de radiação ultravioleta são aplicados nestes acabamentos. Quando a radiação UV é absorvida e incorporada pelo material termo cromático acarreta nenhum aumento da eficiência ótica e ainda permanecem os problemas de envelhecimento. Apesar do uso de filtros UV em amostras, permanecem os problemas de envelhecimento sugerindo que alguma parte da radiação do visível pode ser decisiva neste processo.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pertinente ao tema desta pesquisa foram expostos alguns aspectos referentes a leis e normatizações, ferramentas de avaliação e emprego, além de

materiais e tecnologias empregadas nacional e internacionalmente. Diante da abundância de radiação solar em território brasileiro por todo o ano, destaca-se o emprego de acabamentos de cor branca e aspersão de água. Acredita-se que tais técnicas são as mais acessíveis às condições locais de pesquisa (Campinas-SP). Ressalta-se a importância do uso de uma ferramenta computacional a fim de estimar o impacto das técnicas empregadas no consumo energético.

3. METODOLOGIA



A metodologia deste trabalho foi planejada para realizar o monitoramento de telhas com a aplicação de acabamentos de cor branca (resfriamento refletivo) e também o emprego de aspersão de água (resfriamento evaporativo), simultaneamente ou não. Quando a autora, em sua dissertação, realizou o tratamento dos dados monitorados, acreditou-se ser possível potencializar a atenuação do ganho térmico pela cobertura com a associação das duas técnicas. No entanto, seria necessário identificar as condições propícias para tal: refletância solar das superfícies, emissividade e teor de absorção de água ou vapor de água pelas superfícies das telhas em cenários de clima.

3.1 SÍTIO

A pesquisa experimental foi executada de 2009 a 2012 na cidade de Campinas, SP, por ser onde se localizava o campo experimental do campus da instituição de ensino. A cidade está localizada na latitude 22°48'57"S, longitude 47°03'33"W, altitude de 640m e está sobre atuação do clima subtropical. Mais precisamente, Cwa, segundo a classificação de Köppen, onde o "C" denomina as condições mesotérmicas (temperado quente) com temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C. E a subclassificação "wa" indica média do mês mais quente maior que 22°C e inverno seco (índice pluviométrico menor que 30mm) (CEPAGRI, 2012; ROLIM et al., 2007).

Dados climatológicos foram adquiridos do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (2011), por conta da confiabilidade dos dados, para caracterização climática local, elaboração do arquivo climático da cidade de Campinas e seu emprego na estimativa de consumo energético de um ambiente com cobertura de mesmas características da pesquisa.

3.2 MATERIAIS

O objeto desta pesquisa é a telha de fibrocimento ondulada, sem amianto, cujo emprego em coberturas populares e construções comerciais é

muito observado, pelo seu baixo custo, leveza, fácil manuseio e aplicação. Esse tipo de telhas para coberturas é padronizado pela norma NBR 15210 (ABNT, 2005). As normas NBR 5642 (ABNT, 1993) e NBR 6470 (ABNT, 1982), atualizadas pela NBR 7581-2 (ABNT, 2012) verificam as condições aceitáveis de permeabilidade e absorção de água, ou seja, não é aceitável o aparecimento de gotas de água na face inferior da telha e nem apresentar absorção de água superior a 37%.

A telha empregada na pesquisa necessitava ter uma superfície plana suficiente para que o sensor de fluxo de calor fosse adesivado internamente a mesma, além de ser leve para facilitar seu manuseio. Após pesquisa no mercado, encontrou-se um modelo de telha que possui 11cm de largura na parte plana (Figura 12).

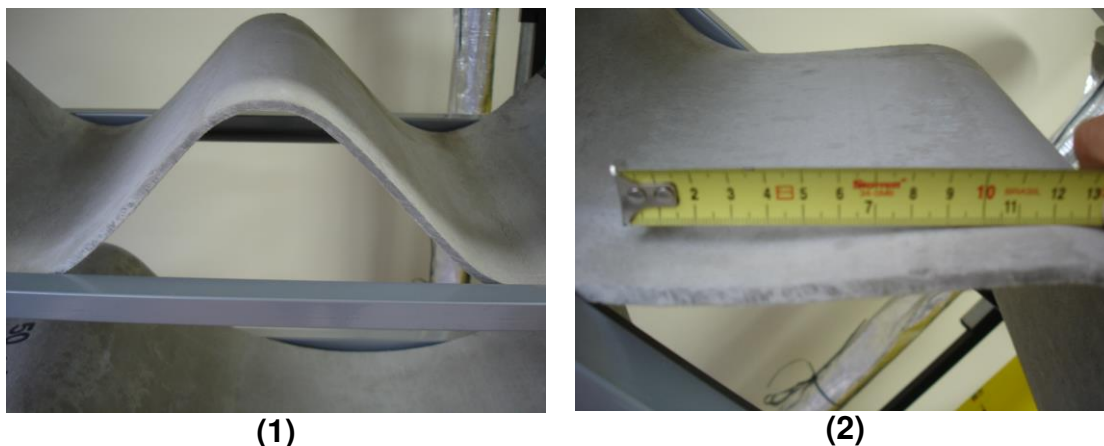


Figura 12: Detalhe da onda da telha de fibrocimento. (1) Onda completa. (2) Largura de 11cm na parte plana da ondulação.

As telhas receberam demãos de tintas imobiliárias na cor branca. São acabamentos comuns, sem nenhuma referência pelos fabricantes de possuírem características específicas das tintas refletivas, muito empregadas no exterior. Para caracterização dos acabamentos nas telhas, extraíram-se as seguintes especificações técnicas dos respectivos fabricantes:

- ✓ Tinta látex acrílica - resina modificada acrílica, diluível em água, composta provavelmente de pigmentos ativos e inertes,

coalescentes, espessantes, microbicidas não metálicos, outros aditivos e água (AKZONOBEL, 2009);

- ✓ Tinta esmalte - resina alquídica modificada, diluível em solvente, composta provavelmente de pigmentos orgânicos e inorgânicos, secantes, aditivos, solventes alifáticos e aromáticos (AKZONOBEL, 2009). Este acabamento foi empregado só na fase campus de aquisição de dados por ocasião da execução medições preliminares.

- ✓ Tinta impermeabilizante – também chamada de manta líquida, é composta por resina de base acrílica impermeável e elástica, de aplicação a frio que dispensa proteção contra raios solares e indicada para coberturas isentas de tráfego. É diluível em água, provavelmente contém pigmentos ativos e inertes, agentes surfactantes, coalescentes, espessantes, microbicidas não metálicos e água. Depois de seca se transforma numa camada elástica e plástica (OTTO BAUMGART, 2009).

A abertura das fórmulas da composição das tintas só é possível com a autorização dos respectivos autores. Portanto, o pigmento branco, comum nas tipologias de tintas utilizadas, não tem sua origem e proporção definidas. Provavelmente, a cor branca deve ser oriunda de componentes como: antimônio, titânio, zinco ou chumbo. As concentrações destes componentes, como também, o tamanho destas partículas inorgânicas podem interferir na qualidade da tinta, tornando-a mais ou menos opaca (IKEMATSU, 2007).

As telhas foram monitoradas com os acabamentos brancos e mais a telha natural (de referência) em algumas situações de conjunto (comparação) e de condições ambientais (variações de ocorrências das variáveis meteorológicas e uso do sistema evaporativo).

3.3 MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A metodologia da pesquisa foi planejada para ser executada nas instalações do campus, no campo experimental da Unicamp, de acordo com o infográfico abaixo (Figura 13).



Figura 13: Infográfico explicando a metodologia inicial.

A aquisição de dados foi dividida em 3 fases: dados das telhas nas bancadas; dados dos ensaios com as amostras das telhas e dados meteorológicos da estação no local. O melhor desempenho térmico dos acabamentos nas telhas seria verificado após tratamento dos dados e análise dos resultados. E finalizando, a correlação entre o acabamento de melhor

desempenho térmico e o impacto do seu emprego na estimativa de consumo energético para um ambiente.

Entretanto, a pesquisa sofreu alteração devido a imprevisto de força maior. Em abril de 2010, a direção da instituição solicitou a desocupação do campo experimental onde a pesquisa já estava instalada e encontrava-se na fase de ajustes da implantação do sistema de aspersão de água sobre as telhas. Enquanto eram direcionados esforços para encontrar outro local no campus, disponível em infraestrutura (pontos de energia, água e segurança) para reinstalar a pesquisa, as atividades de monitoramento ficaram interrompidas até novembro de 2010. Houve a tentativa de reiniciar o monitoramento, no entanto, novas adequações e ajustes foram necessários no novo local cedido no campus. Isso acarretou em emprego de mais tempo e inviabilizou a retomada de aquisição de dados nas bancadas. Após algum tempo, paralelamente a esses eventos, decidiu-se criar uma pesquisa paralela em outra área, externa ao campus e na mesma região, denominada aqui, para diferenciar do planejamento experimental original, de fase residência. A pesquisa foi instalada numa residência construída no fim da década de 70. Foi utilizada a cobertura da varanda e garagem da residência por conter o mesmo material de estudo da pesquisa original: telha de fibrocimento. Adequações foram necessárias, no entanto a infraestrutura para monitoramento foi finalizada, para início das medições, em julho de 2010. A Figura 14 ilustra o delineamento da pesquisa em sua etapa de aquisição de dados: fase campus (com a metodologia original), fase residência (com a adaptação da metodologia). Execução de ensaios e tratamento de dados, posteriormente, para análise dos resultados.

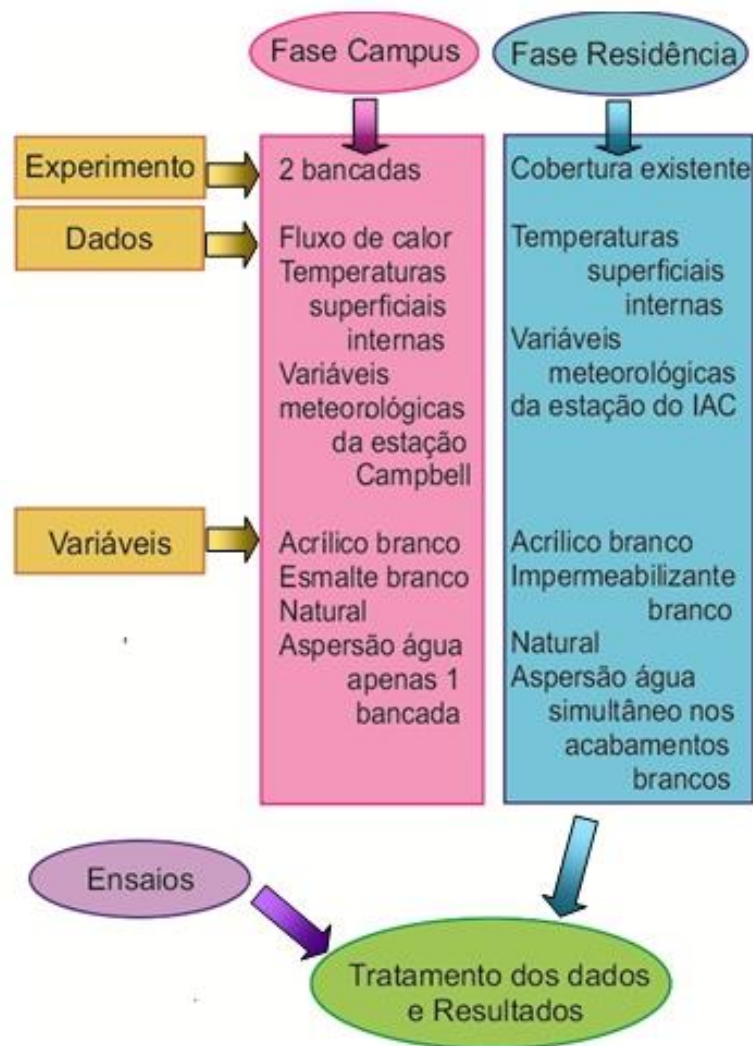


Figura 14: Infográfico com metodologia após extinção do campo experimental no campus da Unicamp.

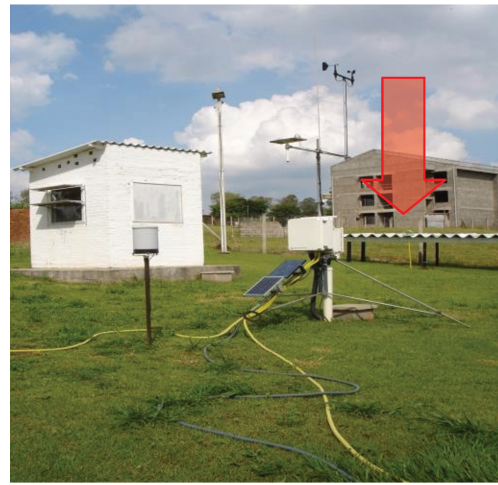
Relatam-se aqui todos os pormenores das fases da metodologia com intuito de valorar pesquisas experimentais. Mesmo com esforços direcionados para o planejamento e detalhamento das etapas da pesquisa, ocorrências inesperadas culminaram em adaptações. Esse é um ponto desfavorável da pesquisa experimental – os imprevistos - e nenhuma pesquisa ou pesquisador que opte por esta modalidade estará isento. Apesar dos dados da fase campus não constituírem o capítulo Resultados e Discussões, eles foram apresentados no Apêndice B por apresentarem informações interessantes, como o comportamento dos fluxos de calor nos acabamentos monitorados.

3.3.1 Fase campus: bancadas

O campo experimental foi consolidado com a execução de várias pesquisas, de mestrado e doutorado, além de ensaios, tanto na área térmica como acústica ao longo de vários anos. Era uma área segura, de fácil acesso e com infraestrutura de uma estação meteorológica Campbell para aquisição e gravação de dados, 9 células-teste em alvenaria, pontos de água e energia, sensores para monitoramento diversos. Por estes fatores, este local foi escolhido para a implantação do experimento. A Figura 15 mostra a fase da pesquisa no campo experimental do campus da Unicamp. A aquisição de dados foi executada a partir da confecção de duas bancadas de madeira impermeabilizadas (à direita) ao lado da estação meteorológica Campbell e da célula-teste (à esquerda) que abrigou o sistema de gravação dos dados.



(1)

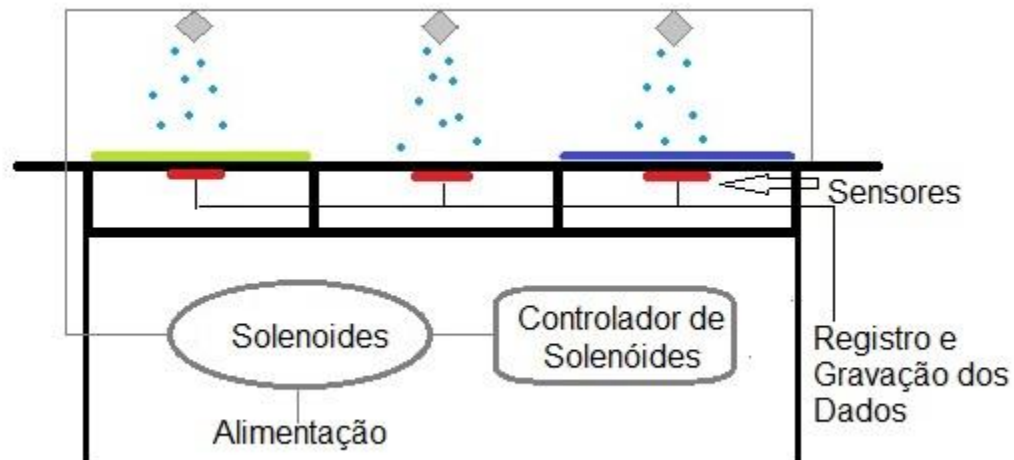


(2)

Figura 15: Campo experimental. (1) vista geral com 9 células-teste; (2) detalhe com a célula-teste abrigando o sistema de gravação de dados, estação Campbell e bancadas (indicadas pela seta). Ao fundo, ampliação das instalações da FEC.

As duas bancadas de madeira, de 1,0m x 4,10m, a 1,50m do piso, foram impermeabilizadas e receberam as telhas de fibrocimento para cobertura. As telhas onduladas receberam os acabamentos de tinta acrílica e esmalte nas cores branca, além da telha de com acabamento natural, sob as quais foram instalados transdutores de fluxo de calor e sensores de temperaturas

superficiais internas. Medindo 7cm x 9cm, esses sensores foram instalados na face interna e plana da telha. Um sistema, abrigado em uma célula-teste, realizou o registro e gravação dos dados para posterior manipulação (Figura 15).



(1)



(2)



(3)

Figura 15: Experimento bancadas. (1) croqui de aquisição de dados nas bancadas; (2) duas bancadas; (3) detalhe da fixação do transdutor de calor na parte plana da telha.

Por ser uma área aberta (poucas edificações) e muito suscetível à ação dos movimentos do ar, muito modelos de aspersores foram testados para se chegar a uma condição em que não houvesse excesso de água sobre as telhas, e que também, o *spray* de água caísse exatamente sobre os acabamentos. O

acionamento do sistema de aspersão foi ativado através de um termostato, utilizado em refrigeração e adaptado para controlar as necessidades da pesquisa - as válvulas solenoides. Assim, a partir de uma seleção de faixa experimental de temperatura (30° a 36°C), o termostato acionava a abertura das duas válvulas solenoides, adaptadas de máquinas domésticas de lavagem de roupa. Através de várias reduções de diâmetro das tubulações, o sistema alimentava os micro tubos e os aspersores, conforme se detalha na Figura 16.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 16: Montagem do sistema de aspersão. (1) tipos de micro aspersores testados nas bancadas; (2) termostato; (3) válvulas solenoides; (4) reduções de diâmetro do sistema.

Ressalta-se que a aspersão de gotas de água era executada em apenas uma das bancadas para ter-se o monitoramento dos acabamentos, sob as mesmas condições de tempo, com e sem o efeito do sistema evaporativo simultaneamente.

O monitoramento foi realizado a cada 10 minutos e os dados registrados pelo sistema de aquisição de dados, o *software* Aquis, desenvolvido pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas - LMPT da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (Figura 17).



(1)



(2)

Figura 17: Métodos de aquisição de dados. (1) equipamento de aquisição de dados do Aquis; (2) CPU e monitor para gravação dos dados.

Apesar de todos os esforços envolvidos numa pesquisa experimental, testes realizados e toda a infraestrutura montada, as coberturas das bancadas não puderam ser monitoradas por um período contínuo de dias (Figura 18). Este fato implicou no fato de não haver confiabilidade dos dados coletados para a representação dos fenômenos pesquisados – refletância solar e absorção de água pelos acabamentos. Com esta ressalva, alguns dados desta fase foram inseridos no Apêndice B, com os devidos comentários.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 18: Fases da pesquisa no campo experimental. (1) início em 2008; (2) relocação da pesquisa em setembro de 2010; (3) executando ajustes em janeiro de 2011; (4) inauguração da obra em abril de 2012 e abandono da pesquisa na fase campus.

Optou-se por apresentar a metodologia original devido a alguns fatores como: tempo envolvido na definição da metodologia, recursos (financeiro e humano) empregados nesta fase, alinhamento de atividades das equipes envolvidas, ajustes de pressão do sistema e consertos de vazamentos entre outros. E por acreditar que a omissão poderia deixar de contribuir com pesquisas futuras.

3.3.2 Fase residência

Devido aos motivos descritos anteriormente, uma nova pesquisa foi instalada próxima ao campus da Unicamp, paralelamente, na tentativa de continuidade das atividades originais, em uma residência de bairro popular.

A residência possui uma parte de sua cobertura em fibrocimento, com área de cerca de 50m², sobre a varanda, na parte frontal da edificação. Executou-se a limpeza das telhas que estavam com fungos e bolores e dividiu-se a cobertura em três áreas onde se aplicaram as tintas: impermeabilizante e tinta acrílica nas cores branca, sendo que a última parte tornou-se a referência, sem alteração do acabamento original (Figura 19). Instalaram-se calhas, para captação de água pluvial conectada a caixa de água de 200 litros, aproveitada da pesquisa do mestrado.

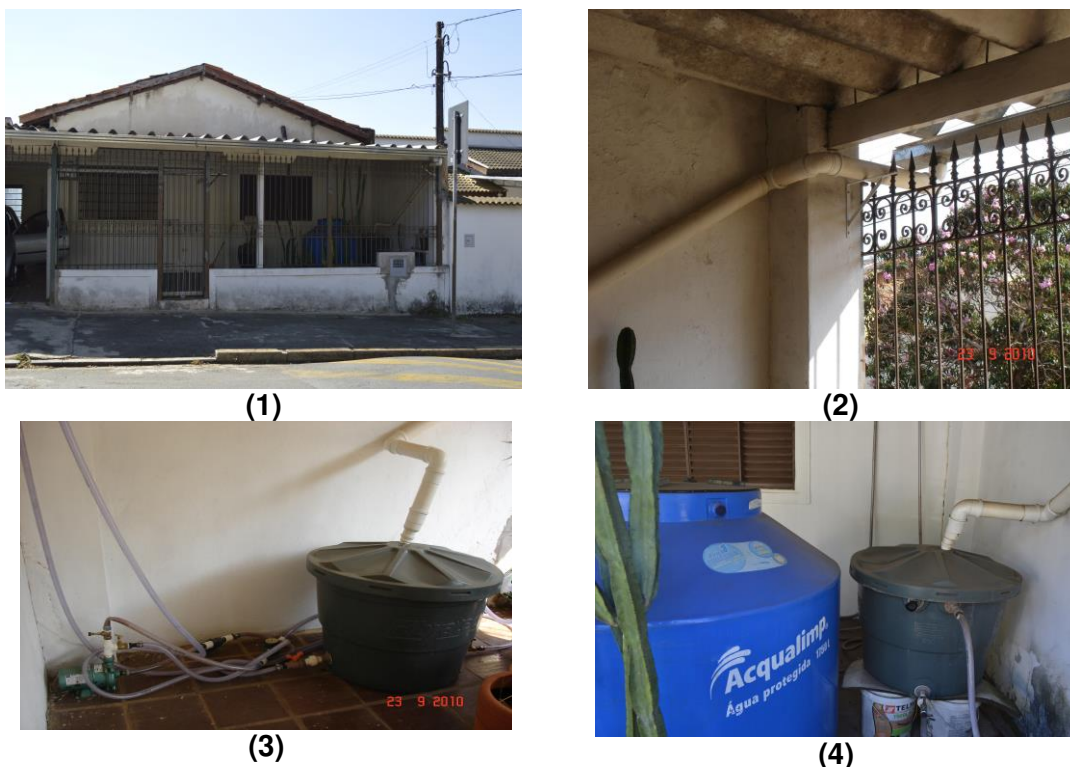


Figura 19: Execução da pesquisa na residência. (1) fachada da residência; (2) captação de água pela cobertura; (3) tubulações, bomba e caixa de água de 200l; (4) Interligação das caixas de água de 1750 e 200 litros.

Observou-se que a caixa existente e reaproveitada para a pesquisa, de 200 litros, se completava de água em apenas 15 minutos de chuva. Logo, foi necessário ampliar a reserva de água para minimizar o emprego de água tratada e vendida pela empresa de abastecimento do município. Acoplou-se ao sistema, já em funcionamento, mais uma caixa de 1750 litros (Figura 19.4).

O sistema de aspersão de água consistiu no envio da água reservada para a cobertura, através de uma bomba de 1/3CV aos micros aspersores instalados na cobertura. No sistema de circulação por tubulação de $\frac{3}{4}$, instalaram-se filtro e hidrômetro. O sistema foi programado para ser acionado todas as vezes que o termostato registrasse a temperatura selecionada. Três sensores foram instalados na face interna da telha, em regiões diferentes, conectado aos três mini *data loggers*, modelo T-175, da marca Testo (Figura 20).

Para o acionamento do sistema evaporativo, selecionou-se a temperatura máxima de 36°C e limite mínimo de 30°C no termostato para temperatura superficial interna na telha. Essa seleção de valores baseou-se na observação das curvas da temperatura do ar (TA) nos dados monitorados no campus. Logo, toda vez que a temperatura atingisse o valor máximo, era acionada a bomba que enviaria água pluvial reservada para os nebulizadores. O filtro conectado na tubulação impediria que sujeiras da cobertura inviabilizassem o funcionamento da aspersão.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 20: Partes integrantes do sistema. (1) telhas com acabamentos brancos e calha; (2) bomba, hidrômetro e filtro de água; (3) mini e individual data logger, sensor fixo na telha e termostato; (4) aspersão de água sobre a cobertura (a frente e tubulação de recirculação de água (ao fundo)).

Todo o sistema de aspersão de água é ilustrado na Figura 21, configurando um sistema aberto com recirculação de água.

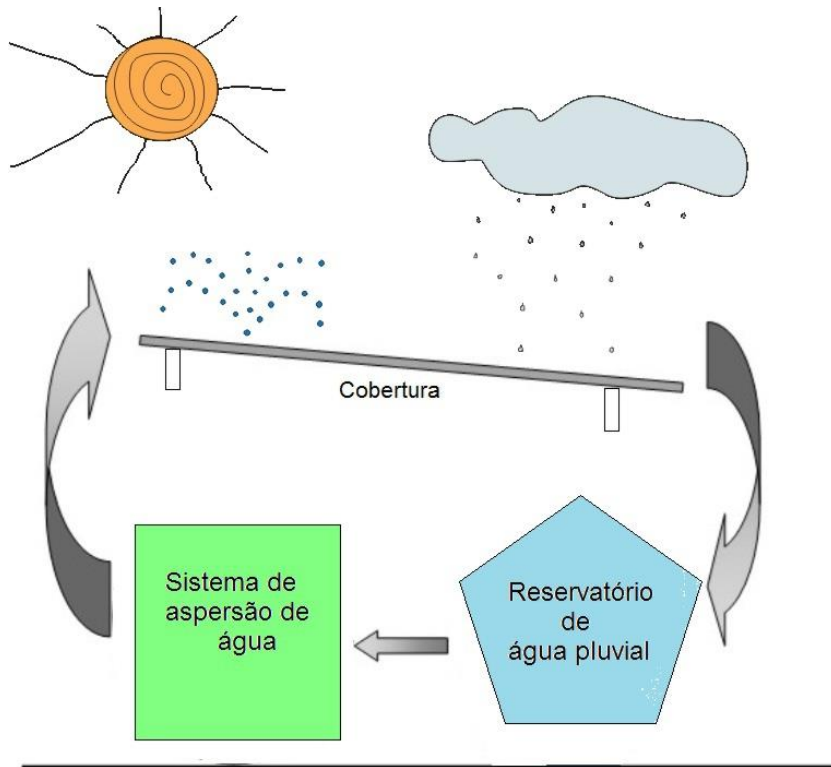


Figura 21: Croqui do funcionamento do sistema de aspersão de água instalado na cobertura da residência

Por se tratar de uma área urbanizada e mais protegida da ação dos ventos, outra tipologia de aspersores foi instalada na cobertura. A melhor opção foi a adaptação de nebulizadores, empregados em estufas, cuja contribuição foi otimizar o uso de água. Adaptaram-se esses nebulizadores aos micros tubos cuja conexão se fez em uma tubulação de PVC cujo retorno de água era executado para o reservatório (Figura 22).

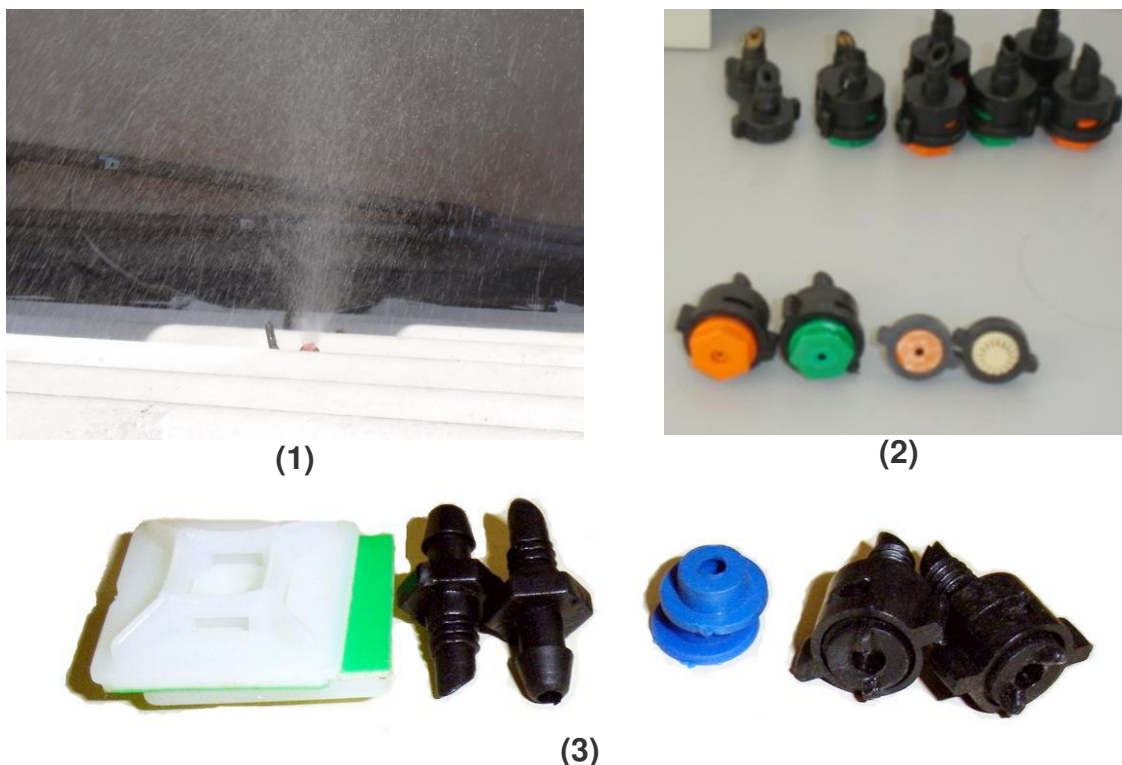


Figura 22: Resfriamento por aspersão de gotas de água. (1) Aspersão em funcionamento; (2) tipologias de microaspersores; (3) peças empregadas: fixador, conector, chulinha e nebulizador.

Os dados obtidos como temperaturas superficiais internas das telhas e variáveis meteorológicas, fornecidas pelo IAC (2011), foram submetidos à análise estatística. Através da análise de variância verificou-se o nível de significância entre os valores monitorados e teste das médias. A correlação desses dados é apresentada no capítulo Resultados e Discussões.

3.3.3 Caracterização dos acabamentos nas telhas

Os ensaios descritos a seguir foram realizados com o objetivo de caracterizar melhor o material, cuja superfície sofreu alteração do acabamento original. Recortou-se amostras de 10cm x 20cm de telhas dos acabamentos empregados na cobertura da residência: natural, tinta acrílica e tinta impermeabilizante. Na Figura 23 podem-se comparar esses acabamentos também com a pintura esmalte, na cor branca e acabamento brilho, e observar o cobrimento de tinta sobre as respectivas superfícies. O acabamento esmalte

foi empregado na fase campus e os dados monitorados são apresentados na seção Apêndice B.

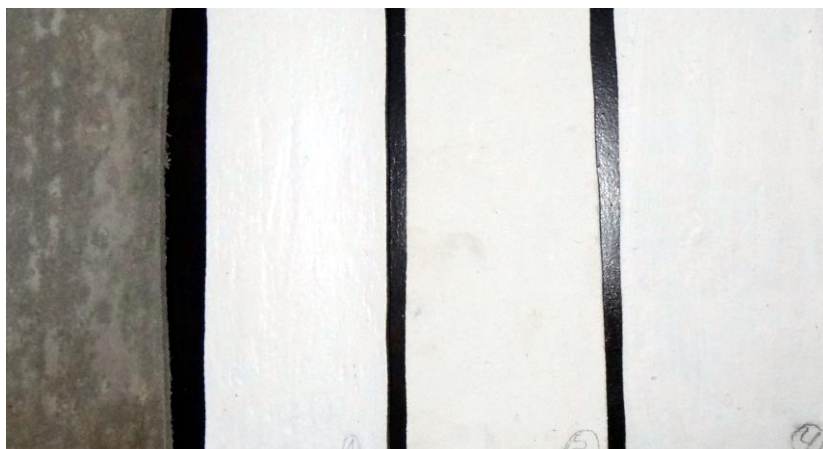


Figura 23: Amostras de telhas utilizadas nos ensaios de absorção: natural, com tinta esmalte, tinta acrílica, tinta impermeabilizante.

Realizaram-se ensaios de absorção de água nas amostras de telhas com tintas e natural com base no procedimento da NBR 7581-2 (ABNT, 2012). As telhas foram pesadas secas a temperatura ambiente e depois expostas ao ambiente de secagem (estufa a 100°C) por 24h e novamente pesadas. A seguir as amostras foram expostas as condições de aspersão de água por 6h para verificar o teor de absorção no uso específico da técnica (Figura 24).



(1)



(2)

Figura 24: de absorção de água nas amostras de telha: (1) balança de precisão; (2) amostras na estufa.

Ensaio de refletância solar média foram aplicados nas amostras de telhas (ASTM, 2009) através de equipamento portátil enquanto as medidas de emissividade média seguiram o procedimento descrito na norma C1371-04a

(ASTM, 2004), através de emissômetro portátil (Figura 25). Estas duas normas americanas normatizam os procedimentos e equipamentos para amostras de materiais de cobertura não homogêneos.

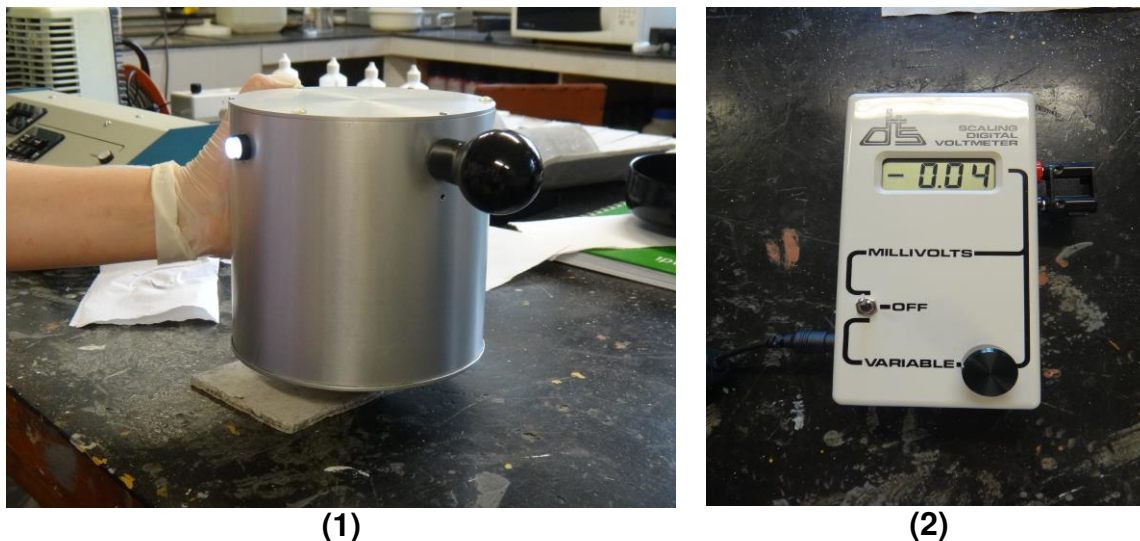


Figura 25: Equipamentos de ensaios de refletância solar e emissividade térmica. (1) reflectômetro; (2) emissômetro.

Ensaios de refletância com o equipamento de mesa, Cary 5000, foram executados nas amostras de telhas para determinação das características nas faixas do espectro eletromagnético (visível e infravermelho próximo) para melhor compreensão dos comportamentos térmicos dos acabamentos.

3.3.4 Estimativa de consumo energético

Para a utilização do software em eficiência energética, muitos foram analisados e optou-se pelo *EnergyPlus*. Ele constitui uma ferramenta com gratuidade na aquisição, disponibilidade de download e atualização a cada 6 meses da última versão, como também tem o apoio de universidades americanas e do governo americano no seu desenvolvimento e investimento respectivamente. O *software* utiliza como banco de dados de entrada, informações relativas ao objeto da simulação e dados do sítio onde a construção foi ou será construída.

As informações do objeto dependem do nível de complexidade da construção e quanto mais detalhes mais telas serão necessárias preencher para que seja efetuada a simulação. Para especificar, por exemplo, o material de cobertura, o software requer informações da seguinte ordem (Figura 21):

- ✓ Espessura (m),
- ✓ Rugosidade (variando de muito rugoso a muito suave),
- ✓ Condutividade (W/(mK)),
- ✓ Densidade (kg/m³),
- ✓ Calor específico (J/(kgK))
- ✓ Absortância: térmica, solar e visível (variando de 0 a 1)

Field	Units
Name	
Roughness	
Thickness	m
Conductivity	W/m-K
Density	kg/m ³
Specific Heat	J/kg-K
Thermal Absorptance	
Solar Absorptance	
Visible Absorptance	

Figura 21: Dados de entrada no *EnergyPlus* para caracterização do material utilizado.

Já as informações do sítio se resumem a introduzir as coordenadas geográficas, condições do solo, arquivo climático para o local. O *software* trabalha com um banco de dados de arquivos climáticos para 11 cidades brasileiras, no entanto é possível inserir arquivos. A partir das variáveis meteorológicas, coletadas pelo IAC e disponibilizadas para a pesquisa, no

período de 2001 a 2010, elaborou-se o arquivo climático para Campinas no *Karlsruher Institute für Technologie – KIT*, no formato de arquivo “*epw*”.

Para o modelamento do ambiente (Figura 22), utilizaram-se como referências as dimensões da residência, bem como sua orientação (110m² e direção leste-oeste). O modelo foi criado com 10,0m x 10,0m, pé-direito de 3,0m, paredes de 0,20m de espessura, cobertura de fibrocimento de 10,0m x 10,0m e piso de concreto de mesmas dimensões como detalha a Tabela 1.

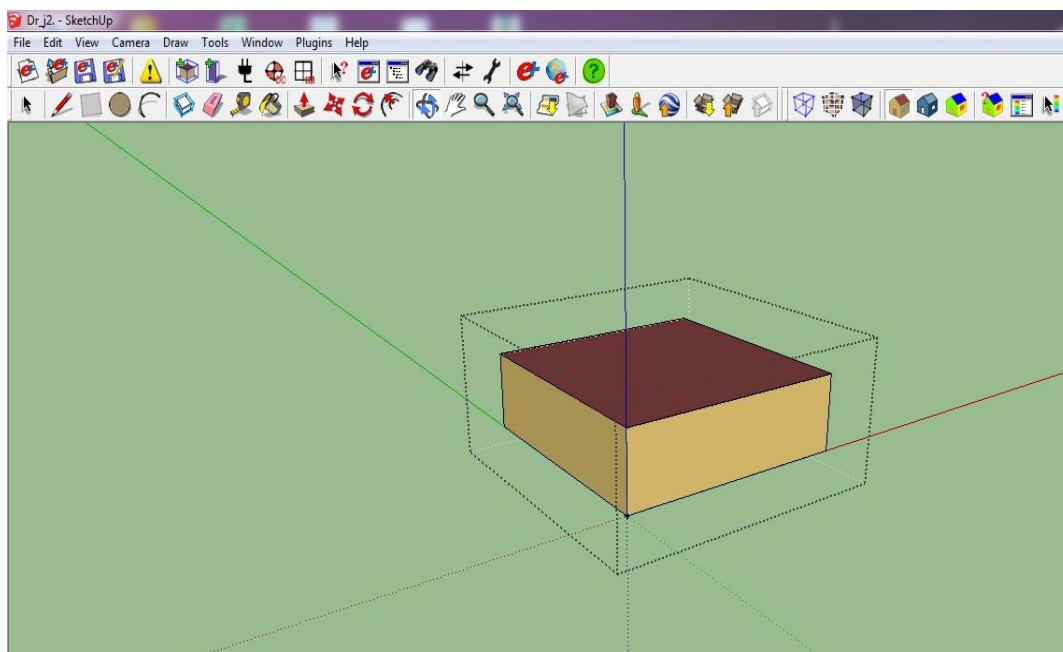


Figura 22 : Modelamento no *SketchUp* com plugin para o *EnergyPlus* do ambiente utilizado para simulação de estimativa de consumo energético.

Tabela 1: Características do modelamento do ambiente simulado.

Superfícies	Paredes	Piso	Cobertura
Área (m ²)	120,0	100,0	100,0
Volume (m ³)	24,0	10,0	0,7
Pé-direito (m)	3,00	-	-
Espessura (m)	0,20	0,10	0,007
Materiais	Tijolos cerâmicos+ argamassa	Concreto	Fibrocimento
Condutividade (W/m ² C)	0,92	1,75	0,95
Densidade (kg/m ³)	1640	2300	1900
Calor específico (J/kg ² C)	920	1000	840
Absortâncias (térmica/ solar/ visible)	0,28/ 0,14/ 0,14	0,9/ 0,7/ 0,7	0,93/ 0,75/ 0,75

As características dos acabamentos brancos foram aplicadas na simulação computacional de forma comparativa (Tabela 2), para verificar a influência da técnica na estimativa de consumo energético de um ambiente modelado, em período anual.

Com o objetivo de minimizar a interferência das superfícies compostas pelas paredes, que não foram objeto dessa pesquisa, foram adicionados aos materiais de composição das mesmas: uma camada de ar de 0,05m e 0,10m de material isolante térmico. A discriminação da orientação das paredes não é relevante para essa etapa, visto que na simulação elas foram modeladas apenas para garantir que o *software* realize a simulação, com a mínima interferência no processo de ganho de calor pela edificação.

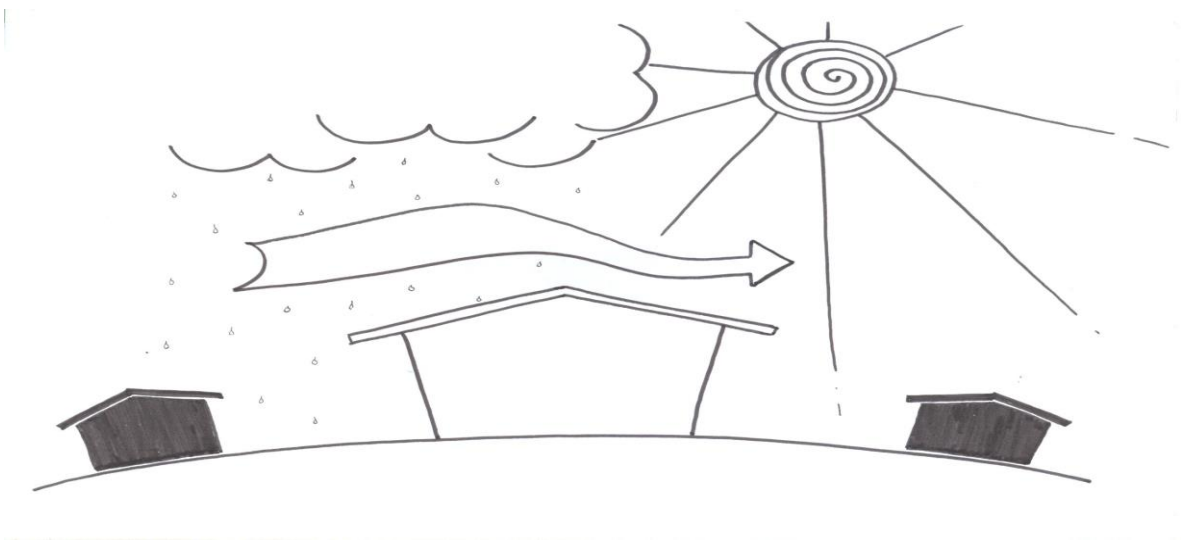
Tabela 2: Acabamentos refletivos na cobertura.

Acabamentos nas telhas de fibrocimento	Absortância		
	térmica	solar	visível
Tinta acrílica branca	0,90	0,05	0,05
Tinta impermeabilizante branca	0,91	0,15	0,15

Empregou-se o recurso do programa de auto calcular um aparelho de ar condicionado ideal, a partir das solicitações da modelagem, com coeficiente de rendimento igual a 3, capacidade total de refrigeração de 2439,75W, com funcionamento por 24 horas e ao longo do ano, todas as vezes que a temperatura do ar interno for superior a 24°C.

As simulações no *EnergyPlus* empregaram a versão 7.2, que não dispõe de um ferramenta específica para a aplicação da aspersão de água sobre um elemento construtivo. Como mencionado na revisão bibliográfica, alguma tentativa de incorporar os efeitos do resfriamento evaporativo em coberturas com o uso do *software* foi realizada através de equações. No entanto, como mencionado pelos próprios autores, tratou-se de uma metodologia imprecisa que não representou a realidade. Portanto, considerou-se na simulação somente o resfriamento refletivo através de acabamentos de cor branca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES



Este capítulo apresenta o tratamento de dados de clima por ocorrência, para caracterização do contexto em que os dados da residência foram coletados. Como também, a divisão dos períodos em que as telhas foram monitoradas é explicitada a seguir:

- ✓ Acabamentos refletivos em dias com sol – residência;
- ✓ Acabamentos refletivos + aspersão de água em dias com sol - residência;
- ✓ Acabamentos refletivos em dias de chuva - residência;

Encerrando o capítulo, os resultados da simulação computacional para um ambiente são apresentados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A seguir são apresentados dados de frequências de ocorrências das seguintes variáveis meteorológicas: radiação solar incidente (W/m^2), umidade relativa do ar (%), temperatura do ar ($^{\circ}C$) e velocidade do ar (m/s) para os meses de julho, setembro e novembro de 2010. Esses meses compõem o recorte executado no conjunto de dados para ilustrar o desempenho das técnicas. Os dados mensais foram tratados a partir de ocorrências horárias caracterizando os três períodos distintos nas Figuras de 25 a 28.

A distribuição da radiação solar no período analisado corresponde às características do clima nesses meses, com a tendência do aumento de ocorrências dos valores médios e maiores de radiação solar conforme se aproxima do verão (Figura 25).

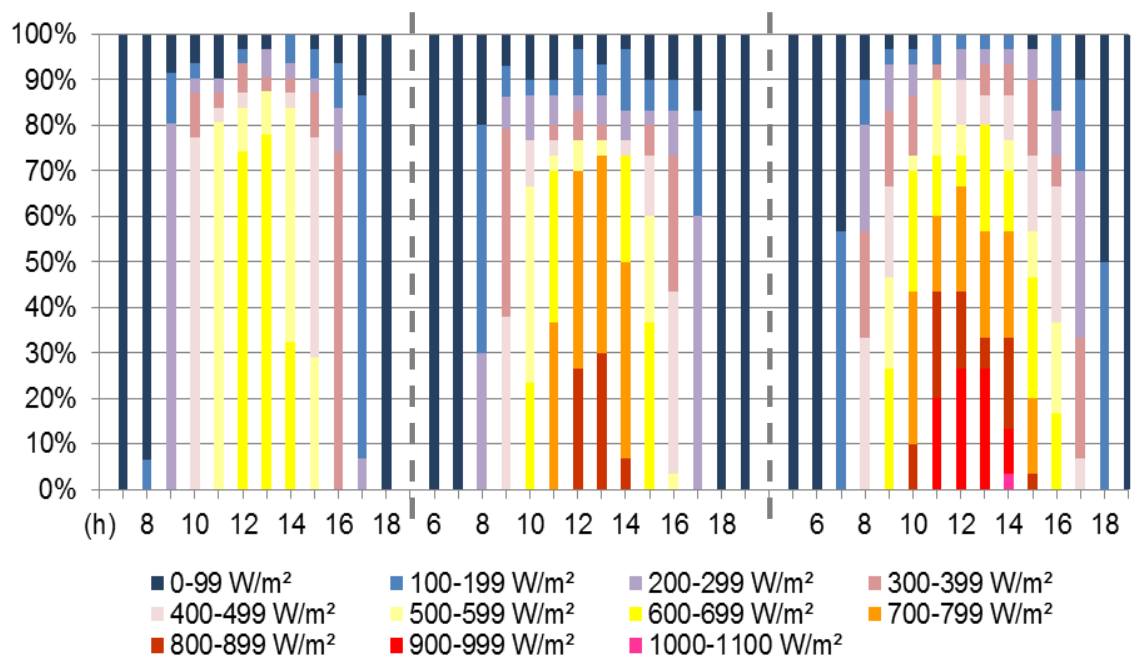


Figura 25: Frequência horária de ocorrências dos valores de radiação solar (W/m^2) nos meses de Julho, Setembro e Novembro de 2010 respectivamente.

Da mesma forma como ocorreu com a radiação solar incidente, a temperatura do ar apresentou comportamento semelhante em relação ao aumento das frequências de temperaturas mais elevadas, conforme os dias se aproximam da estação mais quente do ano como ilustra a Figura 26.

O período de estiagem costuma ocorrer mais intensamente no inverno e melhorando gradativamente com a primavera, até extinguir-se com a chegada do verão, quente e chuvoso. Na Figura 27, observa-se o aumento gradativo das ocorrências dos valores máximos de umidade relativa. No entanto, de julho para setembro, ocorrem não só valores máximos como também mínimos de umidade relativa. Este fato indica que os dias de setembro foram caracterizados por alta umidade durante a madrugada e baixa umidade relativa nas horas mais quentes, propiciando o uso da aspersão de água sobre a cobertura.

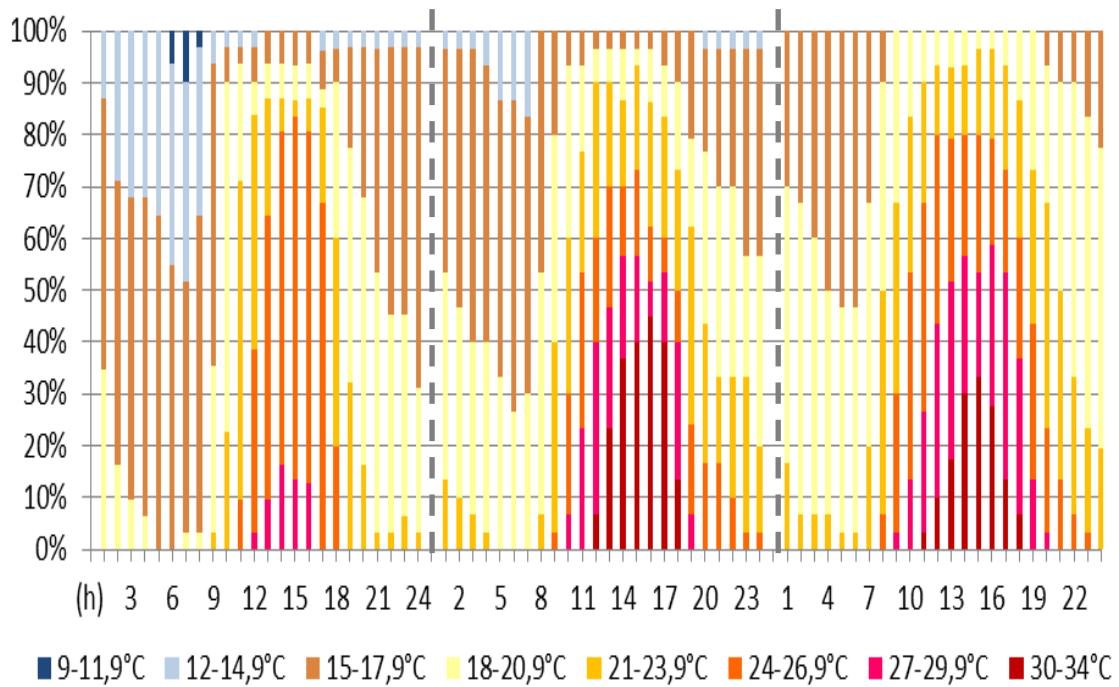


Figura 26: Frequência horária de ocorrências dos valores de temperatura do ar (°C) nos meses de Julho, Setembro e Novembro de 2010 respectivamente.

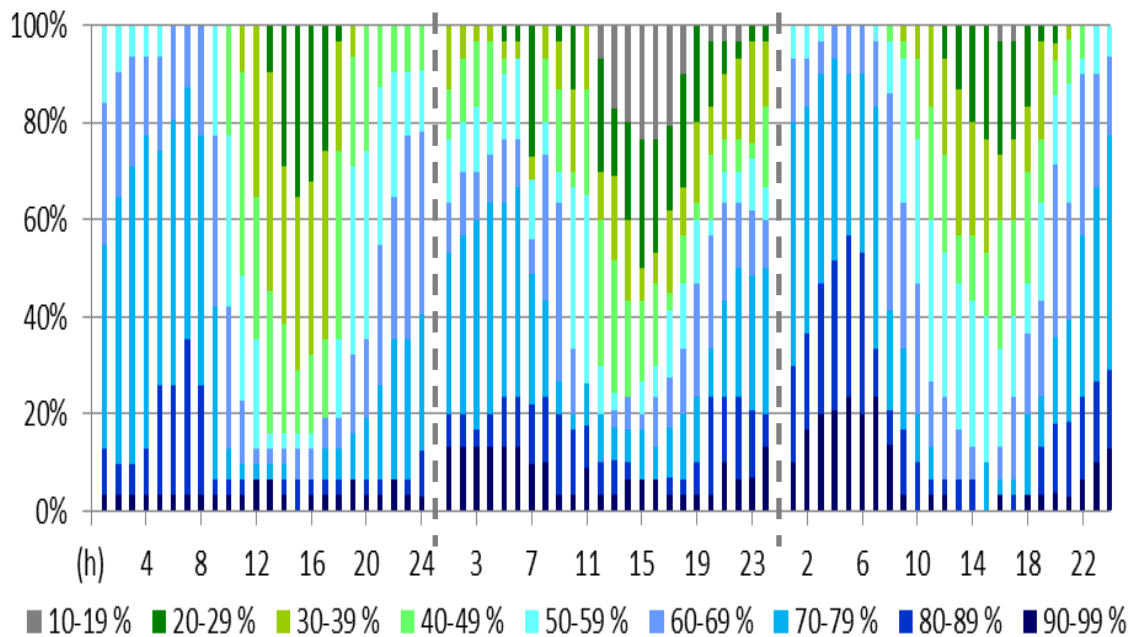


Figura 27: Frequência horária de ocorrências dos valores de umidade relativa do ar (%) nos meses de Julho, Setembro e Novembro de 2010 respectivamente.

Observando-se a distribuição de ocorrência da velocidade do ar, setembro é o mês que apresenta as maiores frequências de valores máximos e mínimos, antes e depois do período de incidência de maior radiação solar. Não obstante, de modo geral, os demais valores para velocidade do ar apresentam comportamento muito similar para todo o período (Figura 28). As ocorrências dos valores da velocidade do ar entre 11h e 14h, período com maior incidência de radiação solar e menor valor de umidade relativa do ar, são maiores entre as faixas de 2 a 3,9m/s. Destaca-se o mês de novembro que apresenta as maiores ocorrências entre 2 e 2,9m/s.

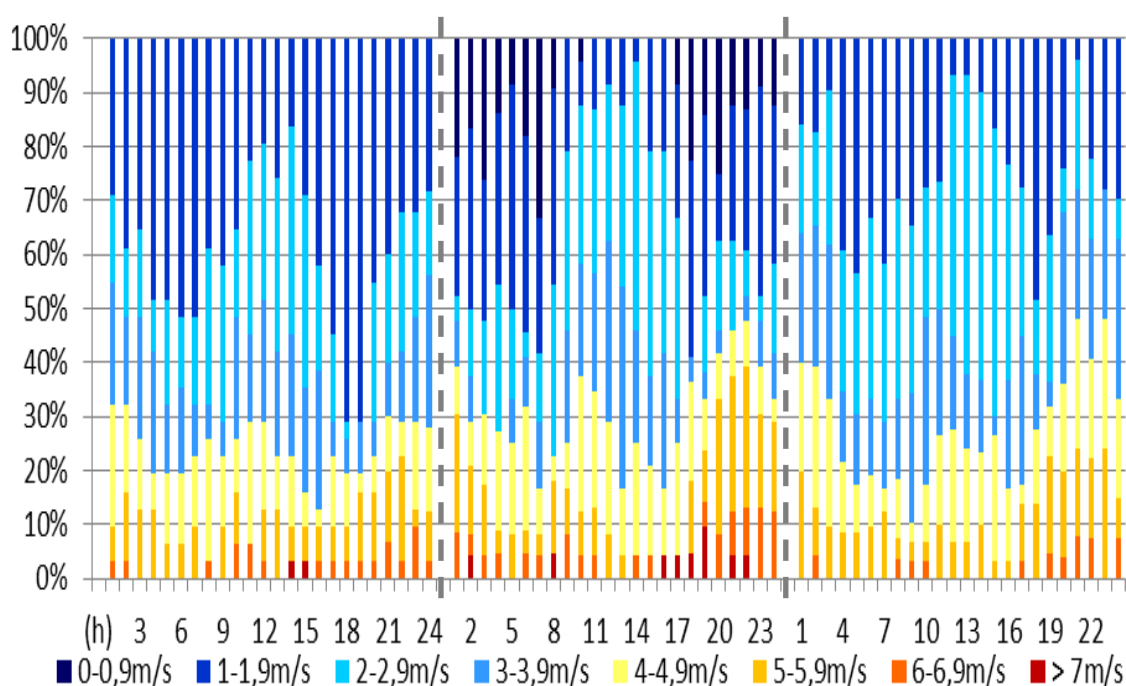


Figura 28: Frequência horária de ocorrências dos valores de velocidade do ar (m/s) nos meses de Julho, Setembro e Novembro de 2010 respectivamente.

Os valores monitorados em estação meteorológica situada em campo aberto podem diferir da realidade num contexto urbano, onde a influência da geometria das construções, as configurações dos espaços construídos e vazios urbanos e presença de vegetação interferem na velocidade e direção da movimentação do ar, num contexto micro urbano. O monitoramento do experimento na residência, observou-se que a movimentação do ar foi a variável sensivelmente influenciada pelo contexto urbano. A residência está situada

numa área urbana com característica de baixa verticalização e a presença constante de arborização nas vias, além de mata ciliar ao longo dos córregos e glebas remanescentes inseridos na malha urbana.

4.2 DIAS DE SOL

A seguir são apresentadas as curvas de temperatura do ar e das telhas da residência em comparação com o comportamento da radiação Solar (RS), da umidade relativa (UR) e da velocidade do ar (V) para novembro de 2010 (Figura 29). Na residência, os respectivos acabamentos monitorados foram identificados como: Imp – acabamento tinta impermeabilizante; Acr – acabamento tinta acrílica e Nat – acabamento natural da telha de fibrocimento.

A Figura 29 ilustra o comportamento térmico das temperaturas superficiais internas das telhas e observam-se picos menores de valores de temperatura para as curvas do acabamento acrílico. Enquanto o acabamento acrílico atinge valores em torno de 36°C e 34°C, os demais acabamentos, impermeabilizante e natural, atingem em torno de 38°C e 40°C.

Outro comportamento a observar é que, apesar de serem dias de sol, os mesmos apresentam certa nebulosidade no céu, verificada pela diminuição dos valores de radiação solar incidente e pela discreta diferença de comportamento térmico dos acabamentos. Na terceira curva os valores de radiação solar incidente decrescem, indicando o aumento significativo de nebulosidade no céu e a ocorrência de chuva em momento posterior. Ainda não se registra índice pluviométrico no dia, no entanto a condição de aumento de nebulosidade relaciona-se diretamente com o decréscimo da radiação solar direta que chega a superfície das telhas, influenciando no desempenho dos acabamentos. Assim, a diferença de valores registrados pelos acabamentos diminui ainda mais na última curva da Figura 29.

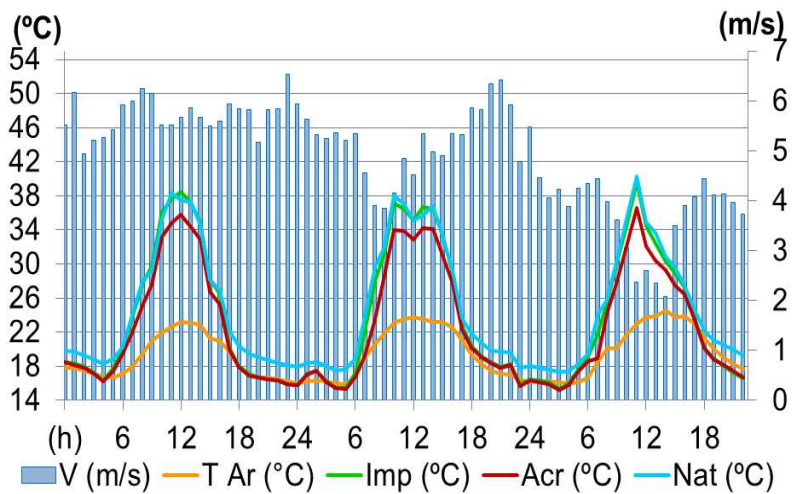
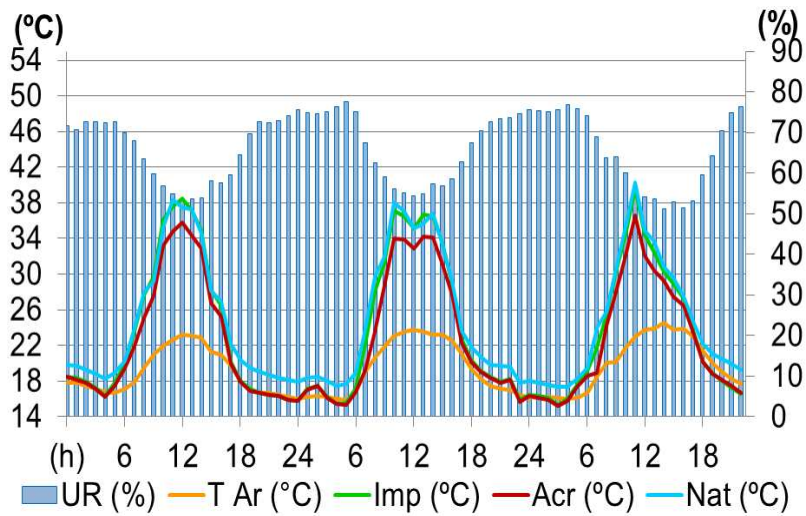
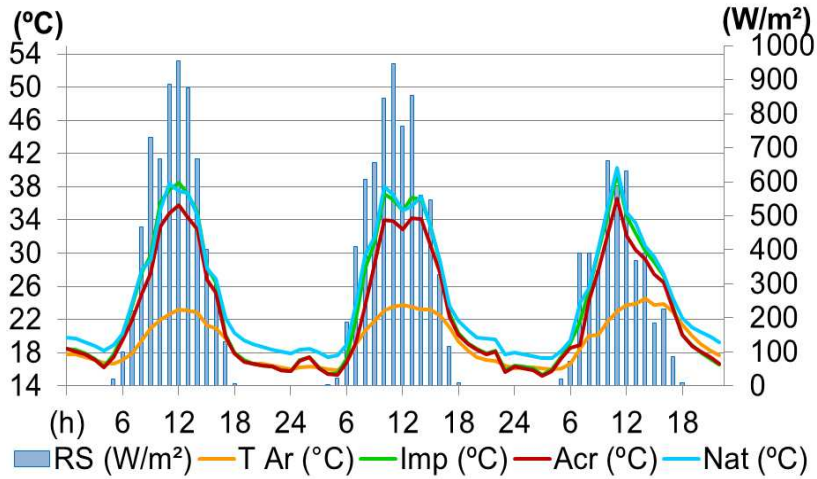


Figura 29: RESIDÊNCIA - temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar, radiação solar incidente (RS), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V) em NOVEMBRO de 2010 – em dias de sol.

Esse aumento da nebulosidade influenciou consideravelmente o comportamento do acabamento impermeabilizante. Como a Figura 29 apresentou, as curvas do acabamento impermeabilizante apresentam-se muito próximas às curvas do acabamento natural. Comportamento semelhante foi verificado nos dias de ocorrência de chuvas com céu encoberto ou parcialmente encoberto (Figuras 32 e 33).

As curvas de temperatura superficiais das telhas apresentam valores bem superiores aos valores de temperatura do ar durante o dia. Já à noite, os valores registrados entre as curvas estão mais próximos com exceção do acabamento natural que, absorveu mais calor durante o dia e, apresentou maior dificuldade para perder calor para o ambiente durante a noite.

Os procedimentos da norma C1549 (ASTM, 2009) culminam em valores médios de refletância solar. Para melhor compreender os comportamentos dos acabamentos nos diferentes cenários de exposição, solicitou-se o ensaio de refletância difusa para as faixas do visível e infravermelho próximo. A Figura 30 apresenta os acabamentos acrílico (Acr), impermeabilizante (Imp) e natural (Nat). Observa-se que os valores de refletância obtidos entre as superfícies com acabamentos brancos e a natural diferenciam-se em média em 50% dos valores medidos. Os acabamentos brancos: tinta acrílica e impermeabilizante apresentam valores mais eficientes para a redução do calor absorvido dependendo da faixa do comprimento de onda. Em comprimentos de ondas menores da faixa do visível, a tinta impermeabilizante se sobressai. Por outro lado, a acrílica se sobressai nos comprimentos de onda maiores da faixa do visível e no infravermelho próximo de acordo com os valores apresentados na Figura 30.

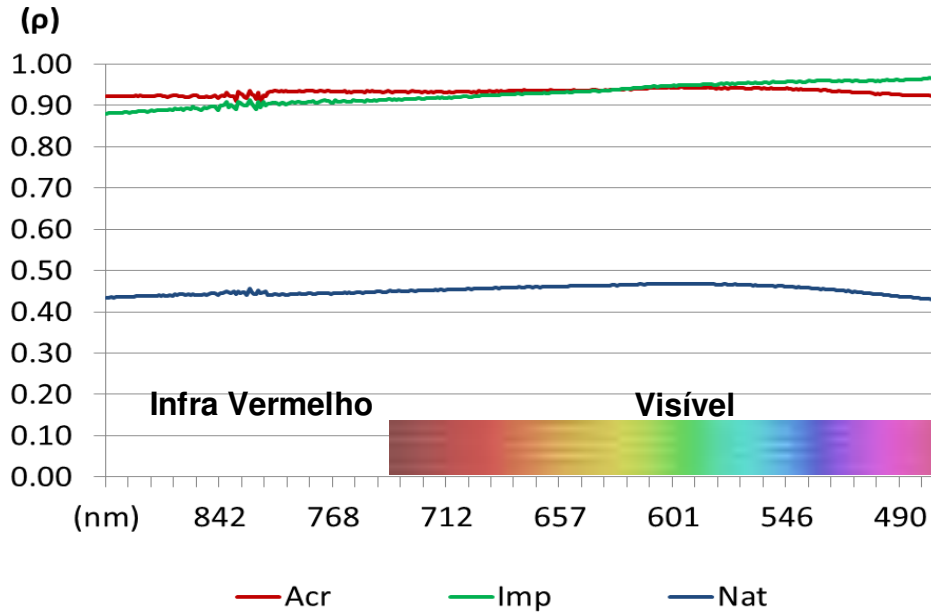


Figura 30: Refletância dos acabamentos em função das faixas do espectro eletromagnético: infra vermelho e visível.

Este comportamento dos acabamentos brancos nas diferentes faixas do espectro explica as oscilações das curvas de temperatura superficiais monitoradas dentro de um mesmo período, como por exemplo, dias de sol sem chuva. As alterações das condições de céu: céu totalmente claro, céu com nuvens e céu quase encoberto modificam as proporções de disponibilidade de radiação direta e indireta no ambiente natural. Como a propriedade de refletância solar é vinculada à radiação solar direta, variações nesta disponibilidade alteram o desempenho de um ou outro acabamento.

4.3 DIAS DE SOL E ASPERSÃO DE ÁGUA

A aplicação concomitante das duas técnicas de resfriamento na residência, refletivo e evaporativo, é apresentada para o período de novembro de 2010. A aspersão de água foi instalada sobre os acabamentos impermeabilizante e acrílico somente. Assim, a Figura 31 traz as temperaturas superficiais das telhas monitoradas em comparação com as variáveis climáticas também monitoradas pelo IAC.

Ressalta-se que a aspersão de água sobre os acabamentos brancos foi executada em um ambiente real, o que difere de um experimento realizado em laboratório, com todas as variáveis controladas e manipuladas. Assim, controlar a exatidão da localização da névoa de gotículas de água sobre a região da telha com os sensores de temperatura estava vinculado à ação de pequenas e locais movimentações de ar. Isto pode ser observado nas primeiras curvas do acabamento impermeabilizante, em que, devido à ação de brisas, a névoa não contribuiu como deveria na atenuação da temperatura superficial.

O mês de novembro, como o de setembro explicado na caracterização climática, apresenta boas condições para o emprego da aspersão de água. Entre os valores máximos registrados para o acabamento natural e os valores atenuados com a aspersão da água no acabamento acrílico apresentou-se um gradiente em torno de 26° a 29,5°C nos horários mais quentes do dia. Sublinha-se que a água empregada para tal resfriamento foi armazenada a partir da primavera, com o início das chuvas, até a estação quente e chuvosa - o verão.

As condições de baixa nebulosidade do céu, com umidade relativa baixa durante o dia e radiação solar incidente com valores máximos, permite obter o melhor desempenho térmico dos acabamentos sob influência da aspersão de água.

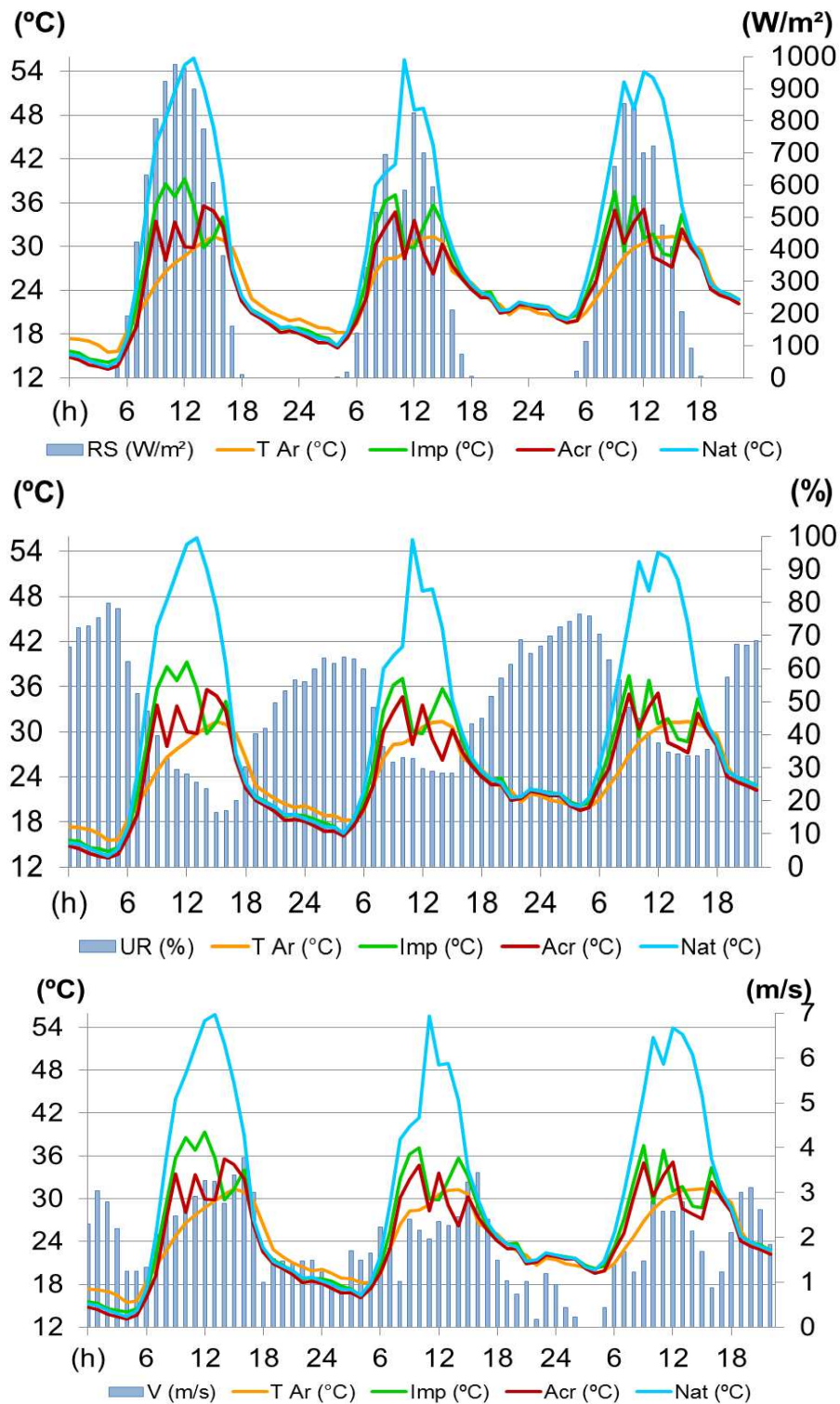


Figura 31: RESIDÊNCIA - temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar, radiação solar incidente (RS), umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V) em NOVEMBRO de 2010 – em dias de sol + aspersão de água.

Os ensaios de refletância solar média e emissividade foram realizados para as amostras das telhas com os acabamentos e os valores obtidos estão discriminados na Tabela 3. Os valores de emissividade para os acabamentos variaram de 0,90 a 0,93, e pouco diferem em razão do tipo de acabamento. Os valores apresentados no ensaio de refletância solar média já justificam o emprego de acabamentos brancos em detrimento do natural. Observa-se uma diferença da ordem de 50% nos valores de refletância solar que consideravelmente influenciaram os desempenhos térmicos dos acabamentos quando expostos a radiação solar. Quanto mais os acabamentos refletirem a radiação solar, menos esse calor será absorvido pelos materiais e conseqüentemente transferido para o interior da edificação.

Tabela 3: Ensaio de refletância solar média e emissividade térmica.

Ensaio	Acabamentos		
	Natural	Acrílica	Impermeabilizante
Emissividade (ϵ)	0,93	0,90	0,91
Refletância solar média (ρ)	0,42	0,86	0,80

Os resultados dos ensaios de absorção de água realizados em amostras das telhas empregadas na pesquisa foram embasados de acordo com a NBR 7581-2 (ABNT, 2012) com teor de absorção de água inferior a 37% do seu peso, como ilustram os valores da Tabela 4. Os cenários de exposição à aspersion de água em que as amostras foram submetidas explicam-se a seguir.

Tabela 4: Absorção de água e vapor de água nas amostras por cenários de exposição à água.

Cenários de exposição	Absorção nas telhas em percentagem (%)		
	Natural	Acrílica	Impermeabilizante
Em estufa à 100°C por 24h	-	-	-
A – Ambiente	5,28	3,95	3,33
B - Exposição à aspersion de água por 6h	8,56	6,64	5,22
(B - A)	3,28	2,69	1,89

Observa-se que a telha com acabamento branco impermeabilizante tornou a superfície da telha mais impermeável que os outros dois acabamentos. Ao extrair a amostra da telha com o acabamento impermeabilizante, observou-se a presença de um filme branco com certa elasticidade aderido a superfície de fibrocimento. Esta membrana branca possibilitou maior estanqueidade da superfície do material. Nos outros acabamentos de cor branca, os valores obtidos indicam que, possivelmente, as tintas aplicadas selaram parcialmente os poros superficiais do material para absorção de água e ou vapor de água em relação à telha natural. E com as condições de exposição à radiação solar direta, quanto menor o armazenamento superficial de água pelo material, maior o calor absorvido pela superfície da telha.

4.4 DIAS DE CHUVA

Ilustrando os dias monitorados com chuva, apresentam-se os dados registrados em julho e novembro de 2010. As Figuras 32 e 33 trazem as temperaturas superficiais dos acabamentos, além da radiação solar incidente (RS), temperatura do ar ambiente (T Ar), umidade relativa (UR), movimentação de ar ambiente (V) e índice pluviométrico (P).

Na presença de valores mínimos de radiação solar direta, alta concentração de nebulosidade e precipitação, as curvas dos acabamentos se

apresentaram muitos similares e muito próximas ao comportamento da curva de temperatura do ar. Observa-se na primeira curva da Figura 32, por exemplo, que as duas pequenas oscilações nas curvas de temperatura superficiais refletem os dois picos de valores da pequena quantidade total de radiação solar direta incidente no dia. Nestes dois pontos, há uma pequena diferença de valores para as curvas, porém no resto do dia, as curvas estão quase que praticamente superpostas.

Diferentemente da situação de sol com aspersão de água, em períodos de dias com chuva e alta nebulosidade, os acabamentos com valores altos de refletância solar pouco podem contribuir na atenuação das temperaturas superficiais das telhas. Devido à observação da proximidade entre as curvas de temperaturas dos acabamentos e a temperatura do ar, acredita-se que, em regiões onde a temperatura do ar for elevada, baseado nos dados monitorados, as temperaturas superficiais das telhas serão elevadas também, e a presença de água na superfície das telhas não contribuirá para atenuar os valores por conta das condições de alta umidade relativa do ar devido à precipitação.

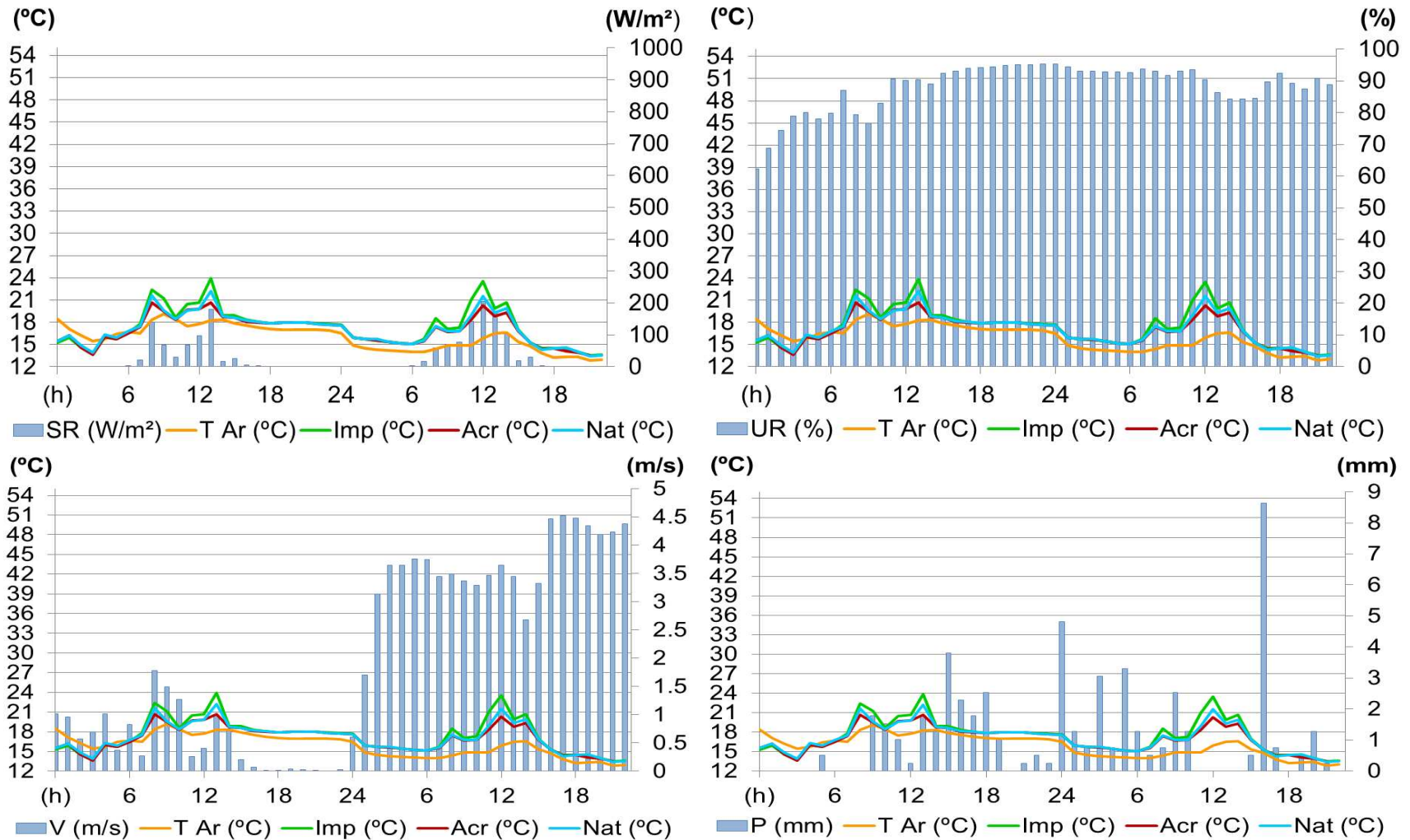


Figura 32: RESIDÊNCIA - temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar, radiação solar incidente (RS), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V) e índice pluviométrico (P) em JULHO de 2010 – em dias de chuva.

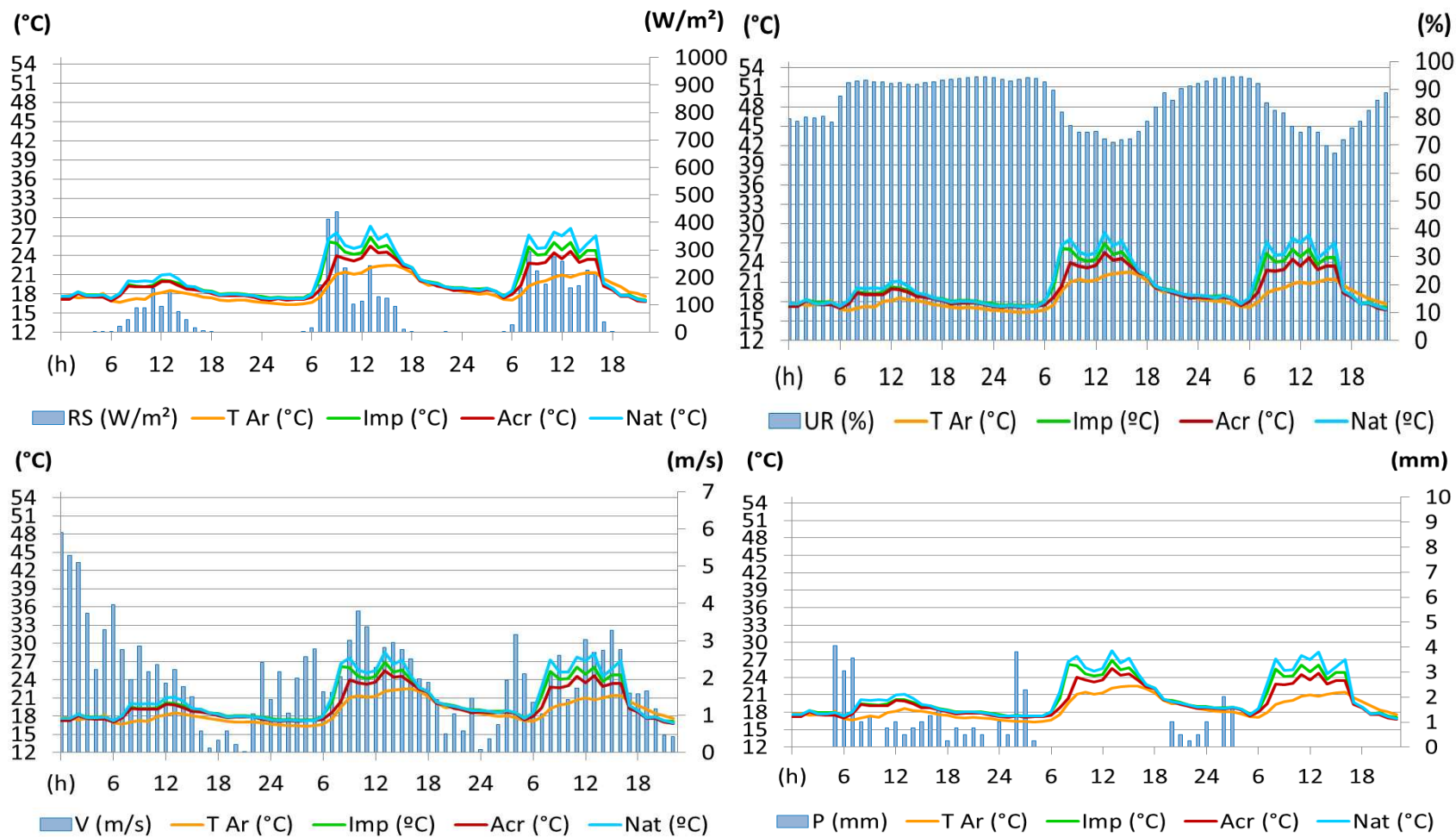


Figura 33: RESIDÊNCIA - temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar, radiação solar incidente (RS), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V) e índice pluviométrico (P) em SETEMBRO de 2010 – em dias de chuva.

4.5 ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO

Os dados da estimativa de consumo energético de um ambiente submetido às condições de resfriamento refletivo na cobertura são apresentados na Tabela 5:

Tabela 5: Estimativa de consumo energético de um ambiente sob influência do resfriamento refletivo na cobertura.

Consumo Estimado Energético Anual (kWh/ano)	Acabamentos		
	Natural	Acrílica	Impermeabilizante
	10553	628	872
Tarifa por KWh	TUSD = 0,10477 - TE = 0,16735 (CPFL, 2013)		
Consumo Estimado em Reais Anual (R\$/ano)	2872,00	171,00	238,00

Observa-se que através da estimativa de consumo de energia, os valores obtidos são favoráveis ao acabamento acrílico. Prado e Ferreira (2005) salientam que o acabamento exposto perde parte significativa de sua refletância após os 6 primeiros meses. Logo, estima-se que o custo de pintura da cobertura, 2 vezes ao ano, seria estimado em R\$ 600,00 (material e mão de obra), adicionado ao custo de funcionamento da bomba.

A bomba, cujo funcionamento foi em média de 4h/dia, o consumo é estimado em 49,2 kWh/mês (R\$13,38/mês para os valores de composição de tarifa da concessionária - Tabela 5). Para o mesmo período, o consumo de energia da bomba em reais seria aproximado de R\$ 161,00/ano. Portanto, para a manutenção do acabamento acrílico branco e aspersão de água pluvial, durante o ano, estima-se o investimento em torno de R\$ 932,00, equivalente a uma economia em torno de 67% ao ano.

Ressalta-se que a tarifa do kWh/mês, fornecida pela concessionária local é composta por, TUSD (referente pelo uso do sistema de distribuição) e TE (referente à energia elétrica consumida). Impostos e outras cobranças não foram computados nos valores apresentados na Tabela 5. E a partir de 2014,

em Campinas, vigorará o sistema de bandeiras tarifárias: verde com cobrança normal; amarela e vermelha com implicação em aumento de valor da tarifa devido ao maior custo de geração de energia. Isso se relaciona diretamente com a maior ou menor ocorrência de chuvas no ano e o nível dos reservatórios das hidroelétricas, que implica no acionamento de outras fontes geradoras de energia, como as termoelétricas. Logo, pensar e programar meios de poupar energia faz-se indispensável. E salienta-se, também, que a ocorrência dos períodos de chuvas e estiagem varia na região de ano para ano, o que pode influenciar também na disponibilidade de água pluvial para uso no sistema de aspersão.

Como o objetivo era estimar somente o impacto da influência dos acabamentos na cobertura, limitou-se a apresentar os resultados para um ambiente simulado e com o dimensionamento de um ar condicionado ideal para refrigeração. Ressalta-se que para uma análise do consumo energético para uma edificação é necessário maior detalhamento das condicionantes, como também, para uma análise de viabilidade técnica seriam necessários maior controle das variáveis implícitas no sistema.

4.6 TRATAMENTO DOS DADOS

Aplicou-se a análise de variância para teste de médias dos valores monitorados na residência. Conforme dados apresentados na Tabela 6, as médias das temperaturas superficiais monitoradas para os acabamentos foram: impermeabilizante com 24,18°C, acrílico com 23,14°C e natural com 25,90°C. Os valores de p igual ou menores a 0,05 indicam que as médias são significativamente diferentes entre si, ou seja, a tinta acrílica é o acabamento que apresentou a menor média de valores de temperaturas superficiais nos períodos monitorados para o clima subtropical.

Tabela 6: Teste de médias dos dados monitorados na residência para $p < 0,05$

Acabamentos	Média	Diferença	p-valor
A – Natural	25,90°C	A-C = 1,72°C	0,000
B – Tinta acrílica	23,14°C	A-B = 2,76°C	0,000
C- Tinta Impermeabilizante	24,18°C	B-C = 1,04°C	0,000

A Tabela 3 apresenta os valores de emissividade e refletância solar para as amostras de telhas coletadas. Observa-se que em termos de emissividade térmica os acabamentos estão com valores muito próximos. De acordo com a lei de Kirchof, assume-se que toda radiação absorvida por um corpo e que tenha provocado um aumento na temperatura, também é emitida por esse corpo (ASTM, 2004). Logo, a quantidade de calor adquirida por cada acabamento, através dos valores de absorvância térmica medidos, é emitida praticamente com a mesma emissividade entre os acabamentos ($\epsilon=0,90$ e $0,91$). Apesar dos acabamentos monitorados serem todos brancos, a tinta impermeabilizante ($\rho=0,80$) se diferencia da acrílica ($\rho=0,86$) nos valores de refletância média.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos valores monitorados em cada período da pesquisa para a cobertura da residência. Observa-se à esquerda da tabela a divisão dos períodos e técnicas empregadas como também os valores máximos de algumas variáveis climáticas monitoradas: máxima radiação solar incidente em W/m^2 ; umidade relativa máxima e mínima em %; temperatura do ar máxima em °C. Já à direita, têm-se dados relacionados aos valores máximos para as temperaturas superficiais das telhas: acabamento natural (Nat) em °C; acabamento de pintura impermeabilizante na cor branca (Imp) em °C e a pintura acrílica na cor branca (Acr) em °C. Além disso, relacionam-se as diferenças entre os acabamentos de pintura com o acabamento natural.

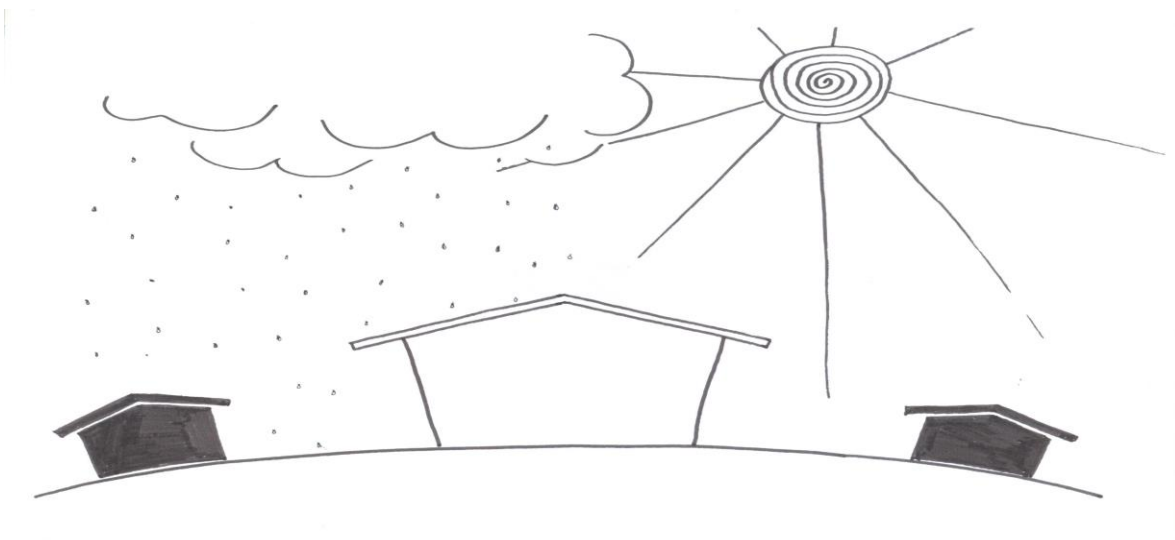
Tabela 7 – Comparativo entre os valores monitorados por período

	Variáveis climáticas		Temperaturas superficiais das telhas		
Acabamentos refletivos (sol)	Julho	656 W/m ²	Nat 29,2°C	Imp 29,5°C	Acr 29,8°C
		48 a 89% 26,3°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = -0,3°C (Nat – Acr) = -0,6°C		
	Setembro	822 W/m ²	Nat 53,3°C	Imp 46°C	Acr 41,7°C
		23,5 a 84% 32,8°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = 7,3°C (Nat – Acr) = 11,6°C		
	Novembro	976 W/m ²	Nat 40,3°C	Imp 40,2°C	Acr 36,6°C
		23,7 a 79,8% 24,5°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = 0,1°C (Nat – Acr) = 4°C		
Acabamentos refletivos + absorção de água (sol)	Setembro	776 W/m ²	Nat 49,4°C	Imp 42,8°C	Acr 38,9°C
		29 a 92% 28°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = 6,6°C (Nat – Acr) = 10,5°C		
	Novembro	976 W/m ²	Nat 55,8°C	Imp 39,3°C	Acr 33,4°C
		16,5 a 80% 31,3°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = 16,5°C (Nat – Acr) = 22,4°C		
Acabamentos refletivos (chuva)	Julho	205 W/m ²	Nat 22,2°C	Imp 23,9°C	Acr 20,7°C
		68,8 a 95,2% 22,5°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = -1,7°C (Nat – Acr) = 1,5°C		
	Setembro	438 W/m ²	Nat 28,6°C	Imp 26,9°C	Acr 25,5°C
		69,9 a 94,4% 22,5°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = 1,7°C (Nat – Acr) = 3,1°C		
	Novembro	876 W/m ²	Nat 41,3°C	Imp 38,2°C	Acr 36,8°C
		41,7 a 93,5% T Ar 26,8°C	ΔT de acabamentos (Nat – Imp) = 3,1°C (Nat – Acr) = 4,5°C		

Conclui-se que a perda de calor do elemento construtivo através da evaporação de pequena quantidade de água aspergida sobre sua superfície torna-se mais eficiente (otimizou em cerca de 50% dos valores monitorados de

temperaturas superficiais) na presença de períodos de alta radiação solar e baixa umidade relativa do ar. Somente com o resfriamento refletivo, em dias de sol, as atenuações entre o melhor desempenho (acabamento de pintura acrílica) e a referência foram em torno de 11,6°C e 4°C (em setembro e novembro respectivamente). A associação das duas técnicas, em dias de sol, possibilitou não só otimizar os seus desempenhos isolados como também produziu um grande gradiente entre os valores monitorados das telhas (acima de 22°C) em relação a telha natural.

5. CONCLUSÃO



O intuito de atenuar a transferência de calor através de atuação direta nos materiais constituintes do envelope, expostos a radiação solar direta e indireta, é recorrente nas técnicas vernáculas ou tecnológicas. Neste trabalho, investigou-se a possibilidade de aplicação de acabamentos brancos, e a aplicação de aspersão de água pluvial sobre telhas de fibrocimento, em diferentes cenários de ocorrência meteorológica.

É fato que a cor branca, quando aplicada na superfície da telha, auxilia no resfriamento da cobertura propiciando menor ganho de calor por radiação solar direta através do material. E também que, ao aspergir água em uma superfície exposta à radiação solar, parte do calor armazenado pelo material é empregada para elevar a temperatura da água como também no processo de sua evaporação.

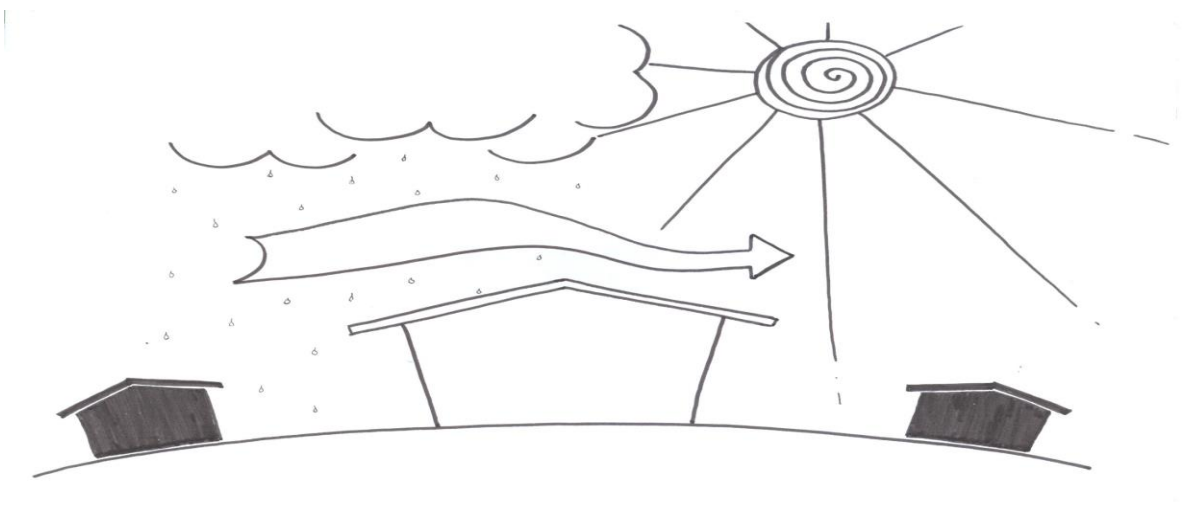
Logo, com os métodos de aquisição, tanto *in loco* como com a simulação, observou-se que a inclusão dos acabamentos brancos nas superfícies das telhas contribuiu para melhorar seus desempenhos. No entanto, quando associado à técnica de aspersão de água de chuva, os valores obtidos *in loco* para atenuação das temperaturas superficiais foram melhorados em 50% em média, para as condições climáticas de Campinas.

Ressalta-se que apesar do fabricante do acabamento impermeabilizante indicar em sua embalagem que o emprego contribui para o conforto térmico, isso pode induzir ao erro. Os resultados aqui apresentados mostraram que o mesmo acabamento apresentou pior desempenho térmico em relação à tinta branca acrílica, comum e sem indicação para fins térmicos. Em relação ao consumo de água observado, foi em média de 1m³ a cada 7 dias para uma área de 34m² de cobertura e com o emprego de 8 nebulizadores, consumo este, variável em função da intensidade da radiação solar incidente diária. E a bomba de água apresentou-se em funcionamento em média 4 h/dia, variando também pelas condições meteorológicas diárias. A estimativa de consumo médio de energia do sistema foi de 49,2 kWh/mês (THEBE, 2010).

O cenário real onde as variáveis climáticas atuam diferencia-se de ambientes controlados pela complexidade, imprevisibilidade e simultaneidade das ocorrências dos fenômenos físicos. A repetição de cenários é imprevisível e praticamente impossível, entretanto acredita-se ser melhor ter a apresentação de um fenômeno em condições reais em detrimento a sua representação em um ambiente virtual. Não obstante a disponibilidade de tempo, recursos financeiros e a complementação de informação será sempre fator decisivo do delineamento de uma pesquisa para obtenção de resultados.

Trabalhar com ferramentas de simulação de realidade traz um pouco da incerteza, pela natureza da ferramenta e, por não dispor das condições reais para checagem. Entretanto, para estimativas e pré-avaliações, elas se mostram eficazes e rápidas. No caso desta pesquisa, a simulação foi importante para estimar a consequência na escolha de uma tipologia de acabamento para a cobertura. Verificações rigorosas e detalhadas de consumo energético para uma residência real (habitada e com todas as suas cargas térmicas geradas pelo uso, além do detalhamento do tipo de aparelho de ar condicionado aplicado - mais ou menos eficiente energeticamente) não foram objeto desta pesquisa, deixando-se aqui como sugestão para próximos trabalhos.

REFERÊNCIAS



AKZONOBEL. Tintas Coral: tinta látex acrílica e esmalte. Disponível em: <<http://www.coral.com.br>>. Acesso em abril de 2009.

ALEMANHA. *EnOB, Forschung für Energieoptimiertes Bauen*. Disponível em: <<http://www.enob.info>>. Acesso em dezembro de 2010.

AL-RABGHI, O. M; HITTLE, D. C. Energy simulations in buildings: overview and BLAST example. *Energy Conservation and Management*, n. 42, p. 1623-1635, 2001.

AL-SANEA, S. A. Thermal performance of building roof elements. *Building and Environment*, n. 37, p. 665-675, 2002.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. *Fundamentals Handbook*. Atlanta: ASHRAE, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. *ASTM C1371-04a: Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometer*. West Conshohocken: 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. *ASTM C1549: standard test method for determination of solar reflectance near ambient temperature using a portable solar reflectometer*. West Conshohocken, 2009.

ANDREASI, W. A. *Avaliação do impacto de estratégias bioclimáticas na temperatura de edificações no Passo do Lontra do Estado do Mato Grosso do Sul*. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, CTC, ECV. Florianópolis, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações*. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2010). *NBR 15575 - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos*. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5642: Telha de fibrocimento – Verificação da impermeabilidade.** Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15210-1: Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Parte 1 – Classificação e Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15210-2: Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Parte 2 – Ensaios.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15210-3: Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios. Parte 3 – Amostragem e inspeção.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6470: Telha de fibrocimento – Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7581-2: Telha ondulada de fibrocimento. Parte 2 – Ensaios.** Rio de Janeiro, 2012.

BASF – The Chemical Company. **PCM Micronal.** Disponível em: <http://www.micronal.de/portal/load/fid44384/BASF_Micronal_PCM_Brochure%202009_English.pdf>. Acesso em dezembro de 2011.

BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*, n. 25, p. 149-158, 1997.

BOIXO, S.; DIAZ-VICENTE, M.; COLMENAR, A.; CASTRO, M. A. Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia. *Energy*, n. 38, p. 425-438, 2012.

BRASIL. **Centro brasileiro de informação de eficiência energética, PROCEL info: etiquetagem em edificações.** Brasília Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em outubro de 2010.

BREESCH, H; BOSSAER, A; JANSSENS, A. Passive cooling in a low-energy office building. *Solar Energy*, n 79, p. 682–696, 2005.

BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, n. 25, p. 149-158, 1997.

BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, n. 25, p. 159-167, 1997.

BRETZ, S.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. H. Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat island. **Atmospheric Environment**, vol. 32, n. 1, p.95-101, 1998.

BÜTTNER, S.B; DUARTE, D. Aplicação de desempenho térmico e energético de coberturas em clima tropical continental. In: **X ENCAC e IV ELACAC 2009 - Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais em CD. Natal: Antac, 2009.

CARLO, J C; LAMBERTS, R. **Relatório Técnico: LabEEE-200504. Processamento de arquivo climático para simulação do desempenho térmico de edificações**. ELETROBRÁS/PROCEL, Florianópolis, SC, 2005.

CAVALCANTI, J. R. de S. **Estudo experimental comparativo entre resfriamento evaporativo e radiativo em ambientes cobertos com telhas de fibrocimento em região de clima quente e úmido**. 2001. 148p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo -USP, São Paulo, 2001.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - **CEPAGRI**. Disponível em <<http://www.cpa.unicamp.br/o-cepagri.html>>. Acesso em dezembro de 2012.

CHOWDHURY, A. A; RASUL, M. G; KHAN, M. M. K. Thermal-comfort analysis an simulation for various low-energy cooling-technologies applied to an office building in a subtropical climate. **Applied Energy**, n. 85, p. 449–462, 2008.

CHWIEDUK, D. A. Recommendation on modelling of solar energy incident on a building envelope. **Renewable Energy**, v. 34, p. 736-741, 2009.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL. Descrição da conta - tarifas. Disponível em: www.cpfl.com.br. Acesso em 2013.

COOL ROOF RATING COUNCIL - CRRC. **CRRC-1 Test Method #1: Standard Practice for Measuring Solar Reflectance of a Flat, Opaque, and Heterogeneous Surface Using a Portable Solar Reflectometer**. Oakland:

2012.

Disponível

em:

<http://www.coolroofs.org/documents/FinalMethod072605.pdf>

DOERKEN MKS-Systeme GmbH & Co. **Delta Cool – PCM**. Disponível em: <<http://www.doerken.de/bvf-en/produkte/pcm/index.php>>. Acesso em dezembro de 2011.

DORNELLES, K. A. **Absortancia solar de superficies opacas: metodos de determminação e base de dados para tintas latex acrilica e PVA**. 2008. 160 p. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2008.

FASIUDDIN, M; BUDAIWI, I; ABDU, A. Zero-investment HVAC system operation strategies for energy conservation and thermal comfort in commercial buildings in hot-humid climate. **International Journal of Energy Research**, 34, p. 1-19, 2010.

GIVONI, B. Performance of the shower cooling tower in different climates. **Renewable Energy**, v.10, n.2/3, p. 173-178, 1997.

GOULART, S.; FIRMINO, S.; LAMBERTS, R. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção; UFSC, 1998. 345p.

GOSSAUER, E; LEONHART, R; WAGNER, A. **Workplace occupant satisfaction - a study in sixteen German office buildings**. [s.l.]. Disponível em: <<http://nceub.commoncense.info/uploads/47Wagner.pdf>>. Acesso em dezembro 2010.

IKEMTASU, P. **Estudo da refletância e sua influência no compertametro térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. 117 p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo -USP, São Paulo, 2007.

INSTITUTO AGRONOMOICO DE CAMPINAS – IAC. **Séries históricas de dados meteorológicos para a cidade de Campinas-SP**. Disponível por arquivos digitais, 2011.

KANT, K; MULLICK, S. C. Thermal comfort in a room with exposed roof using evaporative cooling in Delhi. **Building and Environment**, vol. 38, n.1, p.185-193, 2003.

KARLESSI, T; SANTAMOURIS, APOSTOLAKIS, K; M; SYNNEFA, LOVADA, I. development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. **Solar Energy**, vol. 83, p. 538-551, 2009.

KARLESSI, T; SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; ASSIMAKOPOULUS, D; DIDASKALOPOULOS, P; APOSTOLAKIS, K. Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. **Building and Environment**, vol. 46, p. 570-576, 2011.

LEVINSON, R; AKBARI, H; KONOPACK, S; BRETZ, S. Inclusion of cool roofs in nonresidential Title 24 prescriptive requirements. **Energy and Policy**, vol. 33, n.1, p.151-1703, 2005.

LEVINSON, R; AKBARI, H; REILLY, J. C. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. **Building and Environment**, vol. 42, n.1, p.2591-2605, 2007.

NAHAR, N. M.; SHARMA, P.; PUROHIT, M. M. Studies on solar passive cooling techniques for arid areas. **Energy and Buildings**, n. 35, p. 153-159, 2003.

NASCIMENTO, L. B. P. do; BARBOSA, M. J. Análise da influência de variáveis construtivas e de variáveis de uso e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritório. In: **X ENCAC e IV ELACAC 2009 - Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais em CD. Natal: Antac, 2009.

NASCIMENTO, G. R.; RORIZ, M. Refrigeração evaporativa de telhado cerâmico por meio de gotejamento de água. In: **VIII ENCAC e IV ELACAC 2005 - Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais em CD. Maceió: Antac, 2005.

NEUMANN, C; HERKEL, S; LÖHNERT, G; VOSS, K; WAGNER, A. Application of inverse models for long-term-energy-monitoring in the German. In: **Proceedings of the Sixth International Conference for Enhanced Building Operation: Control Systems for Energy Efficiency and Comfort**, Shenzhen, China, 6-9 November 2006, vol V-6-3.

OTTO BAUMGART. Impermeabilizantes Vedacit: Vedapren branco. Disponível em <http://www.vedacit.com.br>>. Acesso em setembro de 2009.

POPISIL, J; NESPUREK, S. Photostabilization of coatngs. Mechanisms and performance. **Progress in Polymer Science**, vol. 25, p.1261-1335, 2000.

PRADO, R. T. A.; FERREIRA, F. L. Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials. **Energy and Buildings**, n. 37, p.295-300, 2005.

RIEDERER, P; KEILHILZ, W; DUCREUX, V. Coupling of TRNSYS with SIMULINK – A method to automatically export and use TRNSYS models within SIMULINK and vice versa. In: **Proceedings of Eleventh International IBPSA Conference**, Glasgow, Scotland, 27-20 July, 2009.

ROLIM, G. de S; DE CAMARGO, M. B. P; LANIA, D. G; DE MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

RORIZ, V. F.; RORIZ, M. Sistemas evaporativos de resfriamento de coberturas: estudo de casos em São Carlos, Sp, Brasil. In: **VIII ENCAC e IV ELACAC 2005 - Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais em CD. Maceió: Antac, 2005.

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat island and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, vol. 85, p. 3085-3102, 2011.

SAKKA, A; WAGNER, A; SANTAMOURIS, M. Thermal comfort and occupant satisfaction in residential buildings – Results of field study in residential buildings in Athens during the summer period. In: **Proceedings of Conference Adapting to Change: New Thinking on Comfort** Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Disponível em: <<http://nceub.org.uk>>.

SPALA, A; BAGIORGAS, H.S; ASSIMAKOPOULOS, M.N; KALAVROUZOTIS, J; MATTHOPOULOS, D; MIHALAKAKOU, G. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potencial investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. **Renewable Energy**, v. 33, p. 173–177, 2008.

SILVA, A. C. S. B. da; CUNHA NETO, J. A. B. da; LAMBERTS, R. Modelo de simulação de desempenho térmico de edificações condicionadas com microaspersão d'água. In: **VIII ENCAC e IV ELACAC 2005 - Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais em CD. Maceió: Antac, 2005.

SYNNEFA, A; SANTAMOURIS, M; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, n. 80, p. 968-981, 2006.

STEEMAN, M; JANSSENS, A; DE PAEPE, M. Performance evaluation of indirect evaporative cooling using whole-building hygrothermal simulations. **Applied Thermal Engineering**, n 29, p. 2870–2875, 2009.

TAVARES, L. R; AMORIM, C. N. D. Identificação do ano climático de referência para Uberlândia - MG. In: **XIII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído – ENTAC, 6 a 8 outubro de 2010**. Anais em CD. Canela-RS: Antac, 2010.

TEEMUSK, A; MANDER, U. Green Roof potential reduce temperature fluctuations of membrane: a case study from Estonia. **Building and Environment**, n. 44, p. 643-650, 2009.

TEIXEIRA, C. F. B. **Comportamento térmico de coberturas de fibrocimento em Campinas-SP: aplicação de técnicas passivas**. 2006, 132p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2006.

TEIXEIRA, C. F. B.; LABAKI, L. Monitoring of Passive Cooling on Typical Roofing of House in Subtropical Climate. In: Proceedings of **2nd. International Conference on Building Energy and Environment – COBEE**. 1-4 August, Boulder, USA, 2012, ISBN/ISSN: 0-9816881-9-5.

TEIXEIRA, C. F. B.; LABAKI, L. C. Study of Evaporative Cooling Roofing in Subtropical Climate. In: Proceedings of **3rd. International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment- PALENC and 1st. Coll Roofs Conference**. 29 September – 1 October, Rhodes Island, Greece, 2010, ISBN: 978-960-6746-08-6.

TEIXEIRA, C. F. B; LABAKI, L. C. Study of thermal behaviour of roofing on subtropical climate: the use of radiant barrier. **International Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 2, n.1, p. 12-17, 2013. Doi: 10.11648/j.ijrse.20130201.12.

THEBE BOMBAS HIDRÁULICAS LTDA. Especificações técnicas B-12 NR 1/3CV Monofásica. Disponível em: <http://www.pipers.com.br/Catalogo/painel/documento/B-12 - BA-121.pdf>. Acesso em 2010

TIWARI, G. N; KUMAR, A; SODHA, M. S. A review – cooling by water evaporation over roof. **Energy Conversion Management**, vol.22, p. 143-153, 1982.

VOSS, K; REINHART, C; LÖHNERT, G; WAGNER, A. Towards lean buildings – examples and experience from a German demonstration program for energy efficiency and solar energy use in commercial buildings. In: **Proceedings of International Conference on Solar Heating, Cooling and Building**, [s.l.]. Disponível em: <http://www.archiv.solarbau.de/monitor/doku/proj00/dokuproj/eurosun_monitor.pdf> Acesso em Dezembro de 2010.

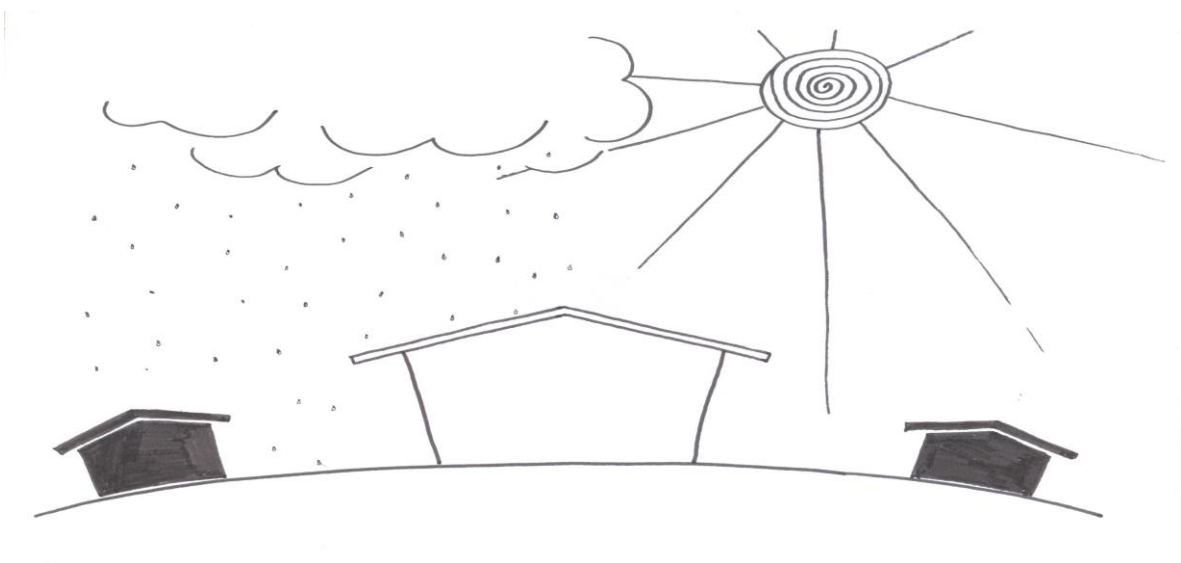
WAGNER, A; MOOSMANN, C; GROPP, T; GOSSAUER, E. Thermal comfort in a naturally ventilated office building in Karlsruhe, Germany – results of a survey. In: **Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors**, 10–14 June, Helsinki, Finland, 2007.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, L. Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais. In: **IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Ouro Preto: ANTAC, 2007.

WITTEWER, C; HUBE, W; SCHOSSIG, P; WAGNER, A; KETTNER, C; MERTINS, M; RITTENHOFER, K. ColSim – a new simulation environment for complex system analysis and controllers. In: **Proceedings of Seventh International IBPSA Conference**, Rio de Janeiro-RJ, Brazil, 13-15 August, 2001.

WONG, N.H.; CHEN, Y.; ONG, C. L.; SIA, A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, n.38, p.261-270, 2003.

APÊNDICE A



No Apêndice A é apresentado, de forma comparativa, o comportamento dos acabamentos brancos na cobertura e aspensão de água. As temperaturas superficiais internas são apresentadas juntamente com a temperatura do ar (TAr) e a radiação solar (RS) para outros meses de altas temperaturas na cidade de Campinas.

O comportamento dos acabamentos monitorados, acrílico branco e impermeabilizante branco, é influenciado pela variação da intensidade e disponibilidade da radiação solar (condições de céu), através da alta capacidade de reflexão dos raios solares incidentes. Das Figuras A1 à A3, observam-se as curvas de temperaturas da telha em função da variação de atuação das variáveis climáticas.

O resfriamento evaporativo foi instalado apenas sobre as telhas com acabamentos brancos, no entanto, variações da direção do vento sobre a cobertura, conduziram alguma névoa de gotas de água sobre as telhas com acabamento natural, como pode ser observado no mês de janeiro de 2011.

O aumento da nebulosidade do céu influenciou no desempenho do acabamento impermeabilizante de cor branca, que sob essas condições, apresentou curvas de temperaturas superficiais internas maiores que as dos demais acabamentos em fevereiro de 2011.

E com a situação de céu encoberto e precipitação, março de 2011, os acabamentos brancos não podem contribuir com a refletância solar de maneira eficiente. No entanto, as temperaturas superficiais internas das telhas ficaram muito próximas às temperaturas do ar.

Tanto no capítulo Resultados e Discussões como no Anexo A, o acabamento acrílico branco, obteve o melhor desempenho térmico. No anexo seguinte, Anexo B, é apresentado o comportamento do fluxo térmico: descendente para o ganho de calor e ascendente para a perda (noite e em parte de manhã) que e em parte ilustra o desempenho satisfatório deste acabamento.

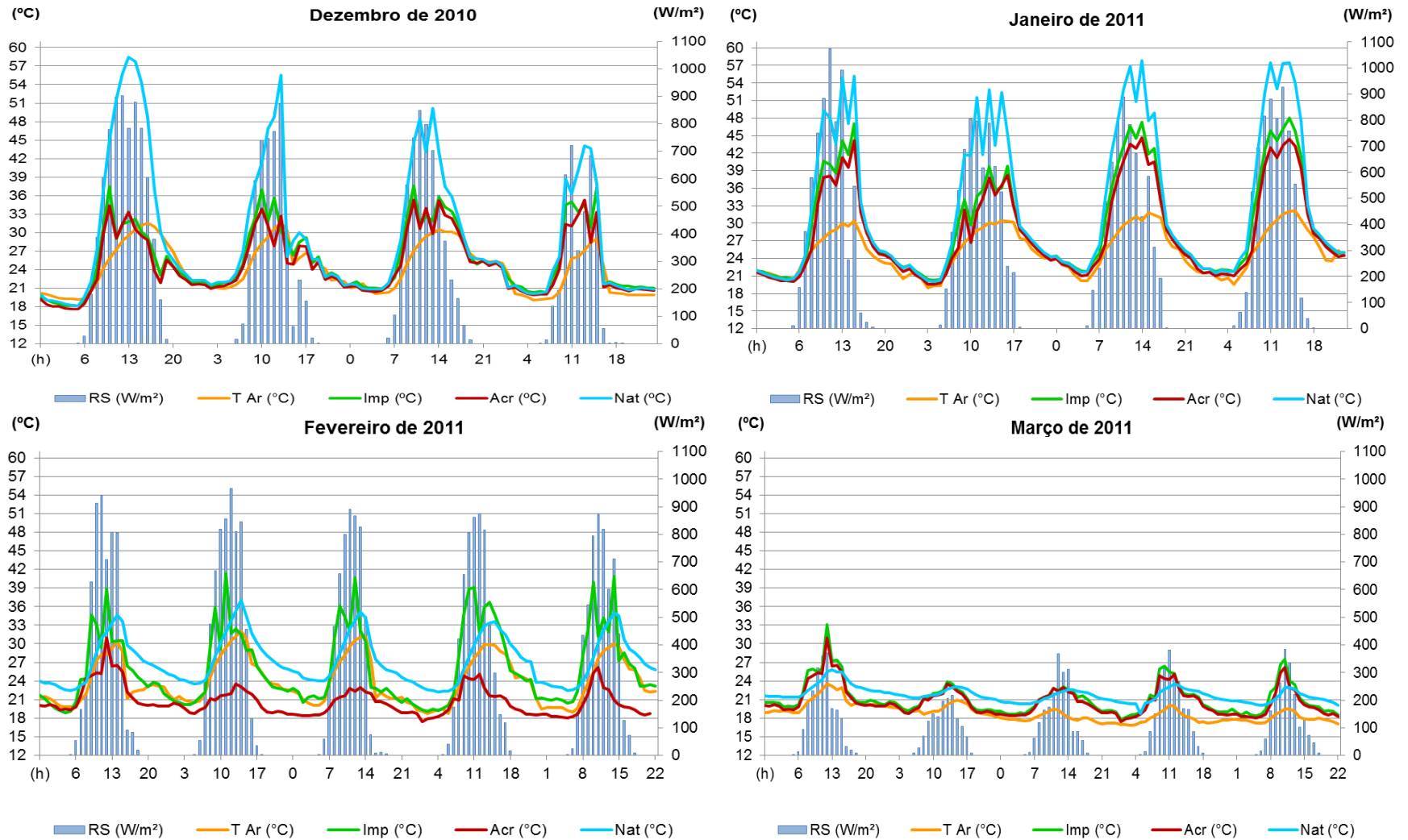


Figura A1: RESIDÊNCIA – Comparativo entre períodos com temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar e radiação solar global incidente – acabamentos refletivos em dias de sol+aspersão de água.

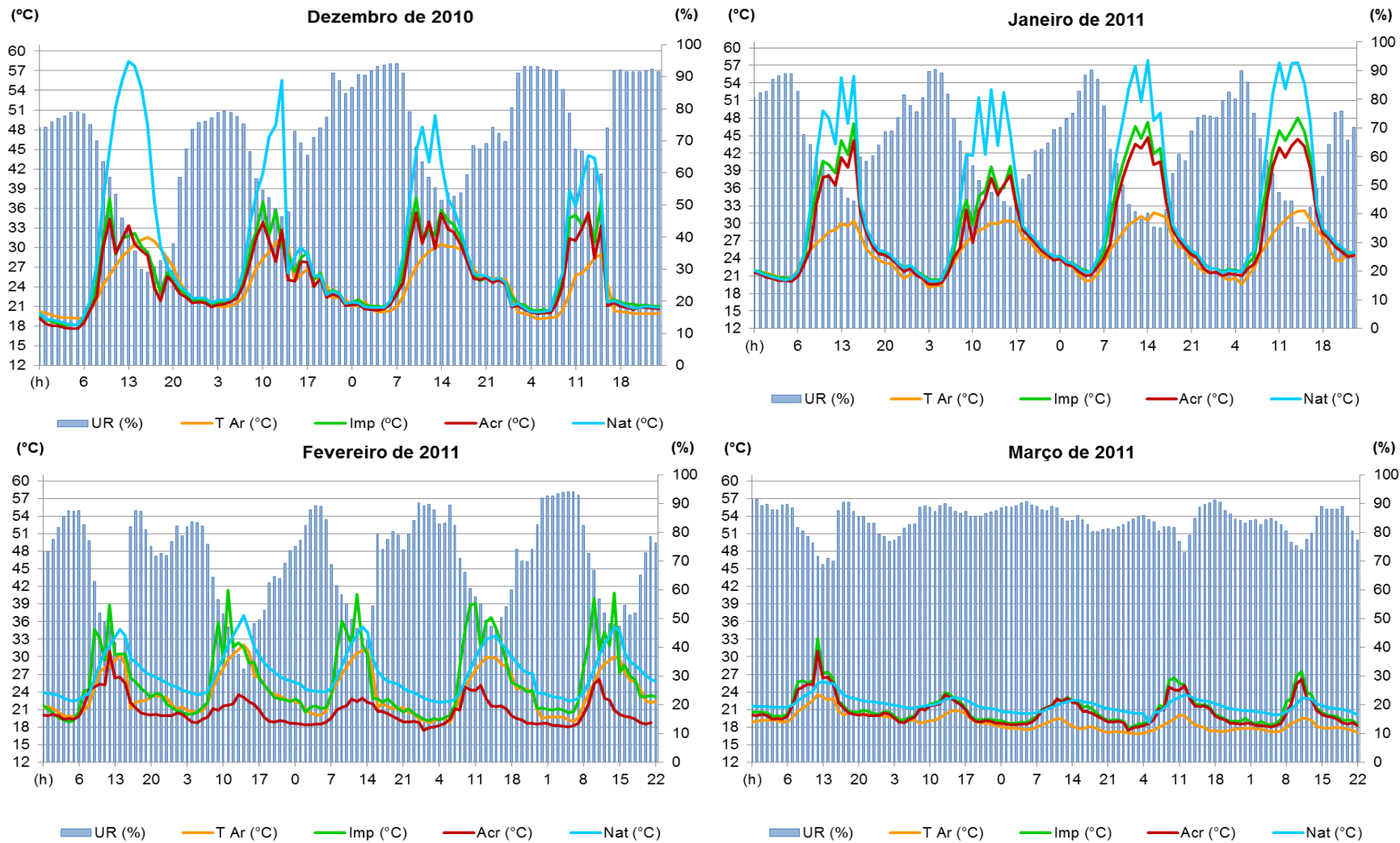


Figura A2: RESIDÊNCIA – Comparativo entre períodos com temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar e umidade relativa – acabamentos refletivos em dias de sol + aspersão de água.

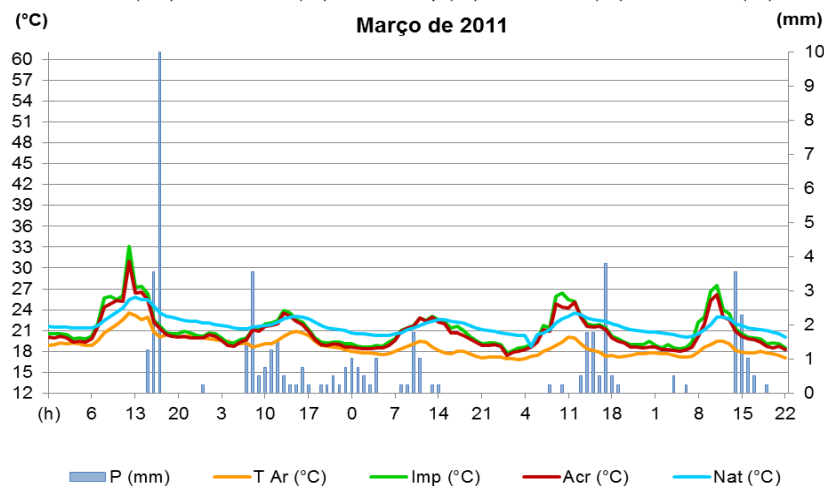
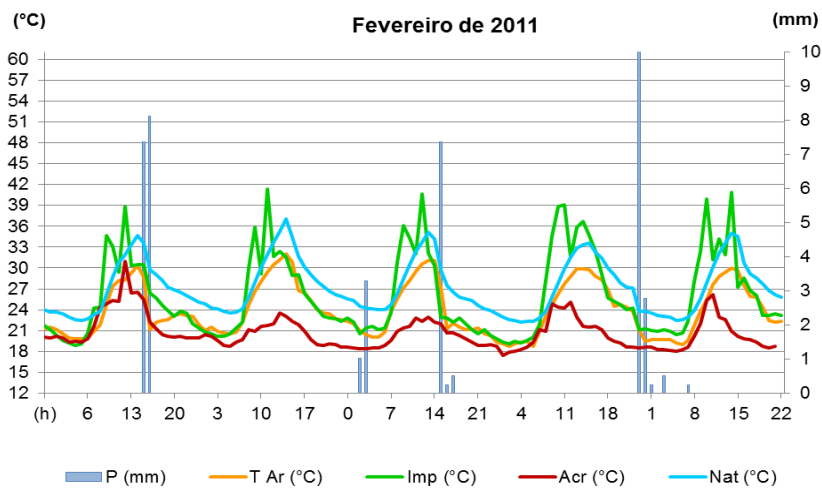
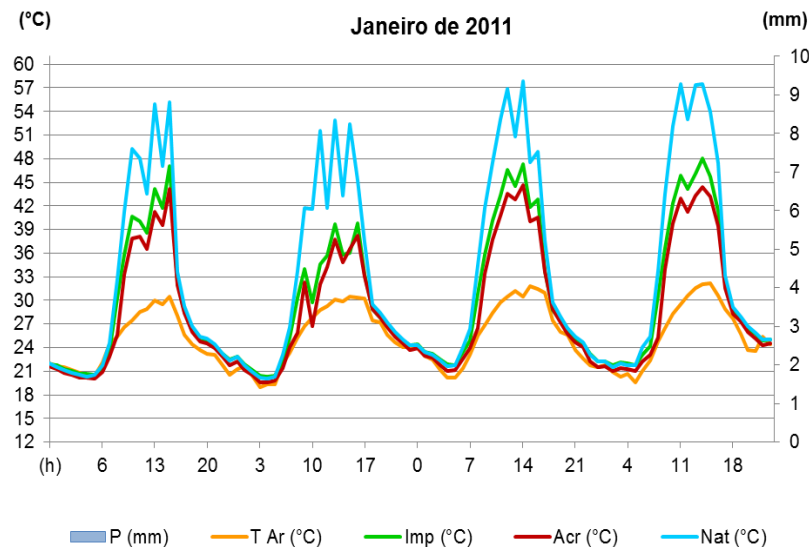
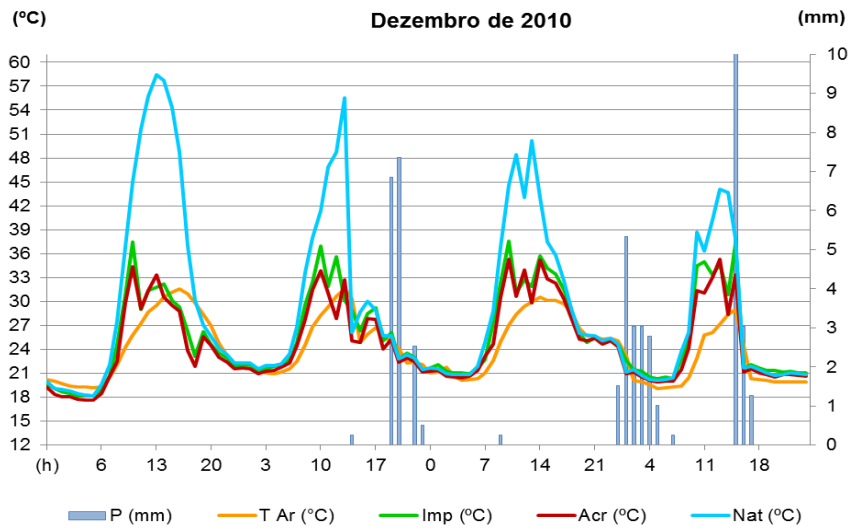
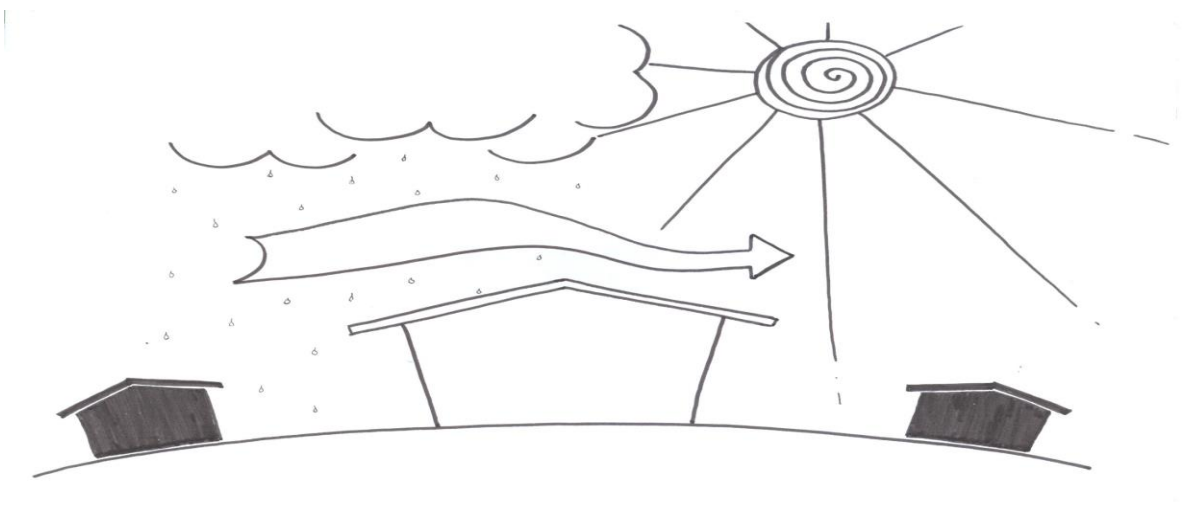


Figura A3: RESIDÊNCIA – Comparativo entre períodos com temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar e índice pluviométrico – acabamentos refletivos em dias de sol + aspersão de água.

APÊNDICE B



Os dados aqui apresentados não foram incluídos no capítulo de Resultados e Discussões, devido à impossibilidade de monitoramento por um período maior da fase campus. No entanto, a observação isolada dos dados obtidos de temperaturas superficiais internas e fluxo de calor das telhas com acabamentos: natural, pintura acrílica branca e esmalte branco com brilho, em setembro de 2009, serão ilustrados a seguir.

ACABAMENTOS REFLETIVOS EM DIAS DE SOL

Nas Figuras B1 e B2 são apresentadas as temperaturas superficiais em comparação com a radiação solar (RS) e umidade relativa (UR) e os fluxos de calor das respectivas telhas em comparação com a velocidade do ar (V). As telhas com os seus respectivos acabamentos foram identificadas da seguinte maneira: Nat - acabamento natural da telha; Acr – acabamento tinta branca acrílica; Esm – acabamento tinta esmalte.

Observa-se que as curvas das temperaturas superficiais das telhas são bem mais amenas que a curva da temperatura do ar. Os comportamentos térmicos dos acabamentos com pintura acrílica e esmalte na cor branca apresentaram-se bem semelhantes ao longo do dia e da noite (Figura B1).

Os fluxos de calor nos acabamentos acompanham a distribuição da radiação solar no período. No entanto, apenas o acabamento acrílico branco apresenta fluxo ascendente (valores negativos) em parte da noite e manhã no período monitorado, indicando a maior capacidade de perder calor.

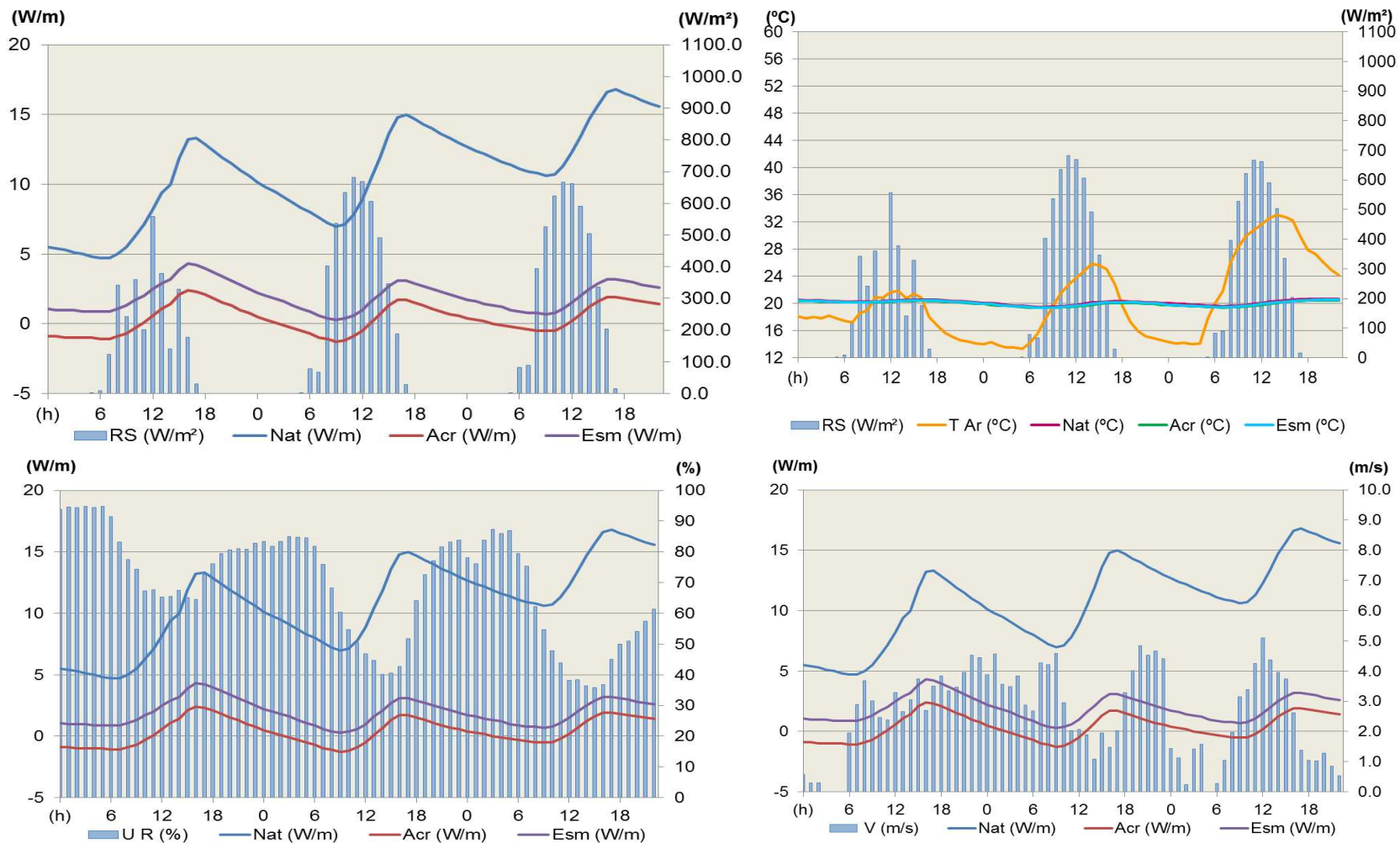


Figura B1: BANCADAS – fluxo e temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar e radiação solar global incidente (RS), umidade relativa (%) e vento (m/s) em SETEMBRO de 2009 – acabamentos refletivos em dias de sol.

A Tabela B1 apresenta os valores dos ensaios realizados para a telha com acabamento esmalte branco brilho. Optou-se por incluir a amostra deste acabamento nos ensaios para através de comparação entender melhor o comportamento das demais amostras, como o acabamento impermeabilizante, por exemplo. Os valores abaixo, se comparado com os das Tabelas 3 e 4 (Capítulo 4), sempre ocupam a posição intermediária entre os demais acabamentos.

Tabela B1: Emissividade térmica e refletância média em telhas.

Ensaio	Emissividade térmica (ϵ)	Refletância média (ρ)	Absorção de umidade	
			Ambiente	Evaporativo por 6h
Esmalte branco brilho	0,91	0,85	4,06%	6,29%

Entretanto, quando comparado os fluxos de calor através das telhas monitoradas, observa-se que a com acabamento em pintura acrílica apresenta o comportamento mais favorável para atenuar o ganho de calor. Verifica-se que o mesmo acabamento apresentou fluxo ascendente no período da madrugada, ou seja, perdeu mais calor para a atmosfera do que absorveu. Durante a noite a perda de calor pela superfície está relacionada à propriedade de emissividade térmica da mesma (BERDAHL e BRETZ, 1997; BRETZ et al., 1998; BRETZ E AKBARI, 1997; SYNNEFA et al., 2006) e que neste experimento é representado pelo fluxo com valores negativo.

ACABAMENTOS REFLETIVOS EM DIAS DE CHUVA

A técnica de emprego de acabamentos brancos também foi monitorada em dias chuvosos, nos acabamentos das telhas das bancadas, através de temperaturas superficiais ($^{\circ}\text{C}$) e fluxo de calor transferido pelo material (W/m), observada na Figura B2. As mesmas nomenclaturas, para os acabamentos e as variáveis meteorológicas, empregadas anteriormente serão apresentadas.

Observa-se que nas condições de céu parcialmente nublado (baixa radiação solar direta - RS), as propriedades físicas do material de composição e acabamento da telha mantiveram as curvas de temperaturas superficiais equilibradas, sem reproduzir as oscilações presentes na curva de temperatura do ar.

Estas condições de nebulosidade, velocidade e alta umidade relativa do ar propiciaram ao comportamento inverso do fluxo de calor (ascendente) nas telhas com acabamento de pintura acrílica branca como pode ser observado na Figura B2.

O fluxo de calor na telha com acabamento natural apresenta-se descendente (valores positivos) apesar de ter os valores absolutos acompanhando a redução da radiação incidente na superfície da telha.

Para os dados monitorados na bancada foram realizados testes de diferença de médias e encontraram-se valores diferentes entre os acabamentos, exceto entre a tinta acrílica e a esmalte, dentro da significância de $p < 0,05$ ($p = 0,432$). De maneira geral, as médias de temperatura interna da tinta acrílica e da tinta esmalte são diferentes da natural.

Devido aos ajustes realizados no sistema de aspersão de água, na fase campus, dados referentes a este período não reuniram um conjunto consistente e por este motivo não foram incluídos, como também o acabamento impermeabilizante não pode ser testado.

Concluindo, a fase campus contribuiu com a informação adicional sobre o comportamento do fluxo de calor no acabamento branco acrílico, cujo melhor desempenho pode ser verificado.

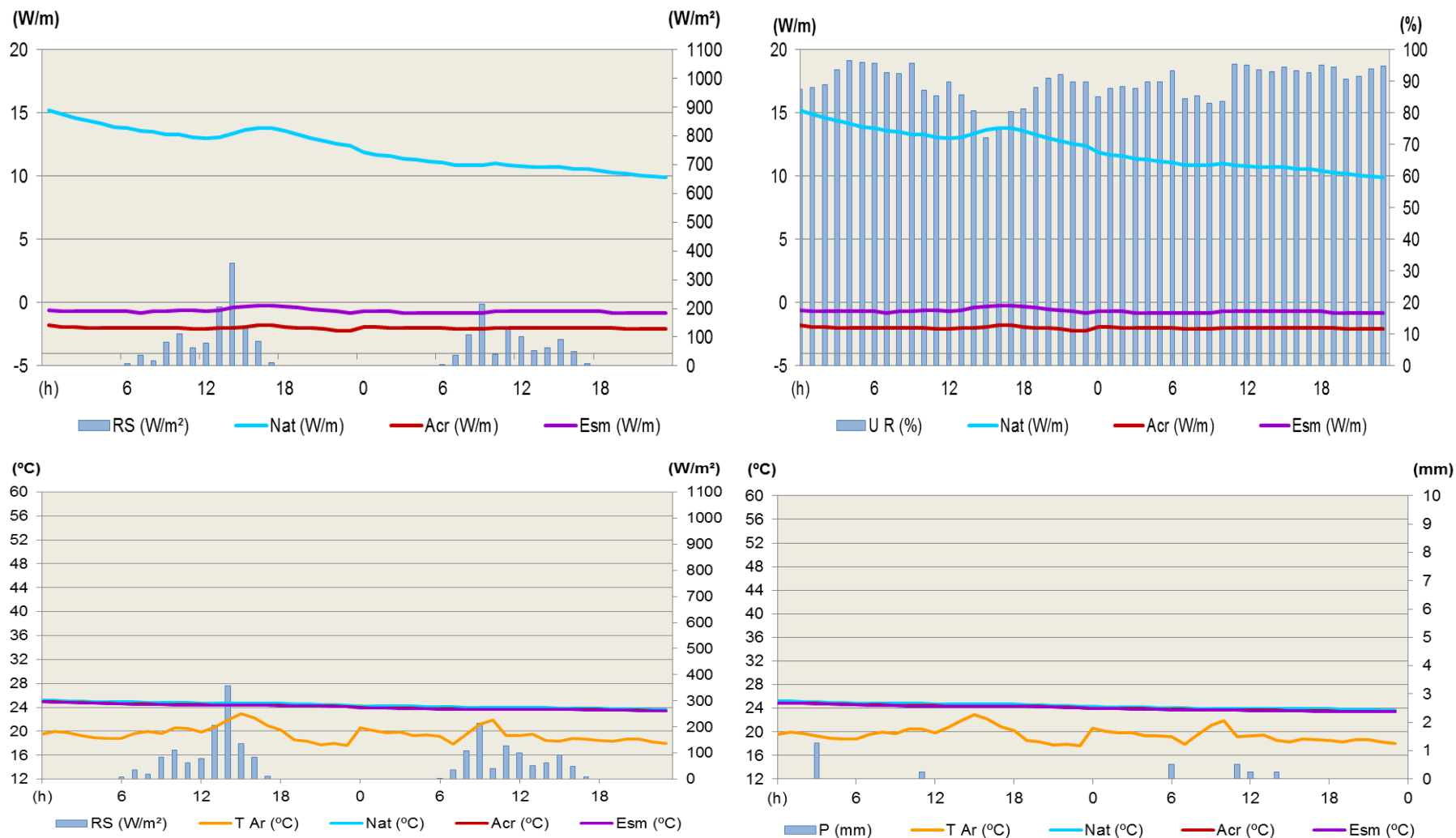


Figura B2: BANCADAS – fluxo e temperaturas superficiais internas nas telhas monitoradas, temperatura do ar e radiação solar global incidente (RS), umidade relativa (%) e índice pluviométrico (mm) em SETEMBRO de 2009 – acabamentos refletivos em dias de chuva.

