Gizela Peralta

DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: ANÁLISE DE MONITORAMENTO E NORMALIZAÇÃO ESPECÍFICA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Assoc. Eduvaldo Paulo Sichieri

São Carlos
2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P426d

Peralta, Gizela
Desempenho térmico de telhas : análise de monitoramento e normalização específica / Gizela Peralta ; orientador Eduvaldo Paulo Sichieri. –- São Carlos, 2006.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Área de Concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) –- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.

1. Monitoramento. 2. Desempenho térmico. 3. Normas. 4. Refletância. 5. Absortância. I. Título.

Dedico esta dissertação à memória de minha
querida avó Augustinha

Agradecimentos

À **Deus** por toda a fé, esperança, confiança e saúde à mim concedidas;

Ao Prof. Assoc. Eduvaldo Paulo Sichieri, pela oportunidade, orientação, bom humor e carisma;

Aos Professores Rosana Caram de Assis e Lucila Chebel Labaki por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora e pelo inquestionável carisma;

Ao Professor Maurício Roriz pela participação na banca de qualificação e pela constante disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas;

Aos professores Osny Pelegrino Ferreira e Francisco Arthur Silva Vecchia pela atenção e disponibilidade em fornecer informações;

À Sylvana Cardoso Miguel Agustinho, técnica do laboratório de Análises Químicas Instrumentais do Instituto de Química de São Carlos/USP, pelo importante auxílio nas análises espectrofotométricas;

À Capes, pelo apoio financeiro;

À Fapesp, pela concessão dos equipamentos de monitoramento e células teste;

Aos funcionários do departamento de Arquitetura, sempre atenciosos e prestativos: Serginho, Cenevia, Oswaldo, Fátima, Marcelinho, Paulo e Lucinda.

A meus pais por todo apoio incondicional, paciência e confiança;

À minha filha Camila;

Aos meus irmãos Daniela e Gustavo;

Ao meu afilhado Rafael e minha sobrinha Mariana;

Às minhas amigas especiais, Ana Carolina, Maria Cecília, Alessandra, Adriana, Priscila, Juliet, Flávia, Daniela, Carol e Rosana;

Aos amigos queridos que fiz em São Carlos e dos quais tenho sempre saudades.

RESUMO

PERALTA, G. (2006), **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**, São Carlos, Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da São Carlos, Universidade de São Paulo.

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o desempenho térmico de telhas através do monitoramento de células-teste existentes na cidade de São Carlos, comparar os resultados com análises espectrofotométricas das amostras (das telhas das células teste) para correlacionar os resultados com normas que fazem alguma referência ao desempenho térmico de telhas. Foram realizadas análises comparativas das temperaturas internas e da superfície das telhas em quatro células teste: com telha de aço, fibrocimento, cerâmica e material reciclado (de embalagem longa vida). Em uma segunda etapa as telhas de aço e fibrocimento foram selecionadas para receberem a aplicação de tinta látex acrílico branco. Foi verificada, após análise comparativa, a importância do tratamento superficial externo em coberturas e a necessidade de normas específicas para o desempenho térmico de telhas.

Palavras chaves: Monitoramento, desempenho térmico, normas, refletância, absortância.

ABSTRACT

PERALTA, G. (2006), **Thermal performance of tiles: Analises monitoring and specific standard**, São Carlos, Dissertation (Master) – São Carlos Engineering School, University of São Paulo.

The purpose of this research was to evaluate the thermal performance of roofs by monitoring existing test cells in the city of Sao Carlos, and comparing the results with the spectrophotometric analyses of the samples (the roofs of the test cells) for correlating the results with the standards associated with the thermal performance of tiles. Comparative analyses were carried out of the internal temperature and the temperature of the surface of the roofs in four test cells: roofs made of steel, asbestos cement ceramic and recycled material (long-life packaging). At the second stage a white latex acrylic paint was applied to the steel and asbestos cement roofs. This confirmed, following a comparative analysis, the importance of the treatment of the external surface of the roofs, and the necessity for specific standards for the thermal performance of roofs.

Key words: Monitoring, thermal performance, standards, reflection, absorption.

Sumário

Resumo
Abstract
1. Introdução 8

2. Revisão da Literatura
Primeira Parte 14
2.1 Caracterização climática da região de São Carlos 14
2.2 São Carlos segundo o zoneamento bioclimático
2.3 Clima e ambiente construído 16
2.4 Espectro eletromagnético e espectro solar 19
2.4.1 Espectro eletromagnético 19
2.4.2 Espectro solar 20
2.5 Conceitos físicos de transmissão de calor 22
2.5.1 Condução 26
2.5.2 Convecção 27
2.5.3 Radiação 28
2.5 Propriedades termofísicas e características dos materiais 28
2.6 Coberturas 32
2.7 Desempenho térmico de telhas 34
2.7.1 Influência da refletância na temperatura superficial dos materiais 38
Segunda Parte
2.8 Normalização 40
2.8.1 A ABNT e o processo de normalização 40
2.8.2 Normas e projetos de normas brasileiras 42
2.8.2.1 NBR 15220 44
2.8.2.2 Projeto de norma de desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos 46
2.8.3 Normas para produtos ecológicos 49

3. Materiais e métodos 50
Primeira Parte
3.1.1 Estação meteorológica 50
3.1.2 Células teste monitoradas 53
3.1.3 Instalação dos sensores 55
Segunda Parte
3.2.1 Amostras ensaiadas 57

3.2.2 O espectrofotômetro 58

4. Resultados 60
Primeira Parte
Desempenho térmico de verão 60
4.1 Dados climáticos 61
4.2 Dados da célula-teste com telha cerâmica. 64
4.2.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas 64
4.3 Dados da célula-teste com telha de material reciclado 66
4.3.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas 66
4.4 Dados da célula-teste com telha de aço 68
4.4.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas 68
4.5 Dados da célula-teste com telha de fibrocimento 73
4.5.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas 73
4. 6. Comparação entre todos os resultados 78
4.7 Comparação entre fibrocimento e aço 80
4. 7.1 Temperaturas internas 80
4. 7.2 Temperaturas superficiais internas 83
4. 7.3 Resultados 85
Segunda Parte
4.8 Análises espectrofotométricas. 88

5. Discussão 97
5.1 Análises comparativas dos resultados de monitoramentos de temperaturas e de medição de refletância no espectrofotômetro 99
5.1.1 Temperaturas superficiais 101
5.1.2 Temperaturas internas 101
5.2 Comparação dos critérios delimitados na NBR 15220 e no PNBR 02:136.01.007 e os resultados de monitoramento. 102

6. Conclusões 109
6.1 Sugestões para pesquisas futuras 112

7. Referências
Anexo A 118
Anexo B 120
Anexo C 127
Anexo D 128

1 Introdução

A temperatura interna das edificações sofre considerável influência de fontes internas (cargas térmicas oriundas de equipamentos, iluminação artificial, etc.) e externas (variáveis climatológicas, especialmente a temperatura do ar e a radiação solar). O telhado, em virtude de sua intensa exposição à radiação solar, durante todo o dia, tem uma importância significativa no desempenho térmico de edificações térreas. A carga térmica recebida pela cobertura em uma edificação térrea pode chegar a 72,3% (MASCARO, 1992).

A radiação solar é a principal variável a interferir diretamente na superfície exterior dos materiais. O tratamento superficial e a seleção dos materiais de revestimento influem no comportamento térmico do edifício e podem ajudar a reduzir a carga térmica. Em superfícies exteriores polidas ou pintadas em cores claras, ocorre reflexão de grande parte da radiação solar incidente, e, consequentemente, a redução da quantidade de energia absorvida.

A cobertura, ao mesmo tempo em que recebe grande quantidade de calor, também irradia este calor acumulado, à noite. Essa propriedade varia conforme as características térmicas dos materiais e devem ser utilizadas conforme as estratégias climáticas mais adequadas em cada local. No entanto, o bom desempenho térmico das telhas depende da correta especificação, a qual por sua vez está atrelada às exigências prescritas em normas.

Segundo Givoni (1998), “os materiais da qual uma edificação (e especialmente o envelope) é construída determinam a relação entre a temperatura externa e as condições de radiação com a temperatura interna em edificações não climatizadas”. As propriedades físicas, espessura e localização de cada elemento na edificação, são determinantes no desempenho térmico desta. Além disso, a

composição de diferentes camadas de um elemento na edificação também tem grande influência sobre este desempenho.

Atualmente, um crescente número de trabalhos científicos tem sido desenvolvido visando aprimorar o desempenho térmico de componentes e da edificação como um todo. As pesquisas envolvem monitoramento em células teste, simulações computacionais, análise de propriedades térmicas relevantes, entre outros. Assim, podem ser estabelecidos os critérios para a definição de coberturas, ressaltando-se o problema do ganho de calor (SILVEIRA et al., 2004).

Os benefícios da adoção de cores com alta refletância, em telhas (a qual, pode influenciar até mesmo na queda do consumo de energia), têm sido demonstrados em diversas pesquisas. Em países de climas quentes, uma elevada refletância e emissividade no espectro da radiação infravermelho reduzem as cargas necessárias para o condicionamento de ar e o consumo de energia (MILLER et al., 2005).

O desempenho térmico de telhas também sofre considerável influência da cor externa, a qual determina as parcelas de refletância e a absortância nos espectros de luz visível e infravermelho (CASTRO et al., 2003). O desempenho térmico de coberturas está associado, sobretudo, à aplicação de técnicas de resfriamento radiante[1] e evaporativo (LABAKI et al., 2005).

O isolamento térmico das telhas pode ser aprimorado através da utilização de isolantes térmicos disponíveis no mercado, da camada de ar entre o telhado e o forro, das aberturas que auxiliam na saída do ar quente através do processo de convecção, entre outros. Para isto é necessária, por parte do projetista, a correta especificação dos materiais a partir do conhecimento da influência das propriedades térmicas e propriedades radiantes dos materiais, principalmente das telhas.

Um projeto racional e com bom desempenho térmico depende, sobretudo da correta especificação dos materiais. Nesse sentido, a qualidade da construção civil é conseqüência das soluções técnicas, produtos de pesquisas, da análise dos materiais em conformidade com as normas em vigência e as futuras normas a serem implementadas.

---

[1] Pintura branca - superfície de alto albedo, e filme adesivo de alumínio, RCFo– superfície de baixa emissividade

A evolução do setor da construção civil depende, fundamentalmente, de uma resolução coerente, em conformidade com os princípios geradores de qualidade. Sabe-se que para alcançar este objetivo é fundamental que haja um diálogo efetivo entre as exigências normativas para cada material, realçadas em seus aspectos mais frágeis. No caso das telhas, diversos estudos comprovaram a importância das análises de desempenho térmico, assim como da insuficiência das exigências prescritas em normas (e da ausência de normas para produtos ecológicos).

1.1 Justificativa

Segundo o jornal Folha de São Paulo[2] ,o consumo de energia elétrica no Brasil fechou o ano 2005 com crescimento de 4,6% em relação a 2004, quando a expansão havia sido de 4,5%. Para 2006, a estimativa é de aumento de 5,1% na demanda por energia elétrica. Segundo o Ministério das Minas e Energia, em levantamento realizado em 2005, os edifícios são responsáveis por cerca de 45% do consumo total de energia elétrica no Brasil. Em 2005, 1,7 milhão de lares foram ligados à rede elétrica. Este resultado expressivo é influenciado, em parte, pelo programa federal Luz para Todos. Em 2005, o número de lares com eletricidade chegou a 48,5 milhões.

Além da questão energética, ressalta-se a importância do conforto térmico em edificações, o qual está condicionado ao desempenho dos materiais construtivos. Edificações que apresentam boas soluções de conforto térmico passivo possibilitam a redução do consumo energético, além de conferirem aos usuários das edificações condições satisfatórias para realização de atividades específicas que exigem condições mínimas de conforto térmico.

Soluções que visem melhorar o desempenho energético das edificações, principalmente as edificações familiares, cujo crescimento tem sido mais expressivo, poderão contribuir para que o País não sofra com possíveis apagões no futuro.

Recentes pesquisas, como a desenvolvida por Granja (2002), têm verificado que influência da absortância é mais significativa em fechamentos opacos com baixa inércia térmica. Como as telhas são freqüentemente componentes

[2] Caderno Dinheiro, 04/02/2006

construtivos com baixa inércia térmica, devido, principalmente à pequena espessura, é fundamental otimizar a absortância destes elementos a fim de garantir o desempenho térmico, no caso de climas com elevada média de radiação solar direta ao longo do ano.

As normas de telhas atualmente existentes não contemplam o desempenho térmico, cuja importância tem se constatado freqüentemente através de diversas pesquisas no Brasil. Contudo esforços têm sido verificados na elaboração de normas recentes, ainda que não sejam específicas para telhas (ABNT, 2005). As normas de desempenho térmico são fundamentais como elemento balizador da qualidade da construção civil, cujos princípios devem ser estendidos a todos os materiais.

Além disso, é necessário que arquitetos e engenheiros tenham o acesso às corretas informações dos materiais da construção civil (as quais deveriam ser informadas pelos fabricantes). É necessário que as normas facilitem ao projetista a correta especificação, de acordo com as questões mais relevantes do material em relação às suas conseqüências no projeto. Além disso, a ABNT deveria exigir dos fabricantes o atendimento aos requisitos delimitados em normas e que estes informem corretamente as características do material.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar o desempenho térmico de telhas através do monitoramento de células-teste existentes na cidade de São Carlos, comparar os resultados com análises espectrofotométricas das amostras (das telhas das células teste) e correlacionar os resultados com normas que fazem alguma referência ao desempenho térmico de telhas.

Como objetivos específicos são elencados:

• Obter dados de monitoramento de temperatura em quatro pontos para quatro células teste;

• Obter experimentalmente dados de refletância das amostras de telhas segundo as três regiões do espectro (infravermelho, luz visível e ultravioleta);

• Evidenciar a influência da refletância e da absortância no desempenho térmico de telhas;

• Citar a norma NBR15220 (partes 2 e 3) e o PNBR 02:136.01, relacionando seus aspectos significativos com os resultados obtidos.

1.3 Estrutura

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo é feita uma breve introdução, são apresentados os objetivos e a justificativa da pesquisa.

No segundo capítulo, Revisão da literatura, são apresentados os conceitos que têm relevância na análise, como a caracterização climática da região de monitoramento, transferência de calor em coberturas, desempenho térmico de telhas, propriedades térmicas na transmissão de calor, além de relacionar os objetivos da normalização com as normas de telhas atualmente existentes e projeto de norma.

No terceiro capítulo são apresentados os equipamentos utilizados durante a pesquisa, assim como a metodologia utilizada.

No quarto capítulo são exibidos os dados e análises comparativas em situação de verão para as quatro células teste analisadas (com ênfase em duas) e para as seis amostras de telhas.

No quinto capítulo são analisados os resultados obtidos e comparados com as características térmicas relevantes e com a norma e projeto analisados.

Finalmente, no sexto capítulo são expostas as análises conclusivas, relacionando-as com a necessidade de normas desempenho térmico para telhas, além de sugestões para futuras pesquisas.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo está estruturado em duas partes. A primeira parte apresenta a caracterização climática da região estudada, as relações entre clima e as edificações, os princípios que determinam o fluxo de calor em coberturas, os resultados de algumas publicações científicas sobre desempenho térmico e a apresentação de propriedades que interferem no desempenho térmico de telhas, segundo bibliografia pesquisada.

Primeira Parte

Clima segundo definição de Rivero (1985) é "o conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um lugar determinado". Os fatores climáticos que devem ser considerados ao se tratar de clima são: temperatura do ar, a umidade e as precipitações, a pressão atmosférica, o vento, a insolação e a nebulosidade. Na climatologia tradicional cada um destes elementos é considerado de forma separada, tomando-se como base suas respectivas médias. Contudo as médias não representam a realidade quando trata-se de elementos climáticos, pois

duas cidades podem apresentar médias semelhantes e dinâmicas climáticas diferentes.

Conforme definição de Vesentini (1996), "Tempo atmosférico é algo momentâneo, que varia constantemente". Assim condições temporais são suscetíveis a constantes oscilações (que são conseqüências das particularidades de cada local, como a altitude, por exemplo). No entanto, para caracterizar o clima das várias regiões da Terra, esta é dividida em zonas que apresentam climas semelhantes (conhecidas como 'regiões climáticas'). O Brasil, em função de sua expressiva extensão territorial, apresenta vários tipos de clima (LAMBERTS, 1997). A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) determina o zoneamento bioclimático brasileiro[1], com o objetivo de fundamentar as sugestões e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

2.1 Caracterização climática da região de São Carlos

São Carlos situa-se na região central do Estado de São Paulo (figura 2.1), a 225 km da capital, apresentando 22°01'23" de latitude sul e 47°53'60" de longitude oeste, estando a 855 metros acima do nível do mar. É caracterizado por um clima com condições particulares em função de sua implantação (entre o início do planalto central e uma depressão periférica). Segundo a classificação de Koppen (1900 apud VECCHIA, 1997), esta região possui um clima temperado, com inverno seco e um verão úmido, com grande presença de chuvas. No verão o índice pluviométrico pode ser elevado e a umidade relativa alcança uma média de 75% (enquanto que no inverno esse valor é de apenas 56,2%). A temperatura média mais elevada ocorre no verão, especialmente entre os meses de janeiro a março (com temperatura máxima em torno de 32°C e a mínima 14° C). A temperatura média das máximas mais elevadas ocorre nos meses de fevereiro, março e outubro. Em junho e julho observam-se as menores temperaturas do ano (temperatura média máxima de 29 °C e média mínima de 7°C).

[1] Este zoneamento será enfocado no item 2.2 e também na 2ª parte da revisão bibliográfica - item 2.8.2.1

Figura 2.1 – Mapa do estado de São Paulo com indicação da localização de São Carlos
FONTE: www.fmvz.unesp.br

Conforme a caracterização clássica, a região possui um clima Cwa[2], clima quente e seco (onde C - grupo mesotérmico, w - seco no inverno, com a temperatura do mês mais quente superior a 22°C). Para a caracterização dinâmica, segundo MONTEIRO (1973) a região é controlada por massas equatoriais e tropicais, com clima alternadamente seco e úmido, onde na época seca, a chuva é reduzida no sentido dos paralelos. Os ventos dominantes são NE (30%) e SE (20%).

A região sudeste do Brasil pode ser caracterizada pela influência das massas de ar equatorial (E), tropical (T), polar (P) e, com menos frequência, a massa antártica (A). Estas massas de ar são responsáveis por alterações consideráveis nas variáveis climáticas de São Carlos em curtos períodos de tempo (enquanto durar sua atuação), o que é refletido nas grandes amplitudes térmicas verificadas com frequência para a região.

2.2 São Carlos segundo o zoneamento bioclimático brasileiro

O zoneamento bioclimático brasileiro (figura 2.2) definido na NBR 15220-3 surgiu a partir da proposta de dividir o país em zonas climáticas com características relativamente homogêneas. Inicialmente o território nacional foi dividido em 6500 células, as quais foram caracterizadas a partir de sua posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas: Médias mensais das temperaturas máximas, Médias mensais das temperaturas mínimas e Médias mensais das umidades relativas do ar (ABNT, 2005). No caso de 330 células identificaram-se 2 grupos:

- 206 cidades – dados das normais climatológicas (1961 a 1990);

- 124 cidades – dados das normais climatológicas e outras fontes (1931 a 1960)

No caso das outras células o clima foi estimado por interpolação segundo os métodos descritos na norma (ABNT, 2005 – pág.14).

Segundo o zoneamento bioclimático brasileiro (NBR 15220-3) São Carlos se encontra na zona 4 (figura 2.3), zona que corresponde a apenas 2% do território Brasileiro.

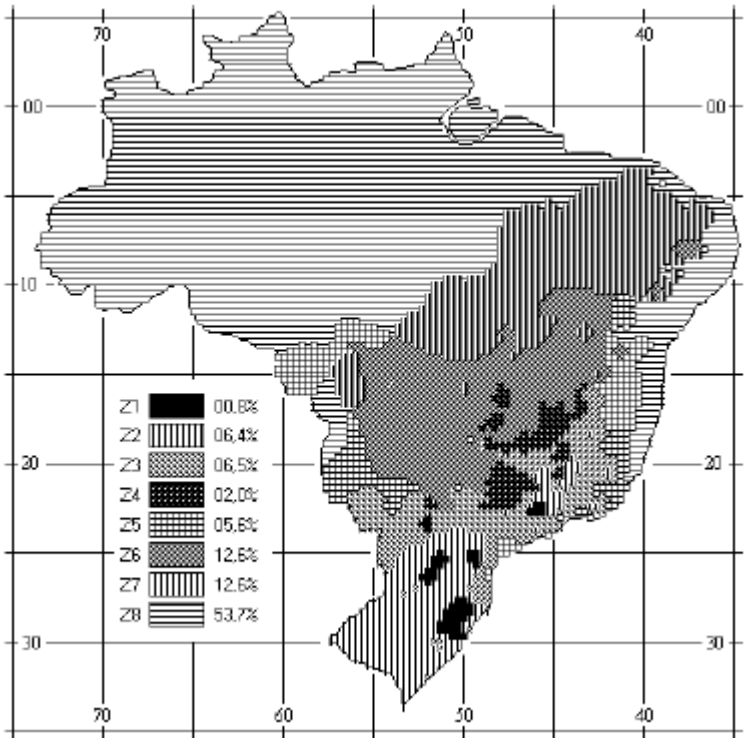


Figura 2.2 – Zoneamento bioclimático brasileiro

FONTE: ABNT 2005.

[2] De acordo com a classificação de KÖPPEN (1900)

Figura 2.3 – Zoneamento bioclimático brasileiro com indicação da zona de São Carlos
FONTE: ABNT 2005.

Como método de classificação bioclimática foi adotada a carta bioclimática adaptada de Givoni para a realidade brasileira (figura 2.4). A partir desta foram determinadas estratégias para cada região climática. A cidade de São Carlos segundo esta definição apresenta as estratégias definidas na tabela 2.1, para inverno e verão.

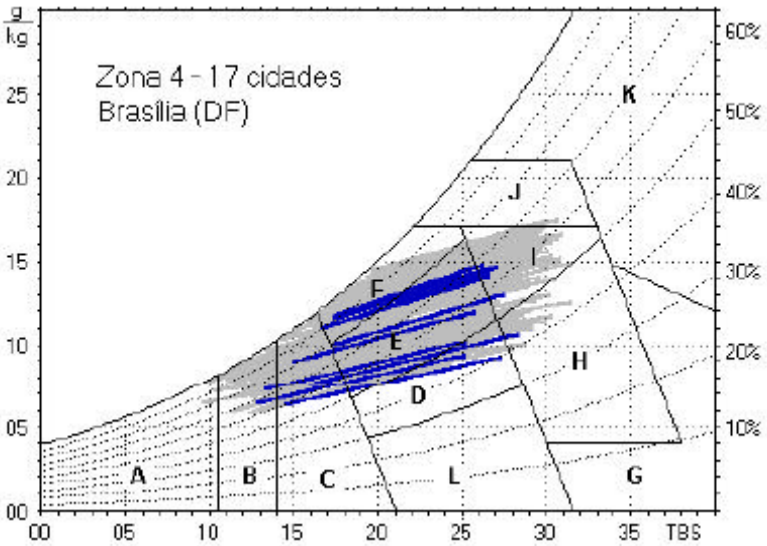


Figura 2.4 – Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF
FONTE: ABNT 2005.

TABELA 2.1 Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

FONTE: ABNT 2005.

Em relação às diretrizes construtivas[3] para esta zona são definidas nas tabelas que se encontram no anexo A.

2.3 Clima e ambiente construído

Sabe-se que o microclima ao redor das edificações é conseqüência da influência das variáveis climáticas, especialmente da radiação solar incidente no envelope construtivo. A radiação de onda longa (oriunda da própria edificação e do entorno), assim como a radiação térmica são alguns dentre os elementos que particularizam o clima em cada local.

O projeto de edificações deve adequar-se de modo racional às características climáticas específicas na região em que esteja inserido. Assim, desde sua concepção, até a fase de especificações, as soluções projetuais envolvendo as variáveis climáticas e as características arquitetônicas e construtivas devem estar em concordância, respeitando os limites do clima e aproveitando seus benefícios. Um projeto de edificação ou em escala urbana deve evitar, sobretudo, os impactos negativos do clima sobre estes.

Segundo Rivero (1985), as estratégias de projeto devem considerar as possibilidades de conservação de energia no projeto; a correta orientação dos edifícios, ruas e parques; a avaliação dos elementos climáticos do local; a utilização de material construtivo com propriedades termofísicas adequadas ao clima;

[3] Estas serão abordadas com maiores detalhes no item 2.8.2.1

localização e dimensões de superfícies transparentes; localização de sombreamentos, entre outros.

É necessário, assim, identificar, a influência das variáveis climáticas na região em que se deseja projetar. O clima, o tempo, as propriedades e número das massas de ar dominantes são representados por elementos climáticos (geodinâmicos como: temperatura e umidade do ar, direção e velocidade dos ventos, pressão atmosférica; aquosos: nebulosidade e precipitações). As análises de tempo e clima envolvem, assim, o entendimento desses elementos (no caso do clima são adotadas sínteses de observações periódicas, no decorrer de vários anos, sendo posteriormente submetidas a análises estatísticas).

Para melhor compreensão da influência do clima sobre as edificações é fundamental conhecer, sobretudo, o processo de trocas térmicas, as quais são responsáveis pelo desempenho térmico de edificações, e conseqüentemente da transferência de calor em coberturas. Considerando-se os elementos de uma edificação, a cobertura, está constantemente sujeita ao ganho de calor em climas quentes, sendo responsável por grande parcela do fluxo de calor que penetra na edificação e é transferido para o entorno.

2.4 Espectro eletromagnético e espectro solar

2.4.1 Espectro eletromagnético

As características da energia radiante são explicadas pela teoria eletromagnética. O espectro eletromagnético (Figura 2.5) é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. O espectro eletromagnético (ou energia radiante) abrange de 10^{-5} nanômetros (nm) para os raios cósmicos, até $4{,}98 \times 10^{15}$ nm para corrente elétrica de 60 Hertz (Hz). As radiações mais energéticas são aquelas que têm menor comprimento de onda, como os raios x e os raios gama.

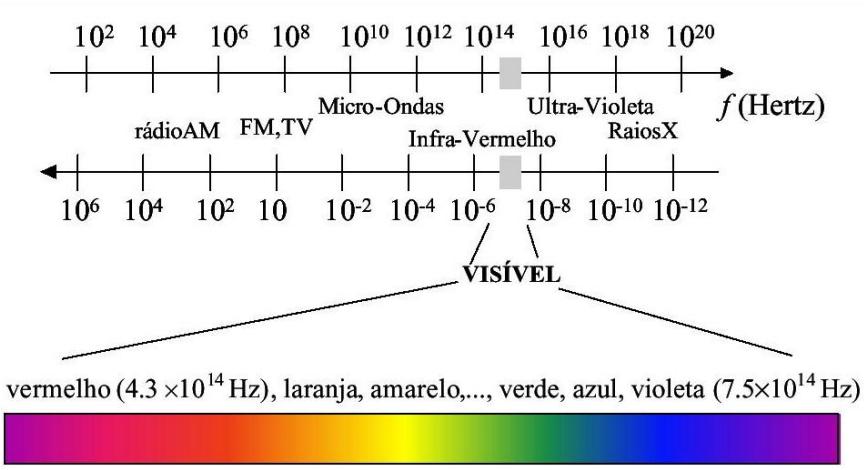


Figura 2.5: Espectro eletromagnético

Fonte: www.vision.ime.usp.br/.../espectro_03.jpg

Considerando-se todo o espectro eletromagnético, a luz é a parcela que o sistema visual pode detectar. A radiação eletromagnética é de caráter ondulatório, ou seja, é constituída por ondas eletromagnéticas (e se propaga no vácuo com velocidade constante $c=3.0x10^8$ m/s). A energia radiante depende do comprimento de onda e freqüência ao longo de todo o espectro ($\lambda=c/f$).

2.4.2 Espectro solar

A radiação que atinge a superfície da Terra após atravessar a atmosfera é dividida em três regiões, segundo proporções aproximadas: ultravioleta (1 a 5%), visível (41 a 45%) e infravermelho (52 a 60%) (ROBINSON, 1966). Estas proporções são alteradas conforme as condições atmosféricas, nebulosidade e presença de vapor de água.

O espectro solar, parte da radiação eletromagnética, possui uma faixa de variações de comprimento de onda que vão de 280 a 3000 nm, abrangendo três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho. As radiações que chegam à superfície terrestre encontram-se nos intervalos cujo comprimento de onda esteja entre 290 e 1500 nm. No caso de comprimentos inferiores a 290 nm, a camada de ozônio é

responsável pela sua absorção, enquanto que para valores superiores a 1500 nm, estes são absorvidos pelo vapor de água e dióxido de carbono da atmosfera.

A região ultravioleta (u.v) encontra-se num limite entre 100 e 400 nm, sendo ainda subdividida em três partes (u.v A – de 315 a 380 nm; u.v B – de 280 a 315 nm; u.v C – de 100 a 280 nm). Em função da camada de ozônio, a luz solar alcança a Terra com somente uma parcela de luz ultravioleta. Ainda que a parcela que alcance a Terra seja pequena, o efeito do ultravioleta em edificações não é desprezível. A baixa refletância a radiação ultravioleta está diretamente relacionada à degradação dos materiais. "A absortância das radiações u.v pode causar alterações na estrutura atômica de alguns materiais, causando efeitos como descolorações ou degradações, que podem se dar de ordem permanente" (FERREIRA et al, 2003). Segundo Sichieri et al (1995) a faixa do espectro u.v que ocasiona o desbotamento está entre 300 e 400 nm. Comprimentos até 600 nm podem causar desbotamento na região do visível, mas com reduzida intensidade (assim como ocorre para valores menores do que 300 nm).

A região visível situa-se entre 380 nm e 780 nm, causando a sensação de visão e definição de cores. A luz branca possui todos os comprimentos de onda do limite visível do espectro eletromagnético.

Já o infravermelho, possui um espectro invisível ao olho humano, sendo que o infravermelho próximo é fonte de calor (ocasiona o aquecimento de ambientes internos em edificações). Este espectro (i.v) encontra-se entre 780 nm e 1 mm, sendo divididos em três partes:

- i.v de ondas curtas (próximo) - de 780 a 1400 nm;

- i.v de ondas médias - de 1400 a 3000 nm;

- i.v de ondas longas - de 3000 nm a 1 mm.

A radiação de onda longa (ou radiação térmica) é emitida, à temperatura ambiente, pelos corpos (por exemplo: a Terra perde calor para o exterior, equilibrando o calor ganho pela radiação solar incidente).

Segundo Kreith (1977) radiação é um termo aplicado à todas as formas de fenômenos de ondas eletromagnéticas, mas para a transmissão do calor, só

interessa as formas que resultam da diferença de temperatura e podem transportar energia através de um meio transparente ou através do espaço.

2.5 Conceitos físicos de transmissão de calor

As moléculas de um corpo ou de diferentes corpos estão em contínuo processo de troca de energia entre si. Esta energia pode ser cedida ou recebida através das ondas eletromagnéticas. A temperatura constante em um corpo é determinada pela distribuição da energia entre suas partículas, pois as moléculas variam sempre sua energia devido às trocas com as moléculas vizinhas.

A elevação da temperatura de uma região de um corpo, pelo contato com outro corpo com temperatura superior, faz com que as moléculas desta região adquiram maior energia (e, portanto, maior velocidade). No entanto, devido ao processo de trocas com as moléculas vizinhas, parte desta energia é cedida para outras moléculas e a temperatura no corpo é uniformizada, devido ao princípio de conservação de energia. A primeira lei da termodinâmica expressa este princípio, o qual determina que o calor é um processo de troca de energia (a energia interna é a soma de todos os tipos de energia, como cinética, potencial, térmica, etc).

Sempre que há um gradiente de temperatura no interior de um sistema ou quando há contato de dois sistemas com temperaturas diferentes há um processo de transferência de energia. O processo através do qual a energia é transferida é conhecido como transferência de calor (KREITH,1977). O calor é uma grandeza que pode ser caracterizada por um valor quantitativo, direção e sentido vetorial. Conforme a segunda lei da termodinâmica, o fluxo de calor ocorre sempre da maior para a menor temperatura.

As trocas térmicas entre a edificação e o meio podem ocorrer por diferença de temperatura ou por influência da radiação solar. Quando há incidência da radiação solar há sempre um ganho de calor. Ocorrem perdas ou ganhos quando se trata de radiação de onda longa.

A radiação solar (ondas curtas) ao incidir sobre uma superfície opaca, tem uma parcela da energia absorvida e outra refletida. A parcela absorvida é emitida

ou novamente irradiada sob a forma de radiação de onda longa. Contudo, a emissividade e a absortância, são os mesmos, para um mesmo material (GIVONI, 1981).

O fluxo de calor que atravessa um fechamento opaco e penetra no interior da edificação (em função da radiação solar incidente e da diferença de temperatura) é definido através da equação:

$$q = \alpha.\frac{U}{h_e}.I + U.\Delta t \quad (W/m^2) \qquad (1)$$

Através da fórmula 1 nota-se que o ganho de calor solar é diretamente proporcional à absortância α.

onde:

q – ganho de calor solar (w/m²)

α – Absortância da radiação solar (adimensional)

U – Coeficiente global de transmissão térmica (w/m²°K)

I – Intensidade da radiação solar global (w/m²)

h_e – Coeficiente de condutância térmica superficial externa (w/m²°K)

Δt – Diferença entre as temperaturas interna e externa

- $\alpha.\frac{U}{h_e}.I$ - ganho de calor solar;

- $\alpha.\frac{U}{h_e}$ = Fs - fator ganho de calor solar de material opaco (ou fator solar);

- U. Δt – trocas de calor por diferença de temperatura (t_e – t_i)

Assim, a equação 1 pode ser reescrita da seguinte forma:

$q = F_s.I + U.\ \Delta t$ (W/m²) (2)

O coeficiente global de transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica (U= 1/R). Givoni (1998) define a transmitância térmica como "a transmissão térmica através da unidade de área de um elemento, em unidade de tempo, por unidade de temperatura (diferenças entre temperaturas externa e interna)".

No processo de transferência de calor, ocorrem a convecção na superfície interna da parede, a condução através da parede e a convecção na superfície externa da parede. Considerando-se estes processos, o fluxo de calor por unidade de tempo fica definido pelo coeficiente global de transferência de calor (ou transmitância térmica, U). Se a superfície de um componente fica diretamente exposta à radiação solar, ocorre sempre ganho de calor para o ambiente interno.

A transferência e conversão de energia estão envolvidas nos três modos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação (figura 2.6). Nestes processos, os fluxos sempre ocorrem devido à diferença de temperatura (do maior para o menor valor), o que define o *calor sensível*. Quando ocorre mudança de estado, observa-se o que é denominado *calor latente* (nos processos de evaporação e condensação)[4]. Dentre estes, a condução e a radiação devem ser classificadas como processos de transmissão de calor, pois somente estes dois mecanismos dependem para sua operação da mera existência de uma diferença de temperatura.

[4] Neste capítulo serão enfocadas apenas as trocas térmicas secas.

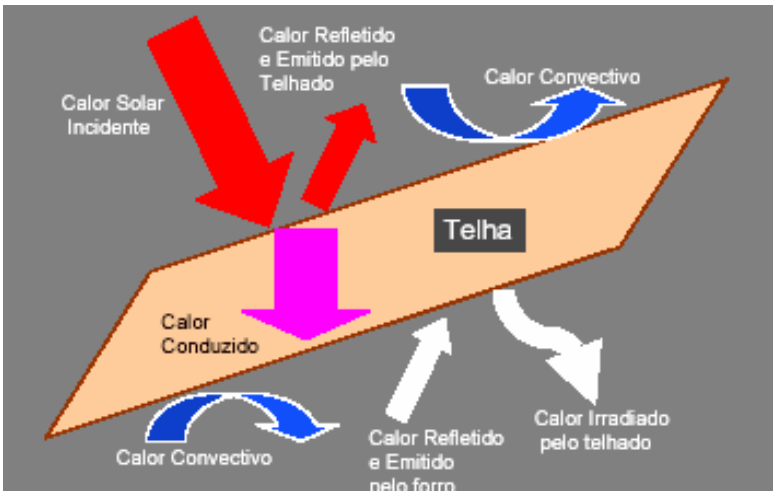


Figura 2.6: Representação das trocas de calor em um telhado

(Fonte: AKUTSU, 2003)

Os processos de transmissão de calor, na prática nunca ocorrem separados, pois sempre há simultaneidade entre dois ou três destes fenômenos. A intensidade de qualquer processo de transferência de calor pode ser mensurada tanto como fluxo de calor, quanto como densidade do fluxo de calor[5].

O fluxo térmico é definido como sendo a quantidade de calor trocada na unidade de tempo em qualquer um dos três processos. Pode ser permanente (ou estacionário) quando ele é constante, ou seja, a temperatura em cada ponto não é alterada e as condições de regime permanente predominam. Nesta situação, não há mudanças na energia interna e a entrada de calor deve ser igual à saída em qualquer ponto. O regime do fluxo de calor é dito transitório, no caso em que a temperatura em diversos pontos, varia com o tempo. As questões que envolvem fluxo de calor transitório são mais complexas do que os permanentes, sendo determinados por métodos aproximados (RIVERO, 1985).

Considerando-se a variação de temperatura de um edifício ao longo de um dia, tem-se uma situação particular de fluxo de calor em regime transitório, pois a temperatura do sistema é exposta às variações cíclicas. Neste caso, o

---

[5] Segundo Szokolay (2004), como fluxo de calor (Q), o total de transferência de calor em uma unidade de tempo através de uma área definida de um corpo no espaço, ou sem um sistema definido em unidades de J/s ou Watt. como densidade do fluxo de calor, por exemplo: a taxa de transferência de calor através de uma unidade de área de um corpo no espaço, em W/m^2.

armazenamento de energia e o fluxo de calor também executam variações periódicas.

2.5.1 Condução

Segundo Givoni (1998) "a condutividade térmica nas edificações é um processo de transferência de calor através de materiais sólidos (parede ou telhado) do lado mais quente para o lado mais frio do elemento da edificação. A taxa do fluxo depende da condutividade do material e da espessura do elemento da envoltória em questão".

Costa (2000) define a condução como sendo "a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos em íntimo contato, devido ao movimento molecular dos mesmos, sem que se verifiquem deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado". As vibrações de um corpo sólido dependem de sua temperatura, de modo que se a amplitude das vibrações sofrer uma elevação devido ao aquecimento, o calor passa a ser transmitido para todo o corpo através de ressonância (sempre da maior para a menor temperatura). Para que ocorra, as temperaturas internas e externas devem ser distintas, pois corpos com a mesma temperatura não trocam calor (energia).

A condução ocorre em um material sólido através da transferência do calor das moléculas mais quentes para as mais frias. Rivero (1985) define a condução como a transferência de calor entre dois corpos em contato e com diferentes temperaturas, de modo que o fluxo de calor é direcionado para as áreas de menor temperatura. O volume de calor transferido em cada local depende da diferença entre a maior e a menor temperatura. O regime do fluxo de calor pode ser estacionário, no caso das temperaturas se manterem uniformes, e variável, caso uma das temperaturas varie com freqüência.

Considerando-se o regime variável, é importante entender a forma como os fenômenos térmicos ocorrem dentro e fora das edificações, como no caso do regime periódico, em que as temperaturas variam segundo um padrão senoidal ao longo de um dia. Neste caso, a diferença entre as variações das temperaturas internas e externas depende das características da envoltória da edificação.

O gradiente de temperatura ao longo de um material homogêneo gera um fluxo de energia por condução no interior deste. No caso de uma cobertura plana, por exemplo, o fluxo de transferência de calor por condução depende da espessura do corpo (e), da condutividade (λ), da diferença de temperatura entre dois pontos (Δt) e do perfil da área por onde o calor irá fluir (A).

Durante a transmissão de calor por condução através de um corpo homogêneo, o coeficiente de condutividade térmica é propriedade de extrema importância, o qual depende de diversos fatores, como: de seu estado físico, composição, temperatura, densidade aparente, entre outros. A condutividade térmica eleva-se com a presença de umidade. Em materiais porosos, como telhas de barro, observa-se uma elevação considerável devido à diferença entre a condutividade da água e do ar.

2.5.2 Convecção

A convecção é um processo de transporte de energia em virtude da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa. Segundo Givoni (1998) a convecção pode ser de dois tipos: natural (causada pela diferença de temperatura) ou forçada. Considerando-se a convecção natural, esta ocorre quando o ar, após entrar em contato com uma superfície aquecida, se expande e sobe. Após entrar em contato com uma superfície mais fria, perde calor e ocorre o processo inverso (o ar é resfriado, fica mais denso e desce). O fluxo da transferência de calor depende da diferença de temperatura assim como da posição da superfície aquecida. O fluxo é maior quando a superfície mais aquecida é o piso, e menor quando o teto é a superfície mais quente.

Em superfícies horizontais, considera-se que o sentido do fluxo de ar pode ser ascendente ou descendente conforme a temperatura interna seja maior ou menor do que a externa. A quantidade de calor transmitido nas duas situações depende das facilidades do deslocamento do ar que sofre convecção.

2.5.3 Radiação

A energia térmica (calor) está presente em todos os corpos (os quais a transformam em energia radiante através da emissão de ondas eletromagnéticas). "Os corpos não só emitem radiações infravermelhas, como absorvem tais radiações de suas vizinhanças. Estas radiações são chamadas Radiações Térmicas"[6]. Existem propriedades térmicas[7] relacionadas à radiação, que dependem do comportamento da superfície (como emissor ou receptor da radiação solar) e que são fundamentais no desempenho térmico do elemento construtivo.

A radiação é considerada um fenômeno superficial, pois a emissão do calor através da radiação ocorre nas moléculas que se situam a uma distância menor do que 1 μm em relação à superfície (considerando-se o enfoque na análise de edificações). Radiação é assim definida, como sendo a troca de calor entre dois corpos – a partir da capacidade de emitir e de absorver energia térmica - situados a certa distância. Pode ocorrer até mesmo no vácuo, pois não é preciso que haja um meio para propagação. Quanto à radiação solar, o comportamento dos materiais é seletivo segundo a radiação incidente, de modo que a quantidade de energia absorvida, refletida e transmitida varia conforme o comprimento de onda (considerando-se os espectros ultra violeta, visível e infravermelho).

2.6 Propriedades termofísicas e características dos materiais

A melhoria do desempenho térmico das telhas (e de qualquer outro elemento) consiste de estudos detalhados que englobem todos os aspectos que relacionem os materiais construtivos em relação ao clima. A cobertura, ao mesmo tempo em que recebe grande quantidade de calor, também irradia este calor acumulado, à noite. Essa propriedade varia conforme as características térmicas dos materiais e deve ser utilizada conforme as estratégias climáticas mais adequadas em cada local.

---

[6] Extraído de: www.pcarv.pro.br/luz/radiacao_termica/radiacao_termica_2.htm

[7] Como emissores – Emissividade; como receptores: absortância (α) e refletância (ρ)

As propriedades termofísicas dos materiais construtivos que interferem nas formas de transmissão de calor são: Absortância, refletância e emissividade (características superficiais à radiação de onda longa); condutividade térmica (dos materiais); calor específico (dos materiais); transparência à radiação; resistência e condutância (dos componentes); capacidade térmica (dos componentes); coeficiente de convecção superficial; características dos materiais (transparentes e opacos) em relação à radiação solar e coeficiente global de transmissão térmica (de componentes).

O desempenho térmico dos materiais depende da parcela de radiação solar incidente, assim como das propriedades das superfícies atingidas. Após a radiação solar incidir, as parcelas são absorvidas, refletidas e transmitidas (conforme superfície opaca ou transparente), mas independentemente de qual desses processos seja predominantes, há sempre um ganho de calor. As características das superfícies em relação à radiação térmica são: a absortância, a refletância e a emissividade. A tabela 2.2 contém algumas definições.

TABELA 2.2: Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos

Fonte: ABNT 2005, parte 1

Emissividade	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura
Emitância	Taxa de emissão de radiação por unidade de área
Absortância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície
Absortância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície.
Refletância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície
Refletância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é refletida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície

As superfícies opacas[8] absorvem uma parte da radiação incidente e refletem a outra parcela em relação ao total da radiação incidente sobre estas. A equação que define esta relação é dada por:

$\alpha + \rho = 1$, (onde é α a absortância e ρ a refletância) (3)

Como referência, considera-se que um corpo negro ideal absorve (e emite) toda a radiação incidente na mesma proporção, ou seja, $\alpha = \varepsilon = 1$, $\rho = 0$. Para Szokolay (2004), "a absortância à radiação solar, determina a fração da energia solar radiante absorvida e convertida em calor". Corresponde a uma reação à radiação solar, sendo função da cor da superfície (superfícies escuras apresentam valores elevados enquanto que claras ou metálicas brilhantes apresentam valores baixos). Já a refletância (ρ) é responsável pela parcela da energia solar incidente em um corpo, e que é refletida por este sem que ocorra modificação de sua temperatura superficial.

Ao considerar um comprimento de onda determinado, a emissividade é, em termos quantitativos, igual à absortância (contudo ocorre uma variação para diferentes comprimentos de onda), de modo que a radiação térmica de um corpo é absorvida na mesma proporção em que é emitida.

Segundo Guyot et al (1983) em relação à radiação solar e à radiação de onda longa os materiais são classificados em quatro grupos: seletivos quentes, seletivos frios, refletores e corpos negros. Os materiais seletivos quentes são caracterizados por possuírem pequena reflexão da radiação de ondas curtas e da emissividade. Têm dificuldade em perder calor para o meio externo devido à baixa emissividade e absorvem muito a radiação solar (exemplos: aço galvanizado novo, cobre tratado, etc). Já no caso de materiais seletivos frios, estes possuem elevada emissividade e alta reflexão à radiação solar (e consequentemente reduzida absorção). Em função da alta emissividade perdem calor para o meio rapidamente (pintura branca, mármore branco, cal, etc.). Os materiais refletores, como as superfícies polidas, apresentam baixa emissividade e elevada reflexão. Os corpos negros (como asfalto, concreto) apresentam elevada emissividade e baixa reflexão para radiação de ondas curtas, além de ganhar e perder calor com facilidade.

---

[8] Normalmente, quanto mais escura for a superfície, maior será sua absortância.

Em relação à influência das cores sobre a absortância e refletância, Castro (2002) realizou análises espectrofotométricas para a refletância à radiação solar de tintas em diferentes cores, com o objetivo de demonstrar as respectivas parcelas nas regiões de luz visível e infra-vermelho. Foi verificado que, dentre as amostras ensaiadas, as cores que tiveram menor influência no ganho de calor solar foram branco, marfim e vanilla (com refletâncias superiores a 70%), enquanto que as amostras de cores preto, azul profundo, alecrim e telha, por apresentarem baixas refletâncias (inferiores a 40%) foram as que mais tiveram influência no ganho de calor.

Em pesquisa realizada por Krüger et al (2005) foi realizada a análise do desempenho térmico através de monitoramento em células teste com coberturas de cimento-amianto (com e sem a utilização de embalagens Tetra Pak) e comparação com o isolamento proporcionado por manta tipo "foil" (considerado um isolante por reflexão, refletindo 95% do calor irradiado e com emissividade ε=5%).

As propriedades ou características que determinam o comportamento térmico de um fechamento opaco, segundo Rivero (1985) são: a absortância, a emissividade, a condutividade térmica, o calor específico e a espessura dos materiais. Segundo o autor, o coeficiente de absorção (ou absortância) é de grande importância para a superfície exterior, sendo maior no verão (sua importância) quando os fechamentos (principalmente o horizontal) recebem grandes quantidades de radiação solar. A influência deste coeficiente também é elevada na medida em que o fechamento tem menor resistência e amortecimento. A redução da absortância da superfície a partir de uma cor adequada é um dos recursos para redução do efeito térmico da radiação solar nos períodos de calor. Granja (2002) constatou a importância da absortância na superfície externa de fechamentos opacos, a qual tem relação direta com a baixa inércia térmica (isto é, quanto menores os valores de inércia, maior a importância de valores elevados para a absortância). Em fechamentos opacos de pequena espessura a absortância passar a assumir maior importância do que a inércia.

Rivero (1985) afirma ainda que a redução do ganho de calor interno depende do correto tratamento da parte externa e interna das telhas. As chapas de metal, conforme concepção do autor, têm grande problema do ponto de vista térmico. Essas placas, em alguns momentos de verão, convertem-se em enormes painéis radiantes, cujas temperaturas superficiais alcançam e elevam-se além dos 60°C. Em relação a esta situação, a emissividade também influencia a transmissão de

calor por radiação. As lâminas metálicas (com temperaturas consideradas normais no espaço exterior) têm uma emissividade baixa para as ondas que emite. Esta emissividade diminui conforme é aumentado o polimento da lâmina (e se eleva com a oxidação – mas sempre se mantém abaixo da emissividade dos outros materiais). Além disso, a posição da lâmina metálica é importante, pois perde a efetividade pela acumulação de pó. A tabela D.2 (anexo D) apresenta alguns valores de emissividade segundo o tipo de superfície.

Segundo Givoni (1981):

> O fluxo de calor para o interior do edifício diminui conforme a capacidade térmica de sua estrutura aumenta. Quando a espessura da parece é aumentada, a fim de se elevar a capacidade térmica, a resistência térmica total aumenta proporcionalmente; assim, o efeito térmico é muito maior. A amplitude de temperatura interna varia como uma função exponencial da espessura da parede, e, consequentemente, a temperatura máxima deveria diminuir, e a mínima aumentar exponencialmente com o aumento da espessura. Na prática, o efeito quantitativo da espessura na temperatura superficial interna e na temperatura do ar também depende da ventilação e da cor externa.

Em relação à resistência térmica total, segundo definição da ABNT (2003), "resistência térmica total (R_t; unidade: m².K/W) é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa". Conforme o processo de transmissão de calor analisado são encontradas resistências térmicas diferentes: a resistência à transferência de calor por condução (que depende do coeficiente de condutividade) e por convecção (que depende do coeficiente de transferência de calor por convecção, h, interno e externo).

2.6 Coberturas [9]

[9] Seguindo o enfoque do presente trabalho (telhas), a primeira abordagem refere-se às coberturas, para posteriormente ser concentrado no elemento telha. No entanto, ao longo da revisão bibliográfica são considerados todos os aspectos que apresentam estreita ligação com as telhas.

A envoltória de uma edificação é constituída por todos os componentes (paredes, telhados, portas e janelas) que separam do meio externo, exercendo simultaneamente, o contato e a proteção contra a influência as variáveis climáticas (temperatura, radiação solar, umidade, etc.). O conhecimento dos processos físicos que ocorrem na envoltória, além das propriedades dos materiais utilizados em cada componente da edificação, fornece informações acerca da energia térmica e consequentemente, do desempenho térmico de cada componente, assim como de toda a edificação.

As coberturas constituem parte fundamental em edificações, protegendo tanto a própria edificação quanto os usuários dos efeitos nocivos do clima. Esta proteção, no entanto, depende das propriedades térmicas dos elementos da cobertura que poderão gerar condições internas mais adversas do que a do meio externo. As coberturas devem responder com eficiência a diversos fatores, como desempenho estrutural, térmico e acústico, estanqueidade, proteção contra incêndio, entre outros.

Em edificações térreas, considerando-se o "envelope" composto pelas vedações e cobertura, esta última é responsável pelo acréscimo de considerável parcela da carga térmica em função de sua exposição permanente à radiação solar. Dentre os componentes da cobertura, a telha é o elemento construtivo mais importante em relação a este ganho de calor (especialmente no caso de coberturas sem forro), pois interfere no conforto térmico e até mesmo no consumo de energia. Em coberturas simples, a propriedade do material é de importância fundamental, pois como não existem outras camadas, a proteção contra o excesso de passagem de calor só pode ser realizada pela própria telha.

Segundo Domínguez et al (1992), no projeto de uma cobertura devem ser considerados simultaneamente três fatores:

- "Controle solar (quantidade de sombra produzida e adequação da forma à da superfície ocupada)";

- "Parcela de radiação que atravessa a cobertura em relação ao total que incide sobre ela (o que depende do tipo de cobertura e dos materiais utilizados)";

- "A quantidade de calor absorvido e dissipado pela cobertura (o que depende do tipo de cobertura, da forma e da cor da superfície)".

Uma correta especificação de cobertura depende, sobretudo, dos conhecimentos do profissional da construção civil acerca das exigências fundamentais, responsáveis por um bom desempenho (como impermeabilidade, resistência ao impacto, isolamento térmico, leveza e durabilidade). Além disso, o profissional deve conhecer as variáveis climáticas de cada região e de sua relação com as propriedades térmicas dos materiais.

O mercado oferece cada vez mais, maior variedade de telhas, compostas por diversos tipos de materiais. Atualmente existem também os materiais que se enquadram na categoria ecológicos, por serem compostos de resíduos e não desprenderem substâncias nocivas.

No presente trabalho optou-se pelos quatro tipos de telhas (cerâmica, fibrocimento, aço e material reciclado de embalagem longa vida) devido a sua grande utilização em edificações térreas (cerâmica e fibrocimento, predominantemente em residências e aço em galpões industriais). No caso da telha de material reciclado, sua escolha ocorreu em função de se comparar seu desempenho em relação aos materiais convencionais, uma vez que esta ainda não é amplamente utilizada no mercado.

2.7 Desempenho térmico de telhas

A intensidade da radiação solar depende do comprimento da trajetória que os raios solares têm que atravessar ao longo da atmosfera, o que está condicionado, inclusive à altura solar (a qual é função da hora). A atuação da radiação solar sobre as edificações é determinada pelas condições atmosféricas, localização geográfica, pelo ângulo de incidência dos raios solares sobre o solo e as superfícies (lei do cosseno), pela distância de sua trajetória ao atravessar a atmosfera (lei das massas) e pela própria composição da atmosfera.

A radiação solar ao incidir sobre uma superfície opaca, tem uma parcela da energia absorvida e outra refletida. A parcela absorvida (onda curta) é emitida ou novamente irradiada sob a forma de radiação de onda longa. Contudo, a emissividade e a absortância, são os mesmos, para um mesmo material, em regiões de mesmo comprimento de onda (GIVONI, 1981).

Quanto às formas de transmissão de calor por radiação, estas são:

1. Radiação direta do sol (onda curta);
2. Radiação difusa, proveniente do céu (onda curta);
3. Radiação refletida (albedo – onda curta);
4. radiação reemitida, de onda longa (produzida no processo de absorção das superfícies, aquecendo o solo ou as superfícies, materiais, objetos, etc. - após algum tempo, depende das propriedades termofísicas de cada material ou superfície, a energia incidente é absorvida e reemitida na forma de onda longa - calor).

Os estudos de desempenho de térmico de telhas devem considerar a intensidade da radiação solar incidente, a qual varia conforme a latitude. Em latitudes próximas ao equador (figuras 2.7 e 2.8) observa-se que os raios solares incidem ortogonalmente à superfície terrestre (B) e com um ângulo de incidência bastante inferior à 90° em latitude elevadas (A). Além disso, observa-se que nestas latitudes (A), os raios solares têm que atravessar camada mais espessa da atmosfera, o que faz com que esta radiação chegue até a superfície com menor intensidade. Variações na orientação e inclinação podem maximizar ou minimizar os valores da radiação solar incidente nestas superfícies. Além disso, a intensidade e ângulo desta radiação variam conforme a época do ano (nos solstícios e equinócios).

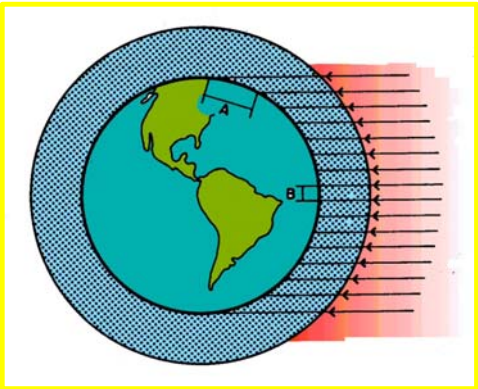


Figura 2.7: Variação da intensidade da radiação solar conforme a latitude

(Fonte: GONZALEZ, 1986)

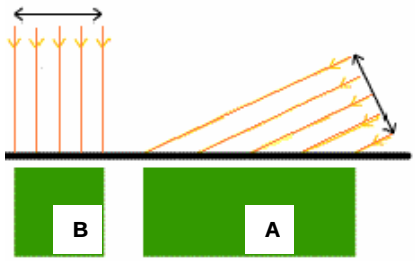


Figura 2.8: Representação da radiação solar incidente em A e B

(Fonte: GONZALEZ, 1986)

Os padrões de desempenho térmico dos telhados estão necessariamente condicionados à realidade climática do local em que será inserida a edificação. Silveira et al (2004) verificaram que as coberturas estão mais expostas à insolação do que as paredes (recebem em média 12 horas de insolação, conforme a época do ano, enquanto que as paredes recebem uma radiação térmica direta de 5,5 a 6 horas, para latitudes maiores). A figura 2.9 ilustra a diferença quando se comparam as parcelas de carga térmica recebida pelas paredes e coberturas em habitações térreas.

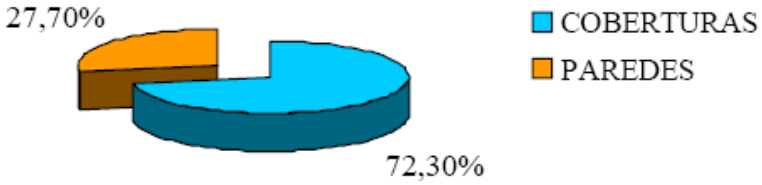


Figura 2.9: Carga Térmica recebida por habitações térreas e isoladas
Fonte: MASCARÓ (1992)

Em relação à intensidade da radiação solar que atinge as telhas, o verão é a época mais preocupante, especialmente em edificações de baixo custo. Ao incidir na edificação e, inclusive em seu entorno, a radiação solar transforma-se em energia radiante na faixa do espectro correspondente ao infravermelho, contribuindo para a elevação da temperatura do ambiente interno da edificação.

Durante o inverno, os ganhos solares e internos tendem a manter a temperatura interna do ar mais elevada do que a externa, mas o telhado é o responsável pelas maiores perdas. Isto ocorre principalmente durantes noites de céu limpo, quando o resfriamento radiativo[10] faz com que a temperatura da superfície externa do telhado cai abaixo da temperatura externa do ar.

Givoni (1981) afirma que o controle da influência da radiação solar pode ser realizado a partir da cor da superfície externa, o que, consequentemente altera o desempenho térmico de uma edificação (uma parcela da radiação solar absorvida é convertida em calor é transmitida para o interior da edificação).

[10] "O resfriamento radiativo consiste na perda de calor da Terra por emissão de radiação infravermelha, principalmente à noite, sob céu limpo" – Fonte: http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-7-3.html

Com o objetivo de verificar os ganhos e/ou perdas que comprometem o desempenho térmico de telhas (e em outros materiais), diversas pesquisas são realizadas em universidades. O monitoramento em células teste e protótipos, por exemplo, tem sido amplamente utilizado, uma vez que foi verificado seu caráter de análise prática e confiável (desde que os aparelhos estejam devidamente calibrados).

Krüger et al (2004) realizaram a verificação do desempenho térmico de materiais de vedação por meio do monitoramento de protótipos. Protótipos em escala reduzida possibilitam a análise comparativa para diferentes materiais, inclusive, segundo o próprio autor, podendo-se estendê-la para coberturas, estratégias de ventilação, acabamento de superfícies, entre outros.

Assim como a presente pesquisa, cujo monitoramento foi realizado na cidade de São Carlos, Souza et al (1995) analisaram, a partir de monitoramento de células-teste, o desempenho térmico para três tipos de coberturas, para o clima de São Carlos. Verificou-se que as variações da temperatura interna das células-teste foram próximas da temperatura exterior (o que não é favorável, pois a temperatura interna fica sujeita às constantes variações da temperatura externa).

Silveira et al (2004) em sua análise dos critérios para a definição de coberturas em habitação social enfocam o desempenho térmico como fator fundamental para a garantia do conforto térmico em habitações térreas. Verificou-se que os requisitos mínimos de conforto não são atendidos. Através do enfoque bioclimático os autores citam as possibilidades de melhoria de desempenho térmico para toda a edificação.

Teixeira et al (2005) monitoraram em protótipos (para a cidade de Campinas), o desempenho térmico de três tipos de coberturas (fibrovegetal, metálica e membrana tensionada de PVC), através da aplicação de técnicas de resfriamento radiante e evaporativo.

Simioni et al (2003) analisaram o desempenho térmico de coberturas através de simulações computacionais, com o objetivo de orientar os profissionais da construção civil na correta escolha do tipo de cobertura. Em uma das simulações foi analisada a influência da cor em telhas de fibrocimento com absortâncias distintas (e com laje de concreto 10 cm e reboco 2 cm). Observou-se que a máxima

diferença de temperatura superficial interna entre as telhas foi de aproximadamente 6°C (para α =0,2 e α =0,8).

2.7.1 Influência da refletância na temperatura superficial dos materiais

A refletância dos materiais corresponde à parcela refletida da radiação solar incidente sobre as superfícies. É uma variável que pode evitar (quando elevada) o ganho de calor para o interior das edificações. "Superfícies com elevado albedo[11] e emissividade permanecem mais frias quando expostas à radiação solar, pois absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para o espaço. Consequentemente transmitem menos calor para o entorno" (FERREIRA et al, 2003).

As temperaturas superficiais das telhas (resultantes da intensidade da incidência de radiação solar) exercem influência sobre o ganho de calor interno. A equação para determinação da temperatura de uma superfície exposta ao sol é apresentada no trabalho de Bretz et al (1998) em que são consideradas:

ρ = albedo ou refletância solar;

I = radiação solar incidente na superfície (W/m2)

ε = emissividade da superfície

σ = constante de Stefan – Boltzmann (5,67 * 10-8 W/m2K4)

T_s = temperatura de equilíbrio da superfície (K ou °C)

$T_{céu}$ = temperatura radiante do céu (K ou °C)

---

[11] "Por albedo entende-se a refletância especular e difusa integrada no intervalo com comprimento de onda entre 290 e 2500nm, que engloba aproximadamente 96% da Radiação Solar que atinge a superfície terrestre". (FERREIRA et al, 2002)

h_c = coeficiente de convecção (W/m2 K ou W/m2 °C)

T_a = temperatura do ar (K ou °C)

Com esta metodologia são avaliadas as características da superfície dos materiais, em função da refletância e emissividade de cada um. Pode-se assim, estimar a temperatura superficial de qualquer material, em situações com elevado valor de radiação solar (especialmente em baixas latitudes) em função de sua refletância e emissividade. Segundo Ferreira et al (2003), quanto mais próxima à temperatura superficial do material em relação à temperatura do ar, menor será a transmissão de calor para o ar por convecção e para o entorno por radiação.

Segundo Bretz (1998) a influência da cor externa na temperatura do ar interno está relacionada a outros parâmetros, além da refletância, como por exemplo, a capacidade e a resistência térmica das edificações. Em edificações com valores pequenos de transmitância térmica (U) e capacidade térmica elevada, o efeito da cor externa é tão importante quanto para uma edificação que apresente alta transmitância e baixa capacidade térmica.

Em relação à refletância das superfícies, Berdahl & Bretz (1997), através de uma pesquisa sobre a refletância de materiais para telhados, verificaram a redução desta (refletância) na medida em que era aumentada a rugosidade. Neste trabalho foram realizados ensaios com revestimento branco para telhas (em uma amostra a pintura foi aplicada sobre um substrato de vidro e na outra em um sarrafo de asfalto). Constatou-se que a superfície lisa apresentou uma refletância 25% maior do que a superfície rugosa.

Bansal et al (1992) consideram que o efeito da cor da superfície externa na temperatura interna de um ambiente possa estar condicionado a outros parâmetros em relação ao ponto de vista passivo que envolvam a taxa de ventilação e o ganho de radiação solar direta para o interior do edifício.

Todas as pesquisas realizadas em relação à refletância apontam para a sua importância em relação à redução de temperatura superficial, e por consequência, de menor transmissão de calor para o ambiente interior.

Segunda Parte

2.8 Normalização

A segunda parte exibe inicialmente, um panorama da estruturação da ABNT, em seguida, uma apresentação da norma NBR 15220 e do projeto de norma *Desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos* (que apresentam algum aspecto relacionado ao componente telha) e uma breve análise da necessidade de normas para produtos ecológicos. Pretende-se com esta abordagem identificar nestas normas, a amplitude dos aspectos referentes a este componente, para, no decorrer do trabalho demonstrar as lacunas existentes na questão de desempenho térmico.

2.8.1 A ABNT e o processo de normalização

Segundo definição da ABNT, "norma é um documento, estabelecido por consenso e aprovado por organismo reconhecido, que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados,

visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto"[12]. Os princípios gerais das normas (como objetividade, aplicabilidade, homogeneidade e planejamento) buscam relacionar a coerência entre a proposta e sua adequada aplicação, através de um estilo simples e conciso de escrita.

A normalização é fundamental, pois configura como tema estratégico, tendo impacto direto no desenvolvimento de novos produtos, podendo reduzir ou criar barreiras técnicas ao comércio. A importância da normalização se verifica na necessidade de adequação dos produtos dentro de um patamar de qualidade.

A eficiência de uma norma depende de diversos fatores, os quais devem ser igualmente atendidos (resposta a uma necessidade real, obtenção de solução satisfatória, geração de benefícios e atualização contínua). Além disso, as fases devem ser elaboradas com total planejamento, considerando-se os fatores primordiais para o sucesso da criação e implementação de uma norma (delimitação do problema, frequência de reclamações, segurança, volume e repetitividade).

Uma norma só é mencionada após ocorrência do problema que a gerou e sempre decorre de um trabalho voluntário, devendo ser elaborada por entidades representativas do setor (cuja aprovação está subordinada a um consenso). Para ser criada, precisa inicialmente ter uma demanda, para entrar em um programa de normalização e só então ser iniciada a elaboração de um projeto de norma. Através de consulta nacional (os projetos de normas atualmente ficam disponíveis no site da ABNT), os projetos são votados por pessoa, empresa ou entidade sócia da ABNT. Caso seja aprovado o projeto torna-se norma, caso contrário retorna à fase de elaboração de projeto de norma.

A elaboração de projeto de norma é realizada por uma comissão de estudos composta pelo fabricante, representante do consumidor e representantes neutros (oriundos de universidades, centros de pesquisa, etc.). O papel da comissão de estudos segundo o INMETRO abrange as seguintes funções:

- Elaborar e revisar as normas Brasileiras de acordo com as demandas apresentadas;

[12] Nota da norma: Convém que as normas sejam baseadas em resultados consolidados da ciência, tecnologia e da experiência acumulada, visando à obtenção de benefícios para a comunidade.

- Assegurar o cumprimento das diretrizes da ABNT para o processo de elaboração de normas brasileiras;

- Deliberar sobre o envio de projetos de norma para consulta nacional e para homologação como norma brasileira;

- Analisar as sugestões ou objeções recebidas durante o período de consulta nacional.

Além da elaboração das normas técnicas, é fundamental a atuação de centros tecnológicos (credenciados pelo INMETRO), devidamente capacitados, para produzirem resultados práticos e quantificarem as determinações das normas, explicitando os limites de cada produto (permitindo no seu uso posterior, a classificação do produto, seleção de atributos para comparação a partir de parâmetros técnicos qualitativa e quantitativamente significativos).

2.8.2 Normas e projetos de normas brasileiras

Ao abordar o desempenho térmico dos materiais é fundamental conhecer as normas e projetos de normas que têm relação com este. Amorim et al (2004) realizaram uma revisão sobre normas e projetos de normas técnicas existentes no Brasil, relacionadas ao conforto e eficiência energética (neste caso com o enfoque em janelas). Foi verificado que o Brasil possui alguns projetos de norma, cujo objetivo primordial é garantir o desempenho térmico das edificações.

No Brasil verificam-se a existência de diversas pesquisas buscando discutir e analisar as implicações das recomendações dos projetos de norma existentes. Com este enfoque podem ser citados, por exemplo, Pereira et al (2005) que discutiram as recomendações para projeto arquitetônico do Projeto de Norma de Desempenho térmico de edificações de interesse social, a partir de estudos de caso e de simulações para a cidade de Belo Horizonte (MG).

As pesquisas no Brasil com o objetivo de elaboração de critérios para a avaliação do desempenho térmico de habitações populares são realizadas pelo Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional de

Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Gonçalves, 2003).

Na cronologia do avanço dos estudos envolvendo a elaboração de normas de desempenho, observaram-se três momentos chave:

- Em 1981, com o trabalho "Elaboração dos Critérios Mínimos para Avaliação de habitações de Interesse Social";

- No início dos anos 90 com a criação da Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações;

- Em abril de 2005 foi publicada a NBR 15220: Desempenho térmico de Edificações (ABNT, 2005).

Em relação às normas de telhas, as normas atualmente vigentes enfocam questões necessárias, mas também deixam uma lacuna, porque não especificam requisitos fundamentais, como as propriedades que interferem no desempenho térmico.

As normas da ABNT tratam apenas de condições gerais (fabricação, identificação, unidade de compra, aspecto visual, característica sonora, características geométricas – forma, dimensões nominais e empenamento) e condições específicas (massa, absorção de água, impermeabilidade, carga de ruptura à flexão)[13]. Assim, estas normas não apresentam nenhuma informação que seria necessária para uma especificação adequada em relação ao desempenho térmico.

As normas devem estar em conformidade com o uso do produto, ou seja, devem-se priorizar os aspectos mais relevantes no desempenho global quando da aplicação do material. Além disso, estão sujeitas a revisão conforme são verificadas as necessidades do mercado. Assim, ao se tratar de telhas é fundamental atentar para todas as questões que interferem no desempenho térmico.

[13] Os detalhes de cada norma encontram-se no Anexo B

2.8.2.1 NBR 15220

A norma NBR 15220: Desempenho térmico de Edificações, foi resultado de um amplo processo de discussão[14], tendo sida elaborada pelo Comitê Brasileiro da Construção Civil, sob liderança da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). A Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações foi responsável por sua aprovação em 2003. Dois anos após a aprovação, a norma foi publicada e entrou em vigor.

Esta norma está estruturada em cinco partes, conforme o formato ABNT, com o objetivo de otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática (ABNT,2005). São estas:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;

- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

A parte 3 desta norma determina recomendações de projetos (em relação aos materiais utilizados e conforme estratégias passivas) específicas para habitações unifamiliares de interesse social a partir do Zoneamento bioclimático[15]. O Brasil é dividido em oito zonas "relativamente homogêneas" quanto ao clima, com recomendações técnico-construtivas[16] com o objetivo de otimizar o desempenho

---

[14] como pôde ser visto na breve cronologia dos estudos citado na página anterior.

[15] zoneamento estabelecido com base nos dados das Normais Climatológicas disponíveis para 330 cidades.

[16] Consultar o Anexo A para informações

térmico das edificações. Os parâmetros desta norma delimitam, por exemplo, as dimensões das aberturas de ventilação, proteção das aberturas, a tipologia de coberturas e paredes, além de estratégias de condicionamento térmico passivo conforme as especificidades do clima de cada região. Estas informações servem apenas como orientação.

Na parte 3 desta norma as diretrizes construtivas são assim definidas ao se identificar a zona bioclimática a qual pertence a região da edificação analisada. A cidade de São Carlos está situada na zona bioclimática 4. Para cada zona bioclimática a norma determina valores aceitáveis para as características termofísicas[17] dos elementos construtivos, como: atraso térmico (φ), transmitância térmica (U) e fator solar (Fs).

Em relação às estratégias de condicionamento ambiental sugeridas pela NBR 15220-3 foi necessária uma adaptação dos limites da zona de conforto, das referências de Givoni (1992) e Mahoney (KOENIGSBERGER et al, 1973), à realidade climática brasileira (RORIZ et al, 1999).

A norma NBR 15220-2 determina os modos de cálculo das propriedades térmicas[18] de elementos e componentes da edificação (resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar) nas condições de um regime estacionário de calor.

Considerando-se elementos opacos, o fator de ganho de calor solar (ou fator solar) é definido pela equação:

$$FS_o = 100.U.\alpha.R_{se} \qquad (3)$$

Onde:

FS_o – fator solar de elementos opacos (%);

U – Transmitância (w/m².k);

α – absortância à radiação solar (%);

---

[17] Os limites destas características termofísicas são apresentados na tabela A.5 – Anexo A

[18] Dentre estas propriedades citadas, será enfatizado apenas o fator de ganho de calor solar para superfícies opacas, por ter relação direta com a absortância (e esta ter relação com a refletância).

Contudo, como adota-se o valor de 0,04 para a resistência superficial externa, a fórmula passa a ser:

$FS_o=4.U.\alpha$ (4)

Esta norma define um limite máximo para o fator solar, de modo que é determinado um valor máximo da absortância (α) a partir dos valores da transmitância térmica e do fator solar, como visto na equação:

$\alpha \leq FS_o/(4.U)$ (5)

2.8.2.2 Projeto de norma de desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos

O significado da palavra *desempenho* corresponde ao "comportamento em uso do produto, caracterizando-se o fato de que este deve apresentar certas propriedades para cumprir a função proposta quando sujeito à determinadas influências ou ações durante a sua vida útil. Essas ações que atuam sobre o edifício são chamadas condições de exposição" (Gonçalvez et al, 2003). A avaliação do desempenho de um produto gera a necessidade de definição das condições que devem ser satisfeitas em situações de uso corrente.

A proposta da norma (02:136.01.007) estabelece parâmetros para posterior verificação das condições de uso das edificações e define as informações que devem constar num projeto. São delimitados valores para que se possa constatar se a edificação, sob processo de avaliação, atende um desempenho global mínimo, para qualquer sistema construtivo empregado.

A elaboração do projeto de norma de desempenho de edifícios habitacionais até 5 pavimentos ocorreu em conformidade com a realidade social, econômica e industrial do país, segundo critérios de segurança, habitabilidade, higiene e saúde, durabilidade e adequação ambiental. Todos os critérios de desempenho (térmico, lumínico e acústico) foram elaborados tendo como referência os projetos de

normalização em conforto ambiental, conforme o zoneamento bioclimático definido neste (NBR 15220-3).

Neste projeto de norma, a edificação é dividida nos seguintes elementos construtivos para análise: fundações, estrutura, paredes internas, fachadas, cobertura, divisórias internas, pisos internos, sistemas hidráulico-sanitários, de telecomunicações, de gás e elétricos, de transporte e de segurança e proteção. Diversas condições de desempenho consideram estes elementos construtivos de forma geral. O projeto estabelece ainda, para qualquer sistema construtivo, condições pré-determinadas. Ao não restringir o sistema construtivo, há espaço para a inclusão de novas tecnologias construtivas.

Na parte 5 do projeto de norma (Coberturas), item 11, são citados os três procedimentos alternativos (simplificado, simulação e medição) para a avaliação da adequação de habitações segundo o zoneamento bioclimático brasileiro (2005). Esta norma (Projeto 02:136.01.001 – Parte 1: Requisitos Gerais) adota o procedimento 1 (Simplificado), o qual refere-se às propriedades térmicas, transmitância e absortância dos materiais utilizados nas coberturas. No processo de medição são considerados dias típicos de inverno e verão para as cidades brasileiras (tabelas 2.3 e 2.4).

Tabela 2.3 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
M	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior ≤ valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zonas 1 a 8)
I	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior ≤ 29°C (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior ≤ 28°C (zona 8)
S	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior ≤ 27°C (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior ≤ 26°C (zona 8)
Zonas bioclimáticas de acordo com a norma 15220 – Parte 3	

Fonte: ABNT, PNBR 02:136.01, 2004

Considerando-se o método simplificado, dentro do requisito de isolação térmica da cobertura, determina-se que estas propriedades térmicas alcancem valores adequados a cada zona bioclimática para atingir um desempenho térmico satisfatório. Em relação à transmitância térmica (U) das coberturas, os níveis de

desempenho são apresentados na tabela C1 do anexo C (para o fluxo térmico descendente), para condições de verão.

Tabela 2.4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior ≥12°C.	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior ≥ 15°C.	
S	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior ≥ 17°C.	

– Nas zonas 1 e 2 o critério deve ser verificado, considerando-se fonte interna de calor de 1000W.
– Zonas bioclimáticas de acordo com a norma 15220 – Parte 3

Fonte: ABNT, PNBR 02:136.01, 2004

Após a adoção de quaisquer dos três métodos, o nível de desempenho pode ser classificado como Mínimo (M), Intermediário (I) ou Superior (S). Conforme o nível, a edificação terá uma vida útil e um prazo de garantia específicos.

Em relação ao método de avaliação do desempenho térmico de edificações ainda na fase de projeto, através de simulação computacional, devem ser considerados dias típicos de projetos (para verão e inverno), os quais são definidos a partir dos dados climáticos da cidade onde a edificação considerada está inserida.

Quanto aos métodos de avaliação, em relação à transmitância térmica, sua determinação segue os cálculos especificados na norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Em relação aos critérios e níveis de desempenho para a absortância térmica, a tabela C2 (anexo C) apresenta os valores máximos em relação à radiação solar para superfícies novas. Para isolação térmica, as condições verificadas neste Projeto de Norma (Parte 5: Coberturas)[19], são definidas na tabela C1 (anexo C).

[19] A parte 5 desta norma, específica sobre as exigências para coberturas[19], será comentada no presente trabalho apenas em relação ao item "desempenho térmico".

2.8.2.3 Normas para produtos ecológicos

> Produto ecológico é todo artigo que, artesanal, manufaturado ou industrializado de uso pessoal, alimentar, residencial, comercial, agrícola e industrial, seja não-poluente, não tóxico, notadamente benéfico ao meio ambiente e à saúde, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável (ARAÚJO).

Em relação à área da construção civil (através do aproveitamento de resíduos, escórias, etc), o Brasil possui um considerável potencial para a fabricação e consumo destes produtos, como tijolos de solo cimento, placas de plástico reciclado, tintas à base de silicatos de potássio, telhas recicladas, entre outros. No entanto, o que se verifica é um mercado ainda incipiente. As razões para este mercado emergente são diversas. Uma delas é a de que não existem para este segmento, nem mesmo, normas técnicas (como existem para os materiais convencionais disponíveis no mercado).

Apesar da ausência de normalização específica nesta área, diversas pesquisas têm sido realizadas no Brasil, com o objetivo de avaliar o desempenho térmico dos chamados "eco-produtos". Oliveira et al (2003) efetuaram experimentos utilizando uma placa quente protegida para verificar o coeficiente de condutividade térmica de um isolante térmico alternativo (fabricado a partir da casca de fibra de coco). Para este material, por exemplo, foi verificado um baixo coeficiente de condutividade térmica (0,041 W/m.K), similar ao dos isolantes térmicos sintéticos existentes no mercado).

Estudos que incluem o aproveitamento de resíduos para melhoria do desempenho térmico de telhas foram realizados por Labaki et al (2003), os quais verificaram as possibilidades de utilização de embalagens tipo "longa vida" como isolante térmico para telhas de fibrocimento. Nesta pesquisa constatou-se que o melhor resultado foi obtido para a embalagem armada com presença de câmara de ar. Krüger et al (2005) realizaram o monitoramento de células teste para avaliar o desempenho térmico de telhas de cimento amianto com e sem aplicação de embalagens Tetra Pak como isolante térmico (e manta isolante tipo "foil"). Os resultados encontrados nas pesquisas realizadas têm demonstrado em alguns casos, o potencial dos produtos ecológicos (assim como a necessidade de melhoria de desempenho térmico em casos outros).

Na pesquisa realizada por Vecchia (2005) foram comparados sistemas tradicionais de coberturas com uma cobertura verde leve (CVL) a partir da obtenção de dados experimentais (monitoramento da temperatura interna de células teste). Foi verificado para a CVL desempenho térmico satisfatório, por apresentar sempre amplitudes térmicas menores em relação aos outros sistemas monitorados.

Considerando-se as telhas recicladas, como uma forma de garantir sua segura inserção no mercado, é necessário conhecer suas características, para verificar seu desempenho em relação aos materiais convencionais, a fim de serem estabelecidos critérios e classificações adequadas, e posteriormente, elaboradas normas de desempenho térmico. No caso das telhas, uma das questões primordiais refere-se ao desempenho térmico, cuja análise deve estar diretamente associada às variáveis climáticas locais.

No Brasil como não existe ainda uma legislação (normas) para o setor, a competitividade destes produtos com os materiais convencionais fica fragilizada. Uma das formas de comprovar a qualidade dos produtos têm sido exatamente, as pesquisas realizadas em universidades (através de testes, ensaios e monitoramentos).

3 Materiais e Métodos

Este capítulo trata dos materiais e métodos adotados na pesquisa: A primeira parte refere-se ao monitoramento das células teste, apresentando a estação meteorológica utilizada, com a identificação de componentes (e do sistema de aquisição de dados), descrição das células teste e localização dos sensores. A segunda parte descreve o espectrofotômetro, seus componentes e funcionamento, com a indicação das amostras ensaiadas.

Primeira Parte Monitoramento das células-teste

3. 1.1 Estação meteorológica

A estação meteorológica Automática CR10X Campbell Scientific Inc. (figuras 3.1 e 3.2) coleta os dados externos (temperatura, umidade relativa, radiação solar, direção dos ventos predominantes e índice pluviométrico). Os dados ficam armazenados nesta, sendo descarregados através de um módulo de armazenamento com um “datalogger". Posteriormente são transferidos para um computador, via software de programação PC208 W (programa específico da Campbell Scientific Inc.) e interface de comunicação SC32A. Um multiplexador (com canais para conexão dos termopares tipo T) instalado em uma das células teste registra os dados de todas as células testes (temperatura superficial das telhas, temperatura de bulbo seco, temperaturas superficiais das paredes e temperatura de bulbo úmido).

A Estação automática monitora os seguintes dados: temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade e direção dos ventos. Os registros dos dados são realizados de 30 em 30 segundos, com médias a cada 30 minutos (menor do que o mínimo exigido pela OMM - Organização Mundial de Meteorologia – que

estabelece registros a cada 60 segundos, com médias a cada hora), sendo composta basicamente por:

- 01 Sensor de temperatura (-35 a 50^{0}C) e umidade relativa do ar (0 a 90%);

Figura 3.1 - Estação Automática CR10X Campbell

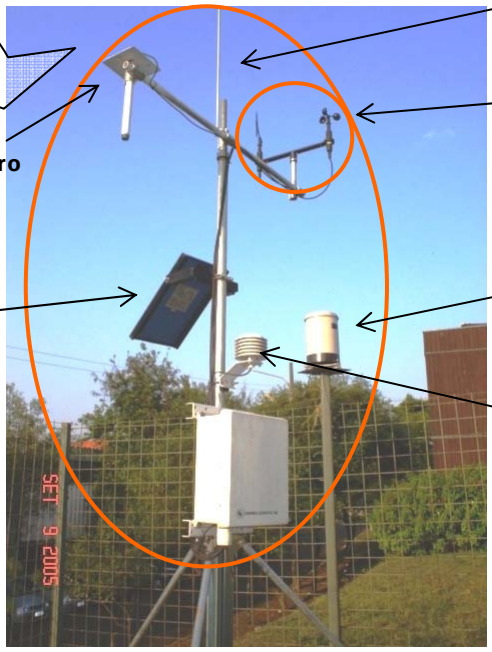


Figura 3.2 - Estação Automática CR10X Campbell

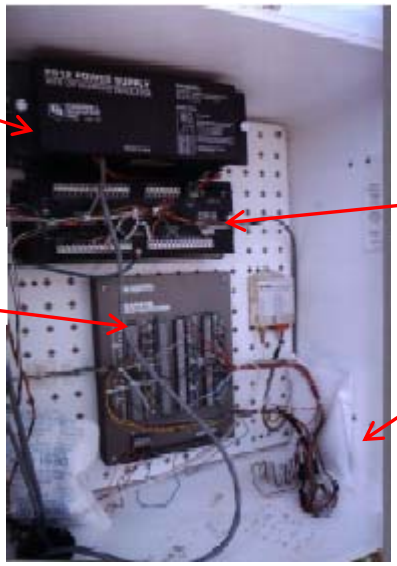


Figura 3.3 - Interior da caixa ambientalmente selada (aquisição de dados)

- 01 Sensor para pressão barométrica – (800 a 1060mB);- 01 CR 10X (datalogger) - datalogger Campbell Scientific Inc., CR10X;

- 01 Sensor de radiação solar global - LI-COR (400 a 700nM). Radiação direta e difusa;

- 01 Painel solar - produção de energia;

- 01 Anemômetro/01 Anemoscópio – RMYoung anemômetro (0 a 60m/s).;

- 01 bateria recarregável de 12 V (PS12 LA) – reguladores de voltagem, filtros e proteção contra queda de raios;

- 01 caixa ambientalmente selada.

O sistema de aquisição de dados é composto por um terminal para conexão de 12 sensores, através de uma porta de comunicação de 40 Kb de memória RAM[1] interna, baterias internas recarregáveis e recarregador. Possui três componentes de apoio principais: como conexão entre computador, datalogger e módulo de armazenamento, utiliza-se um filtro e conector (SR32A), outro conector (para conexão entre computadores e módulo de armazenamento e transporte dos dados) e o programa PC208W (para comunicação e programação com o datalogger, aquisição e armazenamento).

3.1. 2 Células teste monitoradas

As células teste encontram no canteiro experimental do laboratório de construção civil (LCC) da EESC-USP (Figuras 3.4 e 3.5). O conjunto é constituído por nove células testes, mas na presente pesquisa optou-se pela análise de apenas uma telha alternativa e três convencionais:

- Célula teste 01: cobertura com telhas cerâmicas tipo francesa;

[1] Random Access Memory – memória de acesso randômico. "O termo RAM é usado para designar uma memória de acesso randômico, ou seja, uma memória com igual facilidade de acesso a todos os endereços, no qual o tempo de acesso a qualquer um deles é constante. As RAMs são usadas em computadores para armazenamento temporário de programas e da*dos.*"
http://hardwarehp.vilabol.uol.com.br/memoram.htm

- Célula teste 02: cobertura com telhas ibaplac, fabricadas com material reciclado a partir de resíduo Tetra Pak;

- Célula teste 03: cobertura com telhas de fibrocimento ondulada;

- Célula teste 04: cobertura com telha de aço galvanizado

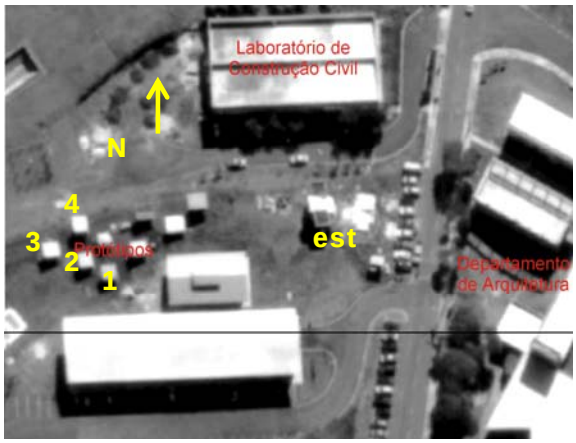


Figura 3.4 Implantação das células teste e estação meteorológica no campus EESC/ USP
Fonte: EESC-USP

Figura 3.5 Vista norte com indicação das células teste selecionadas

Todas as células teste foram implantadas segundo a direção leste-oeste e construídos com os mesmos materiais e dimensões, diferenciando-se apenas na cobertura. Possuem o piso de concreto com revestimento de argamassa de cimento desempenada, alvenaria de tijolo maciço (0,10m) e paredes pintadas com cal branca. As células testes possuem área de 5 m² (2,20 m x 2,70 m), com altura de 2,60 m na fachada leste e 3 m na fachada oeste.

Em fevereiro de 2006 optou-se pela pintura de duas células teste (figura 3.6): a de fibrocimento e de aço, com o objetivo de mensurar a influência da cor sobre as temperaturas monitoradas (especificamente as temperaturas superficiais e temperaturas internas). Foi aplicada uma demão de tinta látex acrílico branco em cada uma das duas telhas selecionadas.

Figura 3.6 Células teste pintadas com tinta látex branca

3.1.3 Instalação dos sensores

- Medidores de temperatura interna do ar:

Tbs- temperatura do bulbo seco; Tsi– temperatura superficial interna; termopares tipo cobre-constantin (modelo IR – *Cable extension* tipo T, PVC-PVC, 2X24 AWGANSI-7724).

- Instalação dos termopares:

Em todas as células testes foram instalados quatro sensores (termopares tipo T), posicionados da mesma forma:

- 01 termopar para coleta da temperatura interna do ar (figuras 3.7 e 3.8), a 1,50 em relação ao piso, sendo protegido da influência de radiação direta ou indireta por um PVC branco (diâmetro de 8 cm);
- 01 termopar fixado na parede leste (Figuras 3.9 e 3.10) para registro da temperatura superficial interna da parede;

- 01 termopar fixado na parede oeste para registro da temperatura superficial interna da parede;
- 1 termopar fixado na superfície interna do telhado (2.70 m em relação ao solo), para registrar as temperaturas superficiais internas (Figura 3.11);

Todos os termopares possuem as pontas soldadas com descarga elétrica de argônio em atmosfera neutra, as quais foram colocadas com pasta térmica sobre as superfícies para melhorar a condutividade térmica superficial (do próprio termopar).

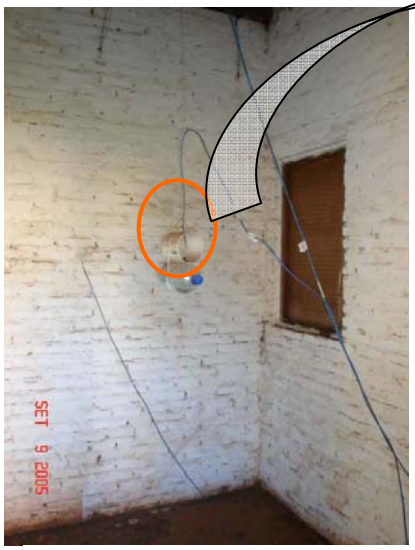


Figura 3.7 . Vista interna do células teste 01, mostrando o termopar colocado a 1,50m

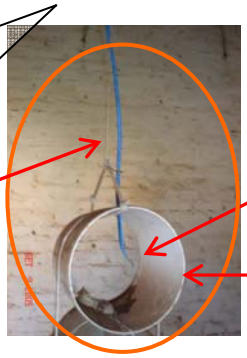


Figura 3.8 Shield para proteção do termopar

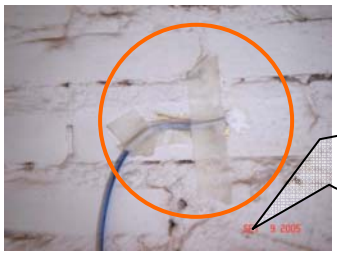


Figura 3.9 - Pasta térmica na ponta do termopar

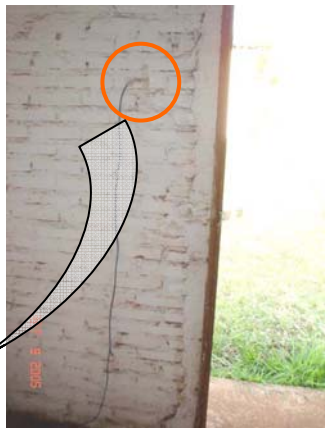


Figura 3.10 - Vista interna da célula teste 01, termopar fixado na parede leste

Figura 3.11- Termopar instalado no telhado (com pasta térmica na ponta)

Segunda Parte Medição de refletância

3. 2.1 Amostras Ensaiadas

Para as análises de refletância no espectrofotômetro foram selecionadas seis amostras de telhas, considerando-se as telhas monitoradas nas células teste (antes e após aplicação de tinta látex acrílico branco).

As amostras apresentaram as seguintes espessuras:

1 (e 5) – Aço: 0.4 mm

2 (e 6) – Fibrocimento: 4 mm

3 – Material reciclado: 4 mm

4 – Cerâmica: 1,4 cm

As amostras (Figura 3.12) foram cortadas em tamanhos de aproximadamente 15 mm por 35 mm (superfície plana) com o auxílio de uma serra circular acoplada a uma bancada (apenas a amostra de cerâmica apresentou dimensões maiores: 25 x 45 mm). Posteriormente foram limpas e ajustadas ao suporte do espectrofotômetro.

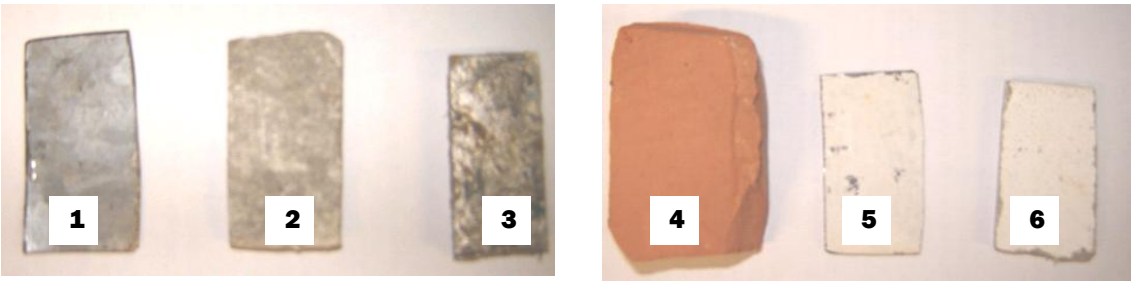


Figura 3.12 – Amostras: 1 – aço; 2 – fibrocimento; 3 – material reciclado; 4 – cerâmica; 5- aço com aplicação de tinta látex acrílico branca; 6 – fibrocimento com aplicação de tinta látex acrílico branco

Como referência foi utilizado um acessório de refletância difusa (politetrafluoretileno) para comparação com as refletâncias das amostras de outros materiais e para calibração do equipamento. A amostra de referência utilizada possui alta reflexão especular e difusa, de aproximadamente 100%.

As amostras 5 e 6 receberam aplicação de uma demão de tinta látex acrílico branco. Segundo Borges (1996), "o látex acrílico é um produto à base de resina acrílica estirenada, pigmentos, aditivos e solventes. É indicado para pinturas externas e internas sobre reboco, massa corrida e massa acrílica, possuindo resistência maior que o látex PVA, sendo por isso mais indicado para superfícies externas".

3. 2.2 O Espectrofotômetro

O espectrofotômetro é um aparelho cuja função é a de mensurar a quantidade de luz absorvida, refletida ou transmitida de amostras para vários comprimentos de onda. A técnica de análise espectrofotométrica revela os resultados para todas as regiões do espectro, indicando claramente as proporções de reflexão em cada um destes, além da reflexão total.

As análises de refletância das amostras de telha foram realizadas através de espectrofotômetro marca Varian (Figuras 3.13 e 3.14), modelo Cary 5G (Espectrofotômetro Ultravioleta / Visível - Infravermelho Próximo - UV/Vis-NIR), no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQSC/USP). Este espectrofotômetro abrange a região espectral do ultravioleta, visível e infravermelho, no intervalo entre 190 e 3200 nm. Para o presente estudo foi escolhido o intervalo entre 300 e 1500 nm.

O software Origin 4.0 foi utilizado para a geração de tabelas e gráficos a partir dos dados de reletância obtidos. Foram obtidas curvas, com integração das áreas correspondentes às três regiões do espectro (uv, v, iv).

Figura 3.13 – Espectrofotômetro Varian/ Cary 5G

Figura 3.14 – Compartimento onde é colocada a amostra

Figura 3.15 – Amostra de referência Cor branca

Figura 3.16 – Fixação da amostra para análise

4 Resultados

Primeira Parte MONITORAMENTO

Desempenho térmico de verão

Os períodos de verão selecionados para análise vão de 24 a 30/01/2006 e de 03 a 09/03/06. A tabela a seguir apresenta os valores dos dados coletados durante os meses de janeiro e de março (2006) comparados com as Normais Climatológicas de 1961 a 1990. Observa-se pela tabela 4.1, que a maior diferença de temperatura é relativa à temperatura média mínima, situação compreensível, uma vez que os meses considerados para análise são caracterizados por temperaturas mais elevadas. As médias de umidade relativa dos períodos analisados revelaram-se superiores em relação à média das Normais climatológicas, ainda que os períodos analisados tenham sido caracterizados por pouca chuva.

Tabela 4.1: Dados climáticos dos meses de janeiro e março de 2006 e das Normais

Variáveis	Janeiro	Março	Normais
Temperatura média máxima (°C)	29,84	29,09	24,7
Temperatura média (°C)	24,28	23,55	19,7
Temperatura média mínima (°C)	20,03	19,69	14,7
Umidade relativa (%)	69,9	76,2	60
Precipitação pluviométrica (mm)	48	28,04	158
Radiação solar global (W/m²)	129,12	122,16	151

4. 1 Dados climáticos

As tabelas a seguir (4.2 e 4.3) contêm os dados climáticos registrados pela estação meteorológica para os períodos analisados. Ao longo do período de 24 a 30 de janeiro, percebe-se que a maior diferença entre as temperaturas máximas ocorreu entre os dias 25/01 e 29/01 (apresentando uma diferença de 9,43°C). Em relação às temperaturas mínimas, não houve grande variação (apenas 2,43°C, 21,68°C no dia 24/01 e 19,25 no dia 30/01). O período apresentou baixos valores de índice pluviométrico e umidade relativa mais elevada a partir do dia 26/01. Os valores médios de radiação solar global se mantiveram baixos devido à interferência de nuvens em alguns momentos, o que não reduziu as elevadas temperaturas dos dias 24 e 25/01.

Tabela 4.2: Dados climáticos da semana de 24 a 30 de janeiro de 2006

Variáveis	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura máxima (°C)	34,12	34,87	31,43	30,48	29	25,44	26,44
Temperatura média (°C)	27,31	27,03	25,7	24,39	24,17	21,52	21,57
Temperatura mínima (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25
Umidade relativa (%)	53,32	57,07	67,56	74,2	73,98	87,5	85,4
Precipitação pluviométrica (mm)	0	0,047	0	0	0,015	0,0307	0,089
Radiação solar global (W/m²)	123,94	104,9	136,87	140,5	132,77	127,79	126,66

Ao longo do período de 03 a 09 de março, percebe-se que a maior diferença entre as temperaturas máximas ocorreu entre os dias 03 e 05/03 (apresentando uma diferença de 5,6°C). Em relação às temperaturas mínimas, não houve grande variação (apenas 3,83°C, 17,61°C no dia 8 e 21,44°C no dia 6). O período apresentou baixos valores de índice pluviométrico e umidade relativa oscilante (mas com valores elevados em todos os dias). Os valores médios de Radiação solar global se também se mantiveram baixos.

Tabela 4.3: Dados climáticos da semana de 03 a 09 de março de 2006

Variáveis	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura máxima (°C)	33,45	32,96	27,85	28,68	28,01	30,18	30,14
Temperatura média (°C)	26,89	26,17	23,66	24,51	22,3	23,87	24,97
Temperatura mínima (°C)	21,2	21	20,23	21,44	19,19	17,61	18,95
Umidade relativa (%)	68,25	72,38	83	78,93	81,61	73,33	71,82
Precipitação pluviométrica (mm)	0	0,11	0,01	0,01	0,01	0	0
Radiação solar global (W/m²)	132,68	115,79	150,12	118,02	127,26	129,18	121,89

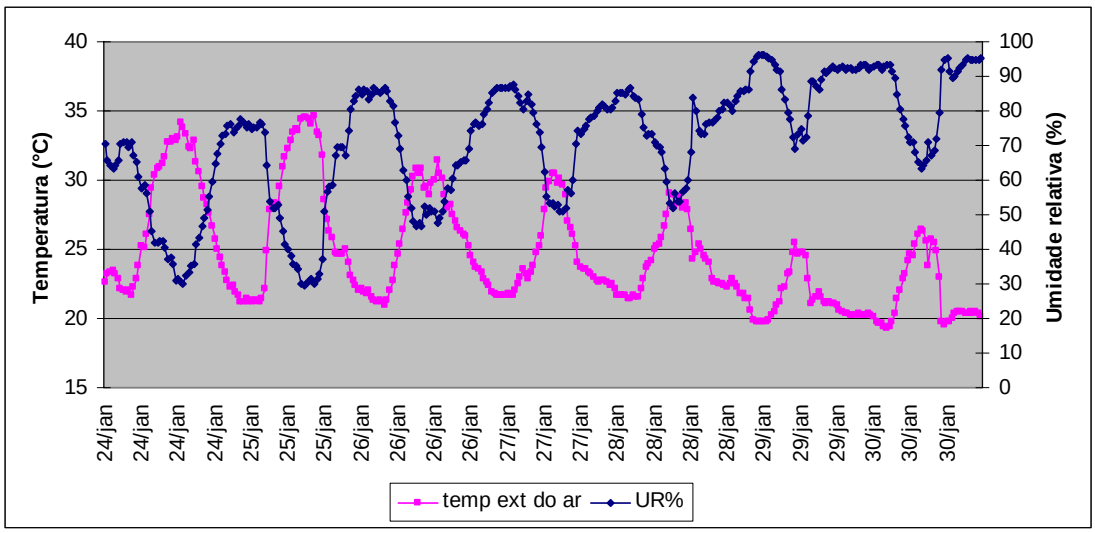


Figura 4.1: Temperatura e Umidade relativa entre 24 e 30/01

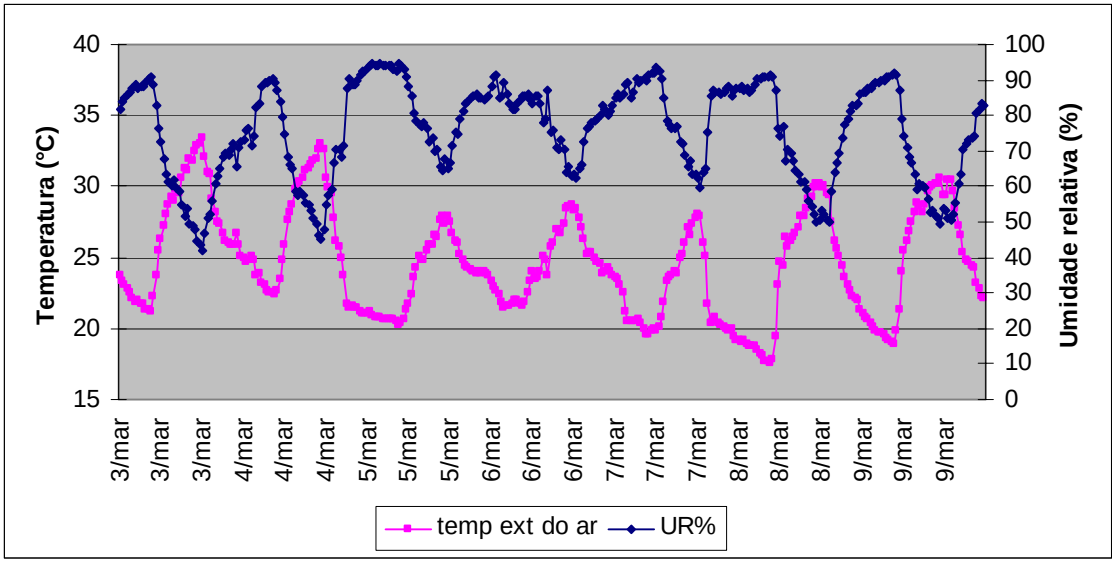


Figura 4.2: Temperatura e Umidade relativa entre 3 e 09/03

O gráfico da figura 4.1 ilustra a evolução da temperatura e umidade relativa do ar entre os dias 24 e 30/01, enquanto que o gráfico da figura 4.3 representa o comportamento da radiação solar global para o mesmo período. A mesma representação é utilizada para o período de 03 a 09/03 (figura 4.2), o qual apresenta uma temperatura máxima inferior em relação ao período anteriormente citado (34,67°C às 16:30 no dia 25/01 e 33,45°C às 16:30 do dia 03/03).

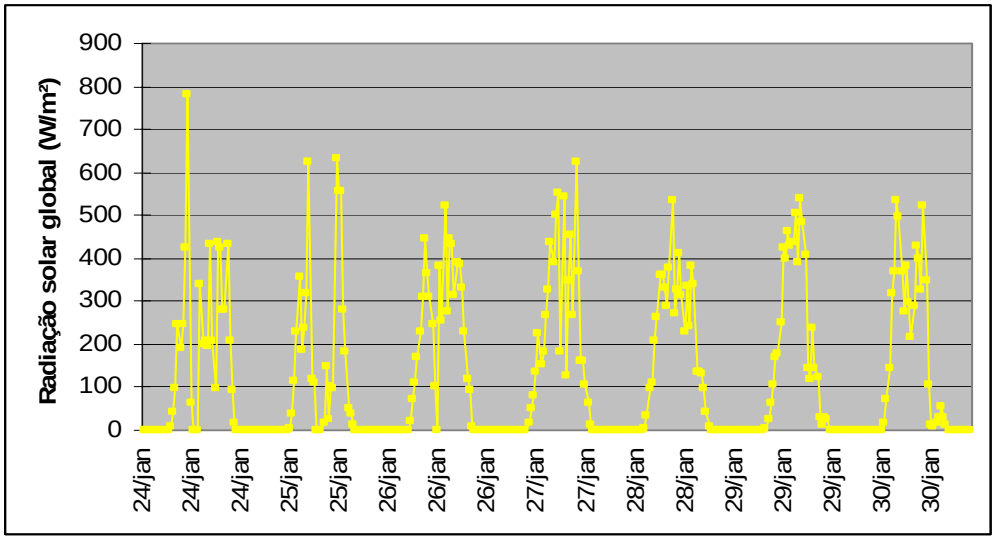


Figura 4.3: Radiação solar Global entre 24 e 30/01

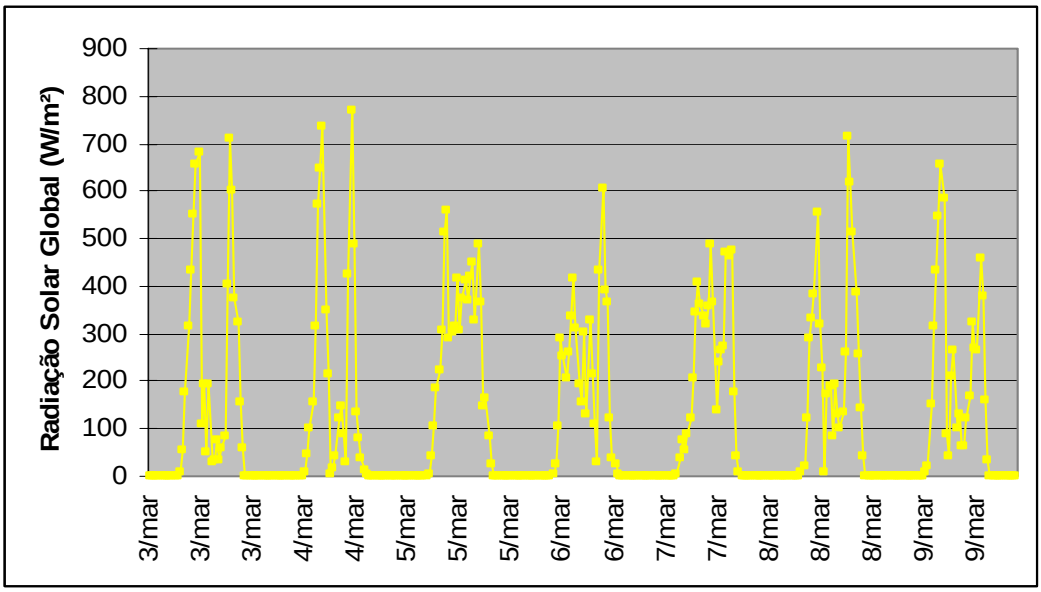


Figura 4.4: Radiação solar Global entre 3 e 09/03

Os gráficos das figuras 4.3 e 4.4 ilustram as variações da radiação solar no decorrer dos respectivos períodos, ocorrendo picos de radiação solar consideráveis nos dias 24/01 (782 W/m² às 9:30) e 04/03 (770 W/m² às 15:30). Ainda que a média de radiação solar não tenha sido elevada, os períodos em que ocorreram picos influenciaram bastante no incremento da temperatura das células-teste, especialmente das temperaturas superficiais das telhas.

4. 2 Dados da célula-teste com telha cerâmica

4.2.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas

A tabela 4.4 resume os valores das temperaturas máximas e mínimas da célula teste com telha cerâmica registradas em todas as posições em que os termopares foram instalados (para o período de 24 a 30/01/06)[1]. Na tabela foram destacados os valores máximos e mínimos para cada posição do termopar, conforme as temperaturas extremas identificadas. O gráfico da Figura 4.5

[1] Considerou-se também a temperatura externa na análise de todas as células teste.

representa as curvas da temperatura do ar e as temperaturas internas da célula-teste.

Tabela 4.4 : Temperaturas máximas e mínimas entre 24 e 30/01

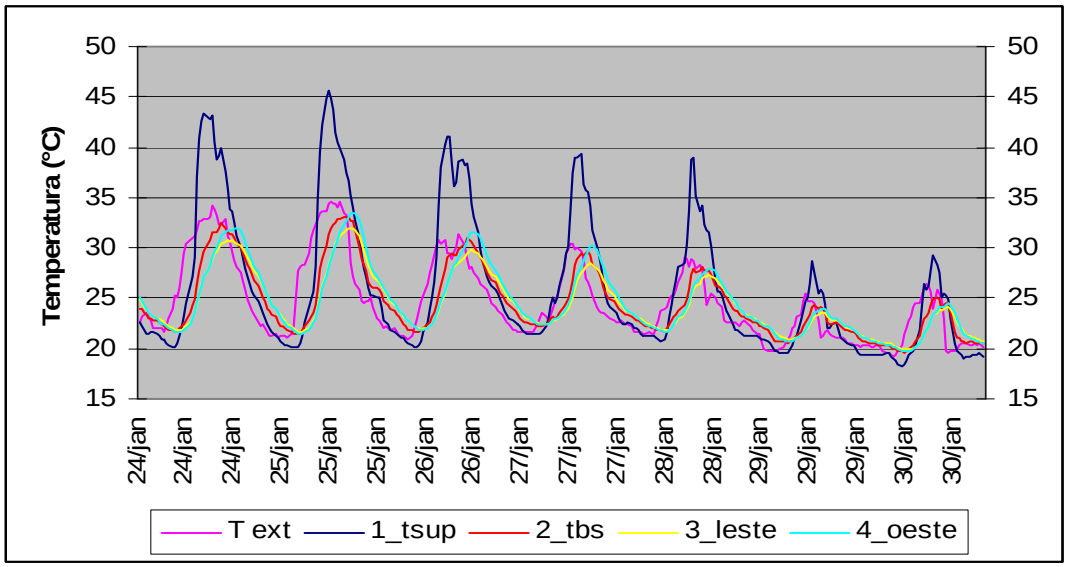
Variáveis/ DIA	24	25	26	27	28	29	30	Médias
T ext. máx (°C)	34,12	34,67	31,43	30,48	29	25,44	26,44	30,23
T ext. min (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25	20,83
T sup. máx (°C)	43,4	45,65	41,13	39,34	38,9	28,61	29,19	38,03
T sup. mín (°C)	20,14	20,09	20,08	21,44	20,63	19,4	18,25	20
T int. máx (°C)	32,43	33,1	30,92	29,59	28,07	24,28	24,99	29,05
T int. mín (°C)	21,62	21,38	21,6	22,25	21,72	20,59	19,66	21,26
T p. leste. máx (°C)	30,75	32,01	29,76	28,52	27,32	23,6	24,12	28,01
T p.leste mín (°C)	21,81	21,66	21,93	22,39	21,82	20,92	19,86	21,48
T p. oeste máx (°C)	31,94	33,54	31,74	30,22	28,01	24,02	24,45	29,12
T p. oeste mín (°C)	21,57	21,39	21,79	22,33	21,67	20,64	19,69	21,3

No dia em que se verificou o valor máximo da temperatura externa (34,67°C às 16:30 no dia 25/01), também foram verificadas todas as temperaturas máximas do período, de modo que a maior amplitude térmica (25,56°C) também ocorreu neste dia (temperatura superficial interna de 45,65°C às 13:30 e 20,09 °C às 7:30). Em relação às demais temperaturas, estas oscilaram entre valores mais próximos aos da temperatura externa. Em todos os dias, as menores temperaturas foram verificadas para o termopar instalado na parede leste, enquanto que na parede oeste, entre os dias 25 e 27/01 observaram-se as temperaturas máximas mais próximas da temperatura externa. Nos dias em que houve redução da temperatura externa, as amplitudes térmicas também ficaram menores (como pode ser observado no gráfico). A diferença entre as temperaturas máximas (t_{ext} e t_{bs}) apresenta uma média de 2°C nos dias 24 e 25/01.

Tabela 4.5: Diferenças entre máximas e mínimas das temperaturas do ar e internas e temperaturas do ar e superficiais entre 24 e 30/01/06

Variáveis/ DIA	24/jan	25/jan	26/jan	27/jan	28/jan	29/jan	30/jan
∆t máx (°C): (Text - tsup)	-9,28	-10,98	-9,7	-8,86	-9,9	-3,17	-2,75
∆t min (°C): (Text - tsup)	1,54	1,07	0,85	0,2	0,8	0,32	1
∆t máx (°C): (Text - tint)	1,69	1,57	0,51	0,89	0,93	1,16	1,45
∆t min (°C): (Text - tint)	0,06	-0,22	-0,67	-0,61	-0,29	-0,87	-0,41

Figura 4.5: Temperaturas do ar e temperaturas internas da célula teste com telha cerâmica



Na tabela 4.5 percebem-se grandes variações entre os dias 24 e 28/01, confirmando o comportamento ilustrado no gráfico anterior. O valor negativo atribui-se aos valores de temperatura externa, sempre inferiores aos valores de temperatura superficial da telha. As diferenças de temperatura, referentes ao ar externo variaram de 0,06 a 10,98°C.

4. 3 Dados da célula-teste com telha de material reciclado

4.3.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas

A tabela 4.6 lista os valores das temperaturas máximas e mínimas da célula teste com telha de material reciclado (a partir de resíduos de embalagem Tetra Pak) registradas em todas as posições dos termopares no interior da célula-teste (além da temperatura externa). São enfatizados os valores máximos e mínimos, os quais ocorreram nos mesmos dias da análise anterior.

Tabela 4.6: Temperaturas máximas e mínimas entre 24 e 30/01

Variáveis/ DIA	24	25	26	27	28	29	30	Médias
T ext. máx (°C)	34,12	34,67	31,43	30,48	29	25,44	26,44	30,23
T ext. min (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25	20,83
T sup. máx (°C)	49,61	52,04	47,57	44,03	46,52	37,65	38,6	45,15
T sup. mín (°C)	20,18	19,84	19,95	21,21	20,37	19,25	18,04	19,83
T int. máx (°C)	34,13	34,93	32,94	30,98	29,76	25,49	26,75	30,71
T int. mín (°C)	22,06	21,99	22	22,65	22,14	20,78	19,76	21,63
T p. leste. máx (°C)	32,91	34,98	32,59	30,53	29,2	25,07	26,14	30,2
T p.leste mín (°C)	21,92	21,91	22,04	22,56	21,99	21,02	19,84	21,61
T p. oeste máx (°C)	33,39	34,99	33,26	31,32	29,31	25,23	25,94	30,49
T p. oeste mín (°C)	21,85	21,73	21,82	22,57	21,89	20,71	19,75	21,47

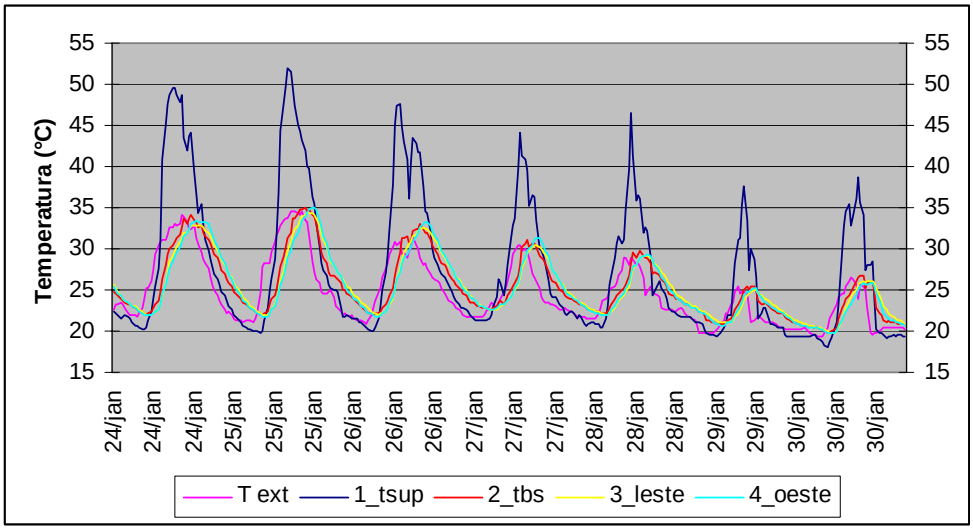


Figura 4.6 : Temperaturas do ar e temperaturas internas da célula teste com telha de material reciclado

As curvas da temperatura do ar e as temperaturas internas da célula-teste são representadas no gráfico acima (Figura 4.6). A temperatura máxima (t_{sup}) e as maiores temperaturas do período, assim como no exemplo anterior, ocorreram no dia 25/06. Com exceção da t_{sup}, as demais temperaturas se aproximam muito da temperatura externa do ar. Ao contrário da diferença entre as temperaturas máximas verificadas para a telha cerâmica (2°C nos dias 24 e 25/01), no caso da telha de material reciclado, as diferenças são desprezíveis (tabela 4.7).

Quanto à temperatura superficial interna da telha há uma diferença notável quando se comparam as curvas da t_{sup} da telha cerâmica com a telha de material reciclado, pois esta última, a partir do dia 28/01 começa a apresentar valores mais elevados do que a telha cerâmica exposta à mesma situação (no dia 28/01 $t_{sup\ máx}$ da telha cerâmica é de 38,9 °C, enquanto que a $t_{sup\ máx}$ da telha de M.R[2] é de 46,52 °C). Referente às demais temperaturas, estas oscilaram entre valores mais próximos aos da temperatura externa. Especialmente nos dias de menor temperatura (28 a 30/01) chega a ocorrer sobreposição das curvas das temperaturas internas (com exceção da t_{sup} da telha).

Tabela 4.7: Diferenças entre máximas e mínimas das temperaturas do ar e internas e temperaturas do ar e superficiais entre 24 e 30/01/06

Variáveis/ DIA	24/jan	25/jan	26/jan	27/jan	28/jan	29/jan	30/jan
∆t máx (°C) - (Text - tsup)	-15,49	-17,37	-16,14	-13,55	-17,52	-12,21	-12,6
∆t min (°C) - (Text - tsup)	1,5	1,32	0,98	0,43	1,06	0,47	1,21
∆t máx (°C) - (Text - tint)	-0,01	-0,26	-1,51	-0,5	-0,76	-0,05	-0,31
∆t min (°C) - (Text - tint)	-0,38	-0,83	-1,07	-1,01	-0,71	-1,06	-0,51

A tabela 4.7 apresenta os valores das variações de temperatura interna a partir da t_{ext} do ar, onde se pode verificar que as maiores diferenças ocorrem sempre em relação à t_{sup}. As diferenças de temperatura, referentes ao ar externo variaram de 0,01 a 17,52 °C (diferença superior aquela verificada para a célula teste com telha cerâmica).

4. 4 Dados da célula-teste com telha de aço

4.4.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas

A tabela 4.8 apresenta os valores das temperaturas máximas e mínimas da célula teste com telha de aço e de temperatura externa. Nota-se que o valor máximo de t_{sup} da telha é atingido no dia 25/01, como conseqüência da maior t_{ext}

[2] Leia-se: material reciclado de resíduo de embalagem longa vida

do período. As variações entre as temperaturas superficiais máximas e mínimas da telha são significativas, chegando à diferença de 45,36 °C no dia 25/01. Em relação às temperaturas das paredes (leste e oeste), as diferenças entre as mínimas não foram significativas (maior diferença: 0,21 °C, no dia 29/01), mas entre as temperaturas máximas chegou-se a uma diferença de 0,86 °C (no dia 27/01). As curvas das temperaturas das paredes leste e oeste seguiram basicamente o mesmo padrão, e em alguns momentos até ficaram sobrepostas.

Tabela 4.8: Temperaturas máximas e mínimas entre 24 e 30/01

Variáveis/ DIA	24/jan	25/jan	26/jan	27/jan	28/jan	29/jan	30/jan	Médias
T ext. máx (°C)	34,12	34,62	31,43	30,48	29	25,44	26,44	30,21
T ext. min (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25	20,83
T sup. máx (°C)	61,18	64,05	60,26	57,32	60,18	47,8	45,05	56,55
T sup. mín (°C)	18,82	18,69	19,07	20,24	19,33	18,69	17,65	18,93
T int. máx (°C)	33,99	35,38	33,1	31,35	30,37	25,83	26,88	30,98
T int. mín (°C)	21,83	21,76	21,92	22,61	21,96	20,87	19,82	21,54
T p. leste. máx (°C)	33,06	34,28	32,34	30,46	29,34	25,39	26,54	30,2
T p.leste mín (°C)	21,72	21,7	21,96	22,47	21,89	21,04	19,84	21,52
T p. oeste máx (°C)	33,58	35,08	33,2	31,32	29,41	25,39	26,13	30,59
T p. oeste mín (°C)	21,73	21,66	21,85	22,52	21,85	20,83	19,82	21,46

A partir da leitura do gráfico 4.7 e da tabela 4.8 percebe-se uma variação significativa entre as temperaturas superficiais da telha e as demais temperaturas. A t_{sup} da telha não segue o padrão das demais, atingindo valores notadamente superiores a estes. Além disso, percebem-se alterações nas curvas da t_{sup} que diferem do padrão das senóides das outras temperaturas monitoradas, com valores de ruptura em vários instantes (que são reflexos das alterações da temperatura externa).

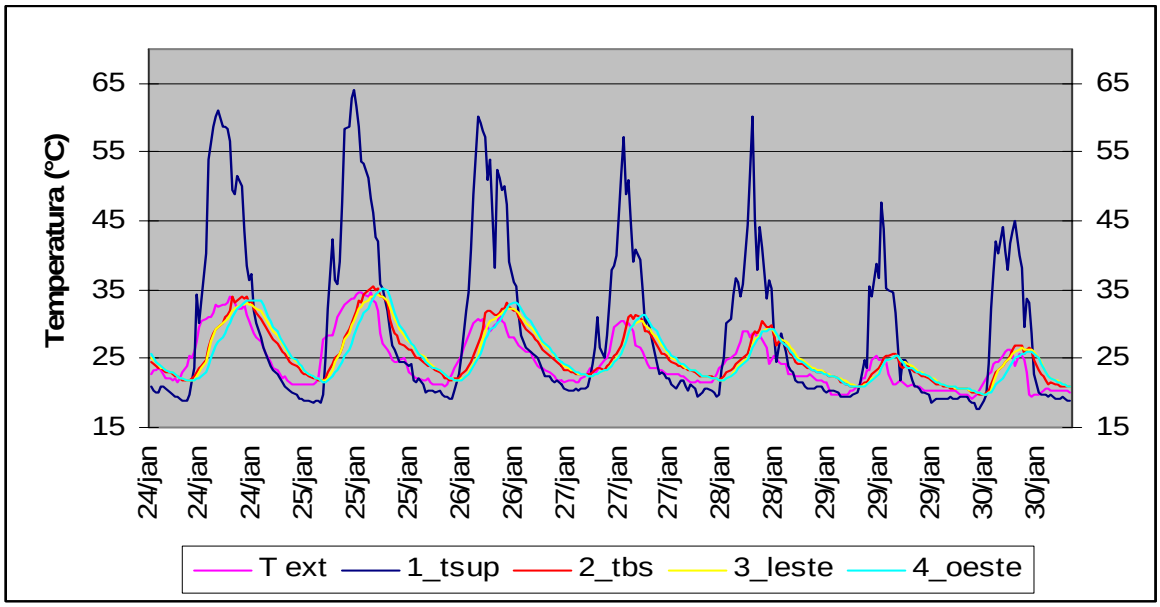


Figura 4.7: Temperaturas do ar e temperaturas internas da célula teste com telha de aço

A diferença entre a temperatura da superfície interna da telha e a temperatura externa do ar chega a ser de 31,18 °C no dia 28/01. Os valores máximo e mínimo da temperatura superficial interna foram de 64,05 °C às 13:00 hs do dia 25/01 e 17,65°C às 7:00h do dia 30/01.

Em relação à temperatura externa, o maior valor foi de 34,67 °C às 16 hs no dia 25/01 enquanto que a menor ocorreu no dia 30, às 5:30h. A maior amplitude térmica encontrada foi de 13,51 °C, no dia 25/01/06. Quanto à temperatura interna (t_{bs} a 1,50 m), o maior valor registrado foi de 35,38 °C às 16:30h do dia 25/01 e o mínimo foi de 19,82°C às 7:00h, com amplitude térmica média 9,37 °C. Considerando o ar externo, a variação foi desprezível, variando no máximo em 0,15°C (como demonstra a tabela 4.9).

Tabela 4.9: Diferenças entre máximas e mínimas das temperaturas do ar e internas e temperaturas do ar e superficiais entre 24 e 30/01/06

ΔT / DIA	24	25	26	27	28	29	30
Δt máx (°C) - (Text - tsup)	-27,06	-29,43	-28,83	-26,84	-31,18	-22,36	-18,61
Δt min (°C) - (Text - tsup)	2,86	2,47	1,86	1,4	2,1	1,03	1,6
Δt máx (°C) - (Text - tint)	0,13	-0,76	-1,67	-0,87	-1,37	-0,39	-0,44
Δt min (°C) - (Text - tint)	-0,15	-0,6	-0,99	-0,97	-0,53	-1,15	-0,57
Δt máx (°C) - (Text - t_p.L)	1,06	0,34	-0,91	0,02	-0,34	0,05	-0,1
Δt min (°C) - (Text - t_p.L)	-0,04	-0,54	-1,03	-0,83	-0,46	-1,32	-0,59
Δt máx (°C) - (Text - t_p.O)	0,54	-0,46	-1,77	-0,84	-0,41	0,05	0,31
Δt min (°C) - (Text - t_p.O)	-0,05	-0,5	-0,92	-0,88	-0,42	-1,11	-0,57

Após a aplicação de tinta látex branca, são observadas alterações significativas na amplitude térmica da temperatura superficial da telha. A maior temperatura superficial interna alcançada foi de apenas 38,51°C (para $t_{ext_máx}$= 33,45°C), valor bem inferior ao encontrado antes da pintura em condições climáticas semelhantes ($t_{sup_máx}$=64,05°C p/ $t_{ext_máx}$= 34,62°C). A tabela 4.10 representa os valores extremos de temperatura para todas as posições dos termopares.

Tabela 4.10: Temperaturas máximas e mínimas entre 03 e 09/03/06

Variáveis/ DIA	3/mar	4/mar	5/mar	6/mar	7/mar	8/mar	9/mar	Médias
T ext. máx (°C)	33,45	32,96	27,85	28,68	28,01	30,18	30,54	30,24
T ext. min (°C)	21,2	21	20,23	21,44	19,19	17,61	18,95	19,95
T sup. máx (°C)	38,51	38,33	29,52	30,7	30,61	33,29	36,03	33,85
T sup. mín (°C)	19,02	20,62	19,3	19,88	17,95	15,76	16,85	18,48
T int. máx (°C)	31,1	31,21	27,06	27,67	26,61	28,51	29,65	28,83
T int. mín (°C)	21,43	23,03	20,95	21,83	20,71	18,37	19,73	20,86
T p. leste. máx (°C)	30,8	30,8	26,85	27,55	26,56	28,65	29,71	28,7
T p.leste mín (°C)	21,56	23,15	20,98	21,8	20,71	18,23	19,68	20,87
T p. oeste máx (°C)	32,71	31,85	27,71	28,91	28,38	30,9	30,7	30,16
T p. oeste mín (°C)	21,35	23,02	20,97	21,66	20,78	18,15	19,59	20,78

No período entre 24 e 30/01, a média da t_{sup} máximas e das mínimas era respectivamente de 56,55 °C e 18,9 °C ($t_{ext_média_máx}$=30,2°C e $t_{ext_média_mín}$= 20,83°C). Após aplicação da pintura (3 a 09/06) as médias passaram a 33,85 °C e

18,48 °C ($t_{ext_média_máx}$= 30,24°C e $t_{ext_média_mín}$= 19,95°C). Ou seja, para uma mesma média de temperatura máxima, observou-se uma significativa redução da temperatura superficial máxima da telha (22,7°C a menos) e praticamente nenhuma alteração da temperatura mínima (0,42°C). O gráfico 4.8 revela a aproximação imediata das temperaturas superficiais da telha com as outras temperaturas, especialmente nos dias de menor temperatura externa.

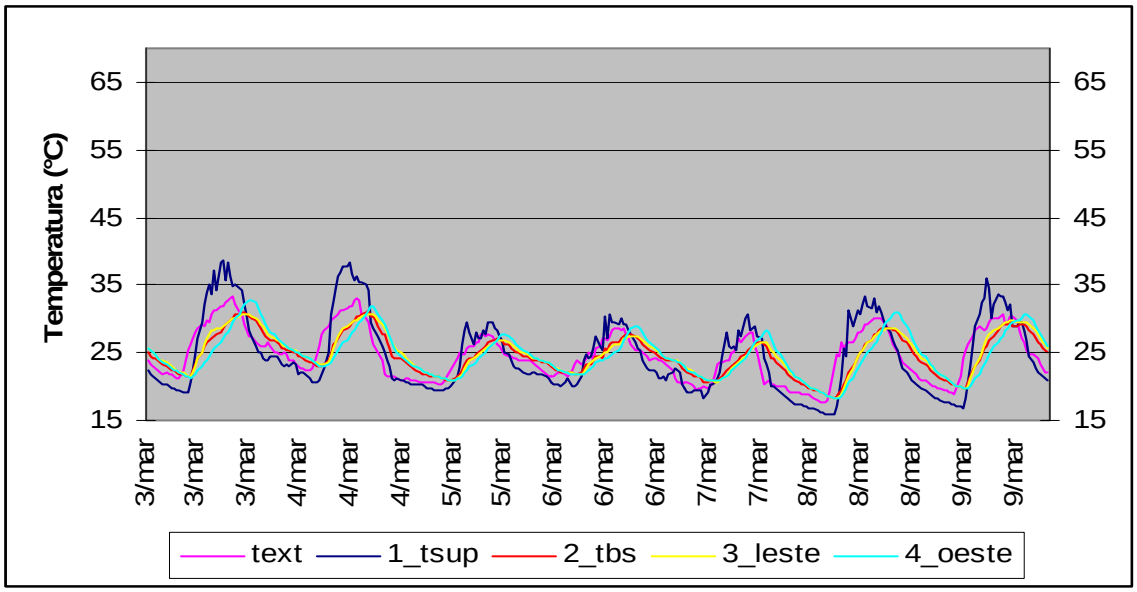


Figura 4.8: Temperaturas do ar e temperaturas internas da célula teste com telha de aço

Em relação à temperatura interna, a média máxima verificada neste período foi de 28,83°C (contra 30,98°C no período de 24 a 30/01 - diferença de 2,15 °C). Alterando-se a escala do gráfico 4.8 (figura 4.9) percebem-se com maior clareza as diferenças de temperatura em cada posição, especialmente nos dias 03 e 04/03. As temperaturas internas (t_{bs} ou t_{int}) apresentaram comportamento bastante semelhante aos verificados para a parede leste (sobrepondo-se em vários momentos). Ao longo do período analisado (3 a 09/03), especialmente nos

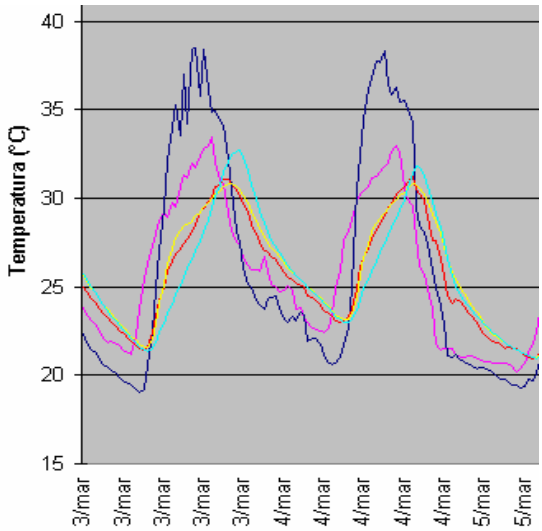


Figura 4.9: Temperaturas do ar externo e temperaturas internas

dias de maior temperatura, foram observadas maiores diferenças da $t_{_oeste}$ em relação às $t_{_leste}$ e t_{bs} (como indicado na figura 4.9).

A tabela 4.11 revela a alteração das diferenças entre a temperatura externa e as demais temperaturas quando se comparam os períodos anterior e posterior à aplicação da tinta. A diferença máxima entre a temperatura externa e superficial da telha no período anterior ocorreu no dia 25/01 (29,43°C, para $t_{ext_média_máx}$=30,2°C), caindo para uma diferença de apenas 5,49 °C ($t_{ext_média_máx}$= 30,24°C). No caso das diferenças para a temperatura interna, estas não foram tão intensas como as anteriores, mas não deixaram de ser significativas. A comparação entre as tabelas de diferenças entre as máximas e mínimas, revela no período de 3 a 09/03, que os valores da temperatura interna se mantiveram sempre abaixo da temperatura externa do ar (o que não ocorreu antes da pintura, como pode ser observado na tabela 4.8).

Tabela 4.11: Diferenças entre máximas e mínimas das temperaturas do ar e internas e temperaturas do ar e superficiais

ΔT / DIA	3/mar	4/mar	5/mar	6/mar	7/mar	8/mar	9/mar
Δt máx (°C) (Text - tsup)	-5,06	-5,37	-1,67	-2,02	-2,6	-3,11	-5,49
Δt min (°C) (Text - tsup)	2,18	0,38	0,93	1,56	1,24	1,85	2,1
Δt máx (°C) (Text - tint)	2,35	1,75	0,79	1,01	1,4	1,67	0,89
Δt min (°C) (Text - tint)	-0,23	-2,03	-0,72	-0,39	-1,52	-0,76	-0,78
Δt máx (°C) (Text - t_p.L)	2,65	2,16	1	1,13	1,45	1,53	0,83
Δt min (°C) (Text - t_p.L)	-0,36	-2,15	-0,75	-0,36	-1,52	-0,62	-0,73
Δt máx (°C) (Text - t_p.O)	0,74	1,11	0,14	-0,23	-0,37	-0,72	-0,16
Δt min (°C) (Text - t_p.O)	-0,15	-2,02	-0,74	-0,22	-1,59	-0,54	-0,64

4. 5 Dados da célula-teste com telha de fibrocimento amianto

4.5.1 Temperatura do ar externo e temperaturas internas

A tabela 4.12 apresenta os valores das temperaturas máximas e mínimas da célula teste com telha de fibrocimento amianto e de temperatura externa. Assim

como foi verificado para a análise anterior (telha de aço), o valor máximo de t_{sup} da telha (48,99°C) é atingido no dia 25/01, como conseguência da maior t_{ext} do período (34,67°C). A diferença entre as temperaturas superficiais máximas e mínimas da telha de fibrocimento são menores do que aquelas verificadas para a telha de aço (diferença de 28,94 °C contra 45,36 °C no dia 25/01). Em relação às temperaturas das paredes (leste e oeste), as diferenças entre as mínimas não foram significativas (maior diferença: 0,15 °C, no dia 29/01), e entre as temperaturas máximas chegou-se a uma diferença de 0,54 °C (no dia 25/01).

Tabela 4.12: Temperaturas máximas e mínimas entre 24 e 30/01

Variáveis/ DIA	24	25	26	27	28	29	30	Médias
T ext. máx (°C)	34,12	34,67	31,43	30,48	29	25,44	26,44	30,22
T ext. min (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25	20,83
T sup. máx (°C)	47,25	48,99	44,78	41,8	43,18	33,71	35,49	42,17
T sup. mín (°C)	20,08	20,05	20,52	21,58	20,78	20,19	18,89	20,3
T int. máx (°C)	33,17	34,08	32,65	30,7	29,65	25,15	26	30,2
T int. mín (°C)	21,33	21,33	21,63	22,28	21,69	20,82	19,87	21,28
T p. leste. máx (°C)	32,29	33,39	31,79	29,82	28,78	24,83	25,82	29,53
T p.leste mín (°C)	21,47	21,53	21,83	22,39	21,78	21,05	19,97	21,43
T p. oeste máx (°C)	32,64	33,93	32,14	30,19	28,56	24,81	25,39	29,66
T p. oeste mín (°C)	21,38	21,2	21,65	22,31	21,58	20,9	19,81	21,26

As curvas das temperaturas das paredes leste e oeste seguiram basicamente o mesmo padrão, e em alguns momentos até ficaram soprepostas. A partir da leitura do gráfico 4.8 e da tabela 4.13 percebe-se uma variação significativa entre as temperaturas superficiais da telha e as demais temperaturas. Assim como verificado para a telha de aço, a t_{sup} (fibrocimento) atinge valores muito superiores às outras temperaturas. Além disso, percebem-se alterações nas curvas da t_{sup} que diferem do padrão das senóides das outras temperaturas monitoradas.

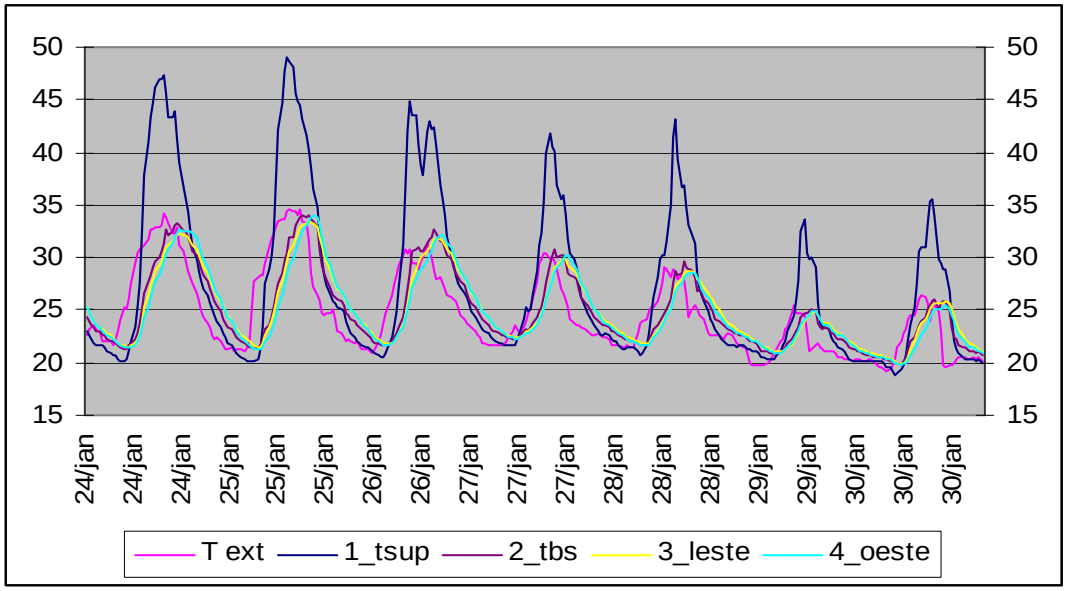


Figura 4.8: Temperaturas do ar e temperaturas internas da célula teste com telha de fibrocimento amianto

A diferença entre a temperatura da superfície interna da telha e a temperatura externa do ar é de 14,32°C no dia 25/01 (inferior à observada para a telha de aço: 31,18 °C no dia 28/01). Quanto aos valores máximos e mínimos da temperatura superficial, observaram-se respectivamente 48,99°C às 13:30 do dia 25/01 e 18,89°C às 07:00h do dia 30/01.

Considerando-se os valores extremos da temperatura externa, anteriormente citados (34,67 °C às 16:00 no dia 25/01 e 19,25°C no dia 30, às 5:30), a temperatura interna (t_{bs} a 1,50 do piso) apresentou o maior valor: 34,08°C às 17:30 do dia 25/01 e o menor (18,87°C) às 07:30 do dia 30/01. A amplitude térmica média foi de 9,37°C.

A tabela 4.13 resume as diferenças (Δ) entre as temperaturas do ar, internas e superficiais (máximas e mínimas). A média das variações (ΔTbs máx (°C): Text - tsup) verificada para a telha de fibrocimento (11,95°C) é visivelmente menor do que a verificada para a telha de aço (26,33°C).

Tabela 4.13: Diferenças entre máximas e mínimas das temperaturas do ar e internas e temperaturas do ar e superficiais entre 24 e 30/01/06

Variáveis/ DIA	24	25	26	27	28	29	30
Δt máx (°C) - (Text - tsup)	-13,13	-14,32	-13,35	-11,32	-14,18	-8,27	-9,05
Δt min (°C) - (Text - tsup)	1,6	1,11	0,41	0,06	0,65	-0,47	0,36
Δt máx (°C) - (Text - tint)	0,95	0,59	-1,22	-0,22	-0,65	0,29	0,44
Δt min (°C) - (Text - tint)	0,35	-0,17	-0,7	-0,64	-0,26	-1,1	-0,62
Δt máx (°C) - (Text - $t_{_p.leste}$)	1,83	1,28	-0,36	0,66	0,22	0,61	0,62
Δt min (°C) - (Text - $t_{_p.leste}$)	0,21	-0,37	-0,9	-0,75	-0,35	-1,33	-0,72
Δt máx (°C) - (Text – $t_{p.oeste}$)	1,48	0,74	-0,71	0,29	0,44	0,63	1,05
Δt min (°C) - (Text - $t_{p.oeste}$)	0,3	-0,04	-0,72	-0,67	-0,15	-1,18	-0,56

Após a aplicação de tinta látex branca, a amplitude térmica da temperatura superficial da telha sofreu redução, o que pode ser constatado na tabela 4.14 e no gráfico 4.9. A maior temperatura superficial interna alcançada foi de 32,43°C (para $t_{ext_máx}$= 33,45°C), valor bem inferior ao encontrado antes da pintura em condições climáticas semelhantes ($t_{sup_máx}$= 48,99 °C p/ $t_{ext_máx}$= 34,67 °C). A tabela 4.14 representa os valores extremos de temperatura para todas as posições dos termopares, assim como as médias das máximas e mínimas.

Tabela 4.14: Temperaturas máximas e mínimas entre 03 e 09/03/06

Variáveis/ DIA	3	4	5	6	7	8	9	Médias
T ext. máx (°C)	33,45	32,96	27,85	28,68	28,01	30,18	30,54	30,24
T ext. min (°C)	21,2	21	20,23	21,44	19,19	17,61	18,95	19,95
T sup. máx (°C)	32,43	32,17	26,67	27,44	26,68	28,73	29,93	29,15
T sup. mín (°C)	20,23	21,75	20,23	20,75	19,57	16,81	18,12	19,64
T int. máx (°C)	30,5	30,28	26,38	27,25	26,24	28,21	28,96	28,26
T int. mín (°C)	21,47	22,83	20,93	21,57	20,59	18,29	19,72	20,77
T p. leste. máx (°C)	30,06	29,94	26,29	27,23	26,18	28,2	29,06	28,14
T p.leste mín (°C)	21,77	23,13	21,11	21,69	20,8	18,39	19,9	20,97
T p. oeste máx (°C)	31,44	30,65	26,81	28,01	27,54	29,93	29,9	29,18
T p. oeste mín (°C)	21,42	22,91	20,92	21,52	20,63	18,2	19,65	20,75

Entre 3 e 09/03, a média das t_{sup} máximas e das mínimas eram respectivamente de 29,15 °C e 19,64 °C ($t_{ext_média_máx}$=30,24°C e $t_{ext_média_mín}$=

19,95°C). Antes da aplicação da pintura, as temperaturas (máximas e mínimas) eram de 42,17 °C e 20,3°C ($t_{ext_média_máx}$=30,23°C e $t_{ext_média_mín}$= 20,83°C). Ocorreu uma redução da temperatura superficial máxima da telha (para uma mesma $t_{ext_média_máx}$) de 13,02°C. O gráfico a seguir (4.9) ilustra a aproximação imediata das temperaturas superficiais da telha com as outras temperaturas, inclusive nos dias de queda de temperatura externa.

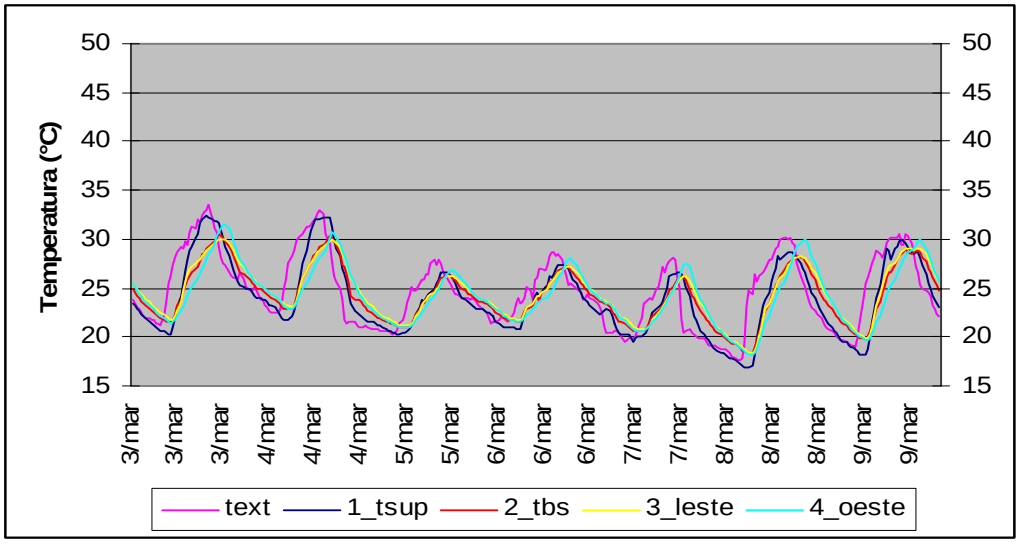


Figura 4.9: Temperaturas do ar e temperaturas internas da célula teste com telha de fibrocimento amianto

Analisando-se a temperatura interna, a média máxima foi de 28,26°C (entre 24 e 30/01, $t_{sup_máx}$= 29,15 – diferença de apenas 0,89°C). Na ampliação da figura 4.9 (figura 4.10) são ressaltadas as maiores diferenças de temperatura verificadas no período. Semelhante à situação verificada para as telhas de aço, as temperaturas internas (t_{bs} ou t_{int}) apresentaram comportamento muito próximo aos verificados para a parede leste (sobrepondo-se em vários momentos). Em todo o período, especialmente nos dias de maior temperatura, ocorreram as maiores diferenças da $t_{_oeste}$ em relação às $t_{_leste}$ e t_{bs}.

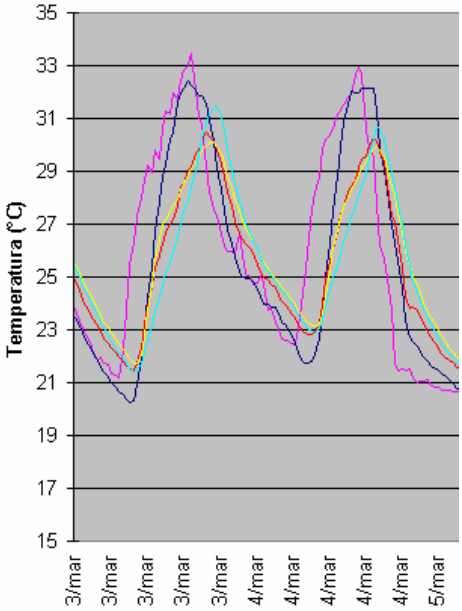


Figura 4.10: Temperaturas do ar externo e temperaturas internas

Na tabela 4.15 verifica-se que a diferença máxima entre a temperatura externa e superficial da telha ocorreu no dia 08/03 (1,45°C), enquanto que a diferença chegou a 14,32°C no dia 25/01. Analisando-se as diferenças em relação às temperaturas internas é observada uma diferença máxima de 2,95 °C (valor considerável, ainda que não elevado). A partir da tabela 4.15 verifica-se que os valores da t_{int} se mantiveram sempre abaixo da temperatura externa do ar (o que não ocorreu antes da pintura, como pode ser observado na tabela 4.14).

Tabela 4.15: Diferenças entre máximas e mínimas das temperaturas do ar e internas e temperaturas do ar e superficiais entre 03 e 09/03/06

Variáveis/ DIA	3	4	5	6	7	8	9
∆t máx (°C) - (Text - tsup)	1,02	0,79	1,18	1,24	1,33	1,45	0,61
∆t min (°C) - (Text - tsup)	0,97	-0,75	0	0,69	-0,38	0,8	0,83
∆t máx (°C) - (Text - tint)	2,95	2,68	1,47	1,43	1,77	1,97	1,58
∆t min (°C) - (Text - tint)	-0,27	-1,83	-0,7	-0,13	-1,4	-0,68	-0,77
∆t máx (°C) - (Text - t_p.L)	3,39	3,02	1,56	1,45	1,83	1,98	1,48
∆t min (°C) - (Text - t_p.L)	-0,57	-2,13	-0,88	-0,25	-1,61	-0,78	-0,95
∆t máx (°C) - (Text - t_p.O)	2,01	2,31	1,04	0,67	0,47	0,25	0,64
∆t min (°C) - (Text - t_p.O)	-0,22	-1,91	-0,69	-0,08	-1,44	-0,59	-0,7

4.6. Comparação entre todos os resultados (1ª fase de monitoramento em células teste)

No monitoramento realizado entre os dias 24 e 30/01, as temperaturas obtidas em cada ponto são decorrência da transmitância de cada material e da absortância (que depende da cor da superfície). Entre 03 e 09/03 verificou-se a influência da absortância devido à alteração desta propriedade.

Considerando-se todas as análises realizadas, inicialmente para as quatro células teste, as maiores diferenças ocorreram em relação às temperaturas superficiais das telhas. Em relação às temperaturas internas ocorreram diferenças menores. Após as análises, observaram-se os seguintes resultados:

Tabela 4.16: Comparação entre as temperaturas de todas as células teste (24 a 30/01/06)

Variáveis/ DIA	Cerâmica	M.R	Aço	Fibro
T ext. máx (°C)	34,67	34,67	34,67	34,67
T ext. min (°C)	21,16	21,16	21,16	21,16
T sup. máx (°C)	45,65	52,04	64,05	48,99
T sup. mín (°C)	20,09	19,84	18,69	20,05
T int. máx (°C)	33,1	34,93	35,38	34,08
T int. mín (°C)	21,38	21,99	21,76	21,33
T p. leste. máx (°C)	32,01	34,98	34,28	33,39
T p.leste mín (°C)	21,66	21,91	21,7	21,53
T p. oeste máx (°C)	33,54	34,99	35,08	33,93
T p. oeste mín (°C)	21,39	21,73	21,66	21,2

- A maior diferença entre $t_{int.\ máx}$ (2,28°C) ocorreu entre as C.T[3] com telha cerâmica (33,1°C) e de telha de aço (35,38°C);

- Entre a C.T de aço (35,38°C) e a de fibro (34,08°C) a diferença de $t_{int.\ máx}$ foi de 1,3 °C;

- A maior diferença entre $t_{sup.\ máx}$ foi observada também entre as C.T de aço (64,05°C) e cerâmica (45,65°C), com diferença de 18,4 °C;

- A menor diferença entre as células teste ($t_{sup\ máx}$) ocorreu entre a C.T de M.R[4] (52,04°C) e a de fibrocimento (48,99°C), com apenas 3,05°C de diferença.

- Entre a C.T de aço (64,05°C) e a de fibro (48,99°C) a diferença de $t_{int.\ máx}$ foi de 15,06 °C;

- Para a $t_{leste\ máx}$, a maior diferença foi de 2,97 °C entre a cerâmica (32,01°C) e M.R (34,98°C);

- Para a $t_{oeste\ máx}$, a maior diferença foi de 1,54 °C entre a cerâmica (33,54°C) e M.R (35,08°C);

[3] Leia-se: célula teste
[4] Leia-se: material reciclado

4. 7 Comparação entre a célula-teste com telha de fibrocimento amianto e a célula-teste com telha de aço

Na segunda etapa da análise foram realizadas comparações apenas entre as células-teste com telha de fibrocimento e aço, para os dois períodos anteriores e posteriores à aplicação de tinta branca (respectivamente, 24 a 30/01 e 03 a 09/06).

4.7.1 Temperaturas internas

As tabelas 4.16 a 4.18 apresentam os valores máximos e mínimos da temperatura do ar interno nas duas células teste, da temperatura externa do ar e de suas respectivas amplitudes. São destacados os valores máximos e mínimos para cada dia (respectivamente em vermelho e azul).

Tabela 4.16: Máximas e mínimas da temperatura externa do ar e das temperaturas internas entre 24 e 30/01/2006

Variáveis/ DIA	24/jan	25/jan	26/jan	27/jan	28/jan	29/jan	30/jan	Médias
$t_{_ext.\ máx}$ (°C)	34,12	34,67	31,43	30,48	29	25,44	26,44	30,22
$t_{_ext.\ min}$ (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25	20,83
$t_{_int.\ máx}$ (°C) FIBRO	33,17	34,08	32,65	30,7	29,65	25,15	26	30,2
$t_{_int.\ min}$ (°C) FIBRO	21,33	21,33	21,63	22,28	21,69	20,82	19,87	21,28
$t_{_int.\ máx}$ (°C) AÇO	33,99	35,38	33,1	31,35	30,37	25,83	26,88	30,98
$t_{int.\ min}$ (°C) AÇO	21,83	21,76	21,92	22,61	21,96	20,87	19,82	21,54

Tabela 4.17: Célula teste Telha Fibrocimento 24 a 30/01

Amplitudes térmicas médias (Δ)		
$\Delta_{tbs\ ext}$ (°C)	$\Delta_{tbs\ int}$(°C)	$\Delta_{sup\ int}$(°C)
9,39	8,92	21,87

Tabela 4.18: Célula teste telha de aço 24 a 30/01

Amplitudes térmicas médias (Δ)		
$\Delta_{tbs\ ext}$ (°C)	$\Delta_{tbs\ int}$(°C)	$\Delta_{sup\ int}$(°C)
9,39	9,44	37,62

A figura 4.11 ilustra as curvas de temperatura externa e temperaturas internas para as duas células teste antes da aplicação da tinta. Observa-se que praticamente não há diferença entre as temperaturas internas das células teste (a maior diferença ocorre no dia 25/01 quando se comparam as temperaturas máximas). Com exceção do dia 24/01, ao longo do período nota-se que as temperaturas internas máximas (durante o dia) se mantém em média 0,8°C acima da temperatura externa do ar.

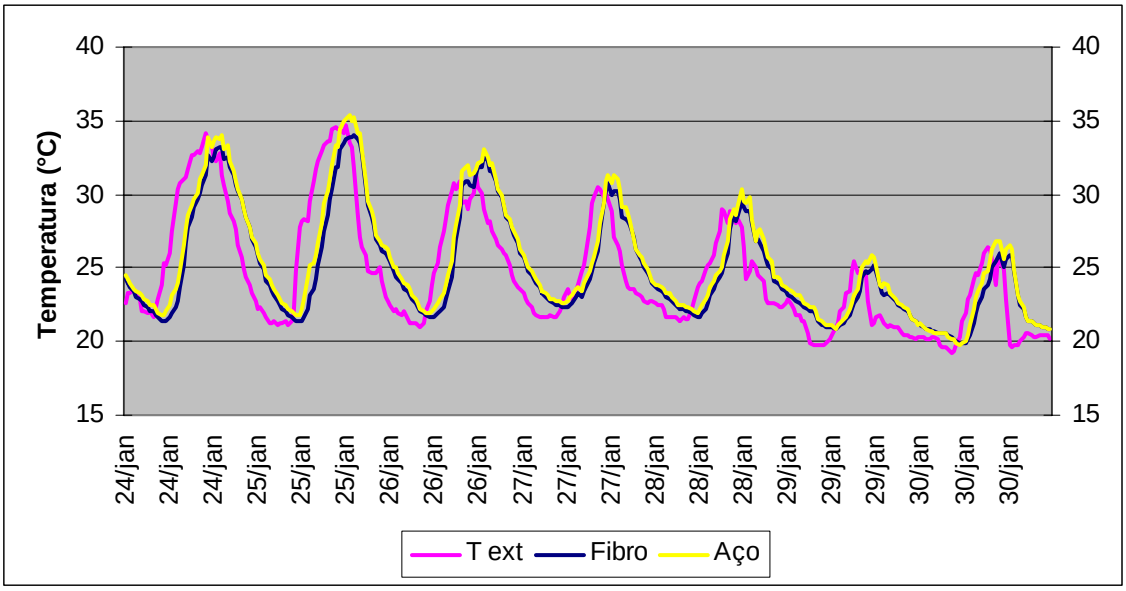


Figura 4.11 : Comparação entre a temperatura externa e as temperaturas internas das célula teste com telha de aço e com telha de fibrocimento

A tabela 4.19 apresenta os valores máximos e mínimos da temperatura superficiais internas e da temperatura externa do ar. São destacados os valores máximos e mínimos para cada dia (respectivamente em vermelho e azul).

Tabela 4.19 Máximas e mínimas da temperatura externa do ar e das temperaturas internas das células teste

Variáveis/ DIA	3/mar	4/mar	5/mar	6/mar	7/mar	8/mar	9/mar	Médias
$t_{ext.\ máx}$ (°C)	33,45	32,96	27,85	28,68	28,01	30,18	30,54	30,24
$t_{ext.\ min}$ (°C)	21,2	21	20,23	21,44	19,19	17,61	18,95	19,95
$t_{int.\ máx}$ (°C) FIBRO	30,5	30,28	26,38	27,25	26,24	28,21	28,96	28,26
$t_{int.\ min}$ (°C) FIBRO	21,47	22,83	20,93	21,57	20,59	18,29	19,72	20,77
$t_{int.\ máx}$ (°C) AÇO	31,1	31,21	27,06	27,67	26,61	28,51	29,65	28,8
$t_{int.\ min}$ (°C) AÇO	21,43	23,03	20,95	21,83	20,71	18,37	19,73	20,86

A figura 4.12 ilustra as curvas de temperatura externa e temperaturas internas para as duas células teste após a aplicação da tinta (03 a 09/03). Verifica-se pela leitura do gráfico, que ocorreu uma redução da amplitude térmica média das temperaturas internas (t_{bs} a 1,50m). Comparando-se as tabelas 4.17 e 4.18, verifica-se a diminuição de 1,43°C e 1,5°C, respectivamente, nas médias da $\Delta_{tbs\ int}$ (12,36°C) e na média da $\Delta_{t\ Sup\ int}$ (22,24°C), respectivamente para as células com telha de fibrocimento e de aço.

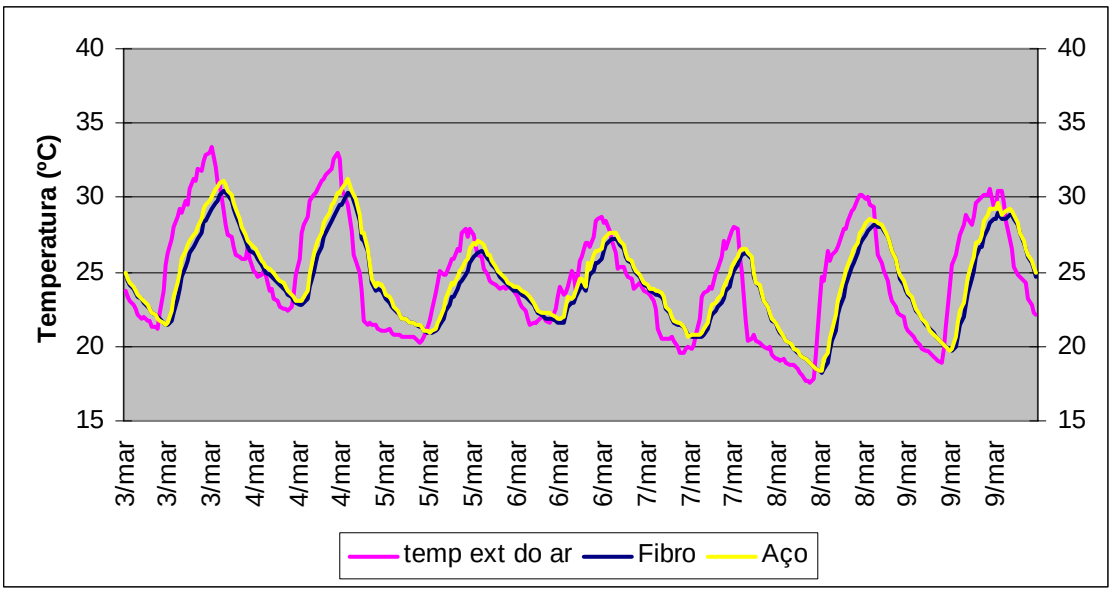


Figura 4.12 : Comparação entre a temperatura externa e as temperaturas internas das célula teste com telha de aço e com telha de fibrocimento

Tabela 4.20: Célula teste telha fibrocimento 03 a 09/03

Amplitudes térmicas médias (Δ)		
$\Delta_{tbs\ ext}$ (°C)	$\Delta_{tbs\ int}$(°C)	$\Delta_{sup\ int}$(°C)
10,29	7,49	9,51

Tabela 4.21: Célula teste telha de aço 03 a 09/03

Amplitudes térmicas médias (Δ)		
$\Delta_{tbs\ ext}$ (°C)	$\Delta_{tbs\ int}$(°C)	$\Delta_{sup\ int}$(°C)
10,29	7,94	15,38

4.7.2 Temperaturas superficiais internas

A tabela 4.22 apresenta os valores máximos e mínimos da temperatura das superfícies das telhas das duas células teste e da temperatura externa do ar.

Tabela 4.22: Máximas e mínimas da temperatura externa do ar e das temperaturas superficiais das telhas entre 24 e 30/01/2006

Variáveis/ DIA	24	25	26	27	28	29	30	Médias
$t_{ext.\ máx}$ (°C)	34,12	34,67	31,43	30,48	29	25,44	26,44	30,22
$t_{ext.\ min}$ (°C)	21,68	21,16	20,93	21,64	21,43	19,72	19,25	20,83
$t_{sup.\ máx}$ (°C) FIBRO	47,25	48,99	44,78	41,8	43,18	33,71	35,49	42,17
$t_{sup.\ min}$ (°C) FIBRO	20,08	20,05	20,52	21,58	20,78	20,19	18,89	20,3
$t_{sup.\ máx}$ (°C) AÇO	61,18	64,05	60,26	57,32	60,18	47,8	45,05	56,55
$t_{sup.\ min}$ (°C) AÇO	18,82	18,69	19,07	20,24	19,33	18,69	17,65	18,93

A figura 4.13 revela a grande instabilidade das temperaturas superficiais das telhas, principalmente da telha de aço (que chega a atingir 64,05°C às 13:00 do dia 25/01. A diferença entre a temperatura externa máxima e esta (t_{sup}) chega a 29,38°C. Nos dia em que há redução da temperatura externa, a amplitude térmica das temperaturas superficiais também é reduzida, principalmente para a telha de fibrocimento, a qual apresenta variações menores.

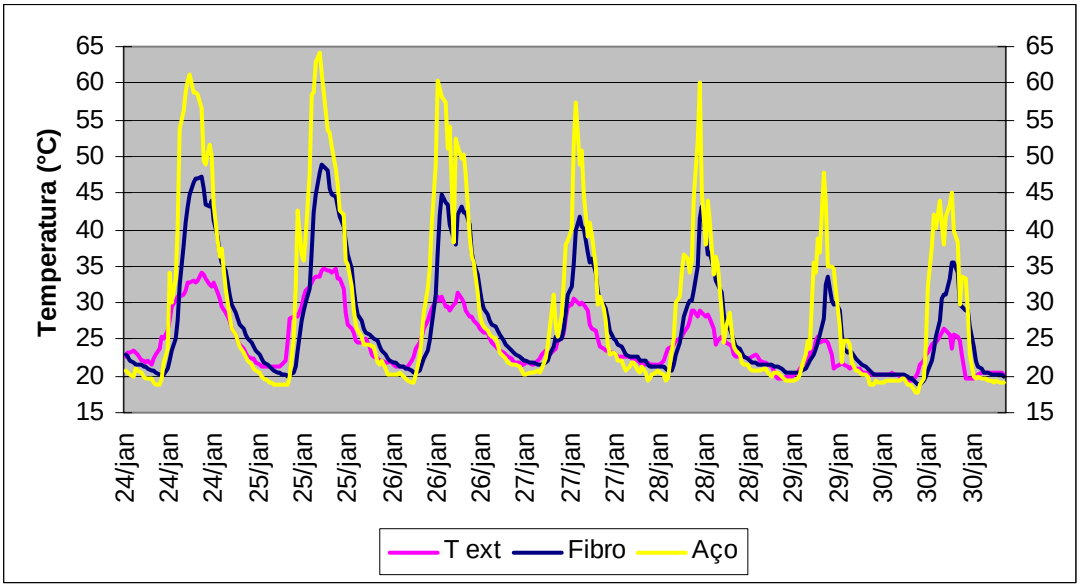


Figura 4.13 : Temperaturas do ar e temperaturas superficiais das células teste com telha de fibrocimento amianto e telha de aço

Na tabela 4.23, onde estão representados os valores máximos e mínimos da temperatura superficiais internas e da temperatura externa do ar, verifica-se a redução de todas as temperaturas, e mais nitidamente, das superficiais máximas. A diminuição das temperaturas mínimas é desprezível, pois praticamente não influiu na alteração da amplitude térmica final.

Tabela 4.23: Máximas e mínimas da temperatura externa do ar e das temperaturas superficiais das telhas entre 03 e 09/03/2006

Variáveis/ DIA	3/mar	4/mar	5/mar	6/mar	7/mar	8/mar	9/mar	Médias
$t_{ext.\ máx}$ (°C)	33,45	32,96	27,85	28,68	28,01	30,18	30,54	30,24
$t_{ext.\ min}$ (°C)	21,2	21	20,23	21,44	19,19	17,61	18,95	19,95
$t_{sup.\ máx}$ (°C) FIBRO	32,43	32,17	26,67	27,44	26,68	28,73	29,93	29,15
$t_{sup.\ min}$ (°C) FIBRO	20,23	21,75	20,23	20,75	19,57	16,81	18,12	19,64
$t_{sup.\ máx}$ (°C) AÇO	38,51	38,33	29,52	30,7	30,61	33,29	36,03	33,86
$t_{sup.\ min}$ (°C) AÇO	19,02	20,62	19,3	19,88	17,95	15,76	16,85	18,48

Considerando-se a mesma escala adotada na figura 4.14 (15 a 65°C), nota-se a brusca alteração das amplitudes térmicas diárias para as duas telhas (mais notadamente para a telha de aço). A amplitude térmica máxima para a telha de aço, sofre queda de 25,87°C (de 45,36°C para 19,49°C), enquanto que para a telha de fibrocimento a redução na amplitude térmica máxima é de 16,74°C (de 28,94°C para 12,2°C).

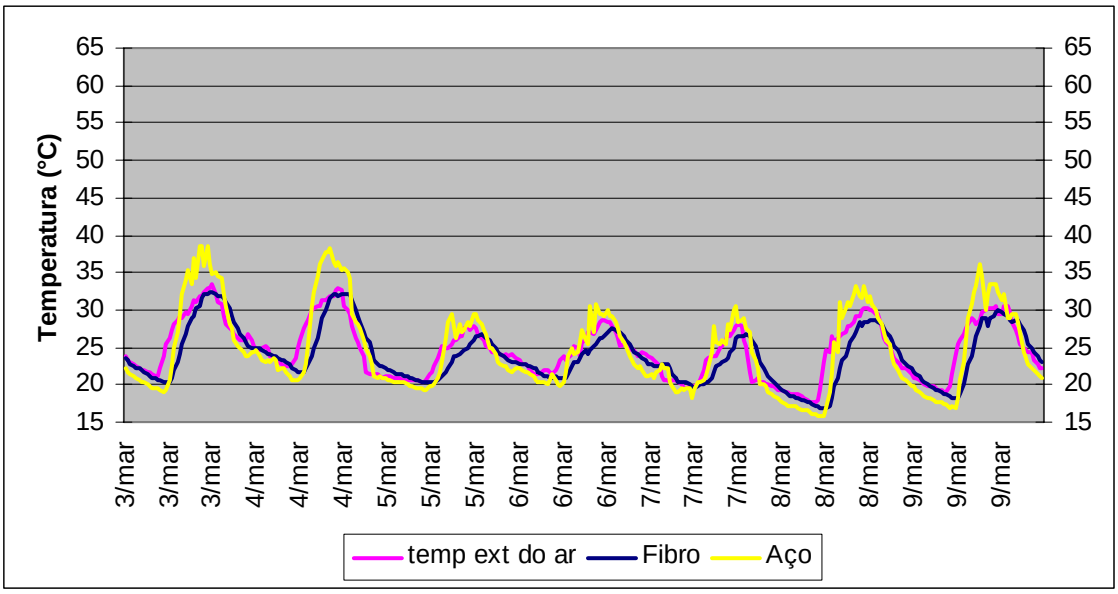


Figura 4.14 : Diferenças entre as temperaturas superficiais máximas e mínimas das células teste com telha de aço e com telha de fibrocimento

4.7.3 Resultados

Nas células teste com telhas de aço e fibrocimento, após a aplicação de tinta látex branco verificou-se uma alteração em relação desempenho térmico das duas células teste. A tabela 4.24 revela as diferenças das temperaturas antes e após a aplicação da tinta. Considerando-se que a diferença entre as temperaturas externas máximas foi de 1,17 °C, observaram-se as seguintes diferenças entre as temperaturas monitoradas:

Tabela 4.24 : Comparação entre as temperaturas das células teste de aço e fibrocimento

Variáveis/ DIA	Aço 25/01	Aço 03/03	Fibro 25/01	Fibro 03/03
T ext. máx (°C)	34,62	33,45	34,67	33,45
T ext. min (°C)	21,16	21,2	21,16	21,2
T sup. máx (°C)	64,05	38,51	48,99	32,43
T sup. mín (°C)	18,69	19,02	20,05	20,23
T int. máx (°C)	35,38	31,1	34,08	30,5
T int. mín (°C)	21,76	21,43	21,33	21,47
T p. leste. máx (°C)	34,28	30,8	33,39	30,06
T p.leste mín (°C)	21,7	21,56	21,53	21,77
T p. oeste máx (°C)	35,08	32,71	33,93	31,44
T p. oeste mín (°C)	21,66	21,35	21,2	21,42

- A telha de aço, a $t_{_sup.\ máx}$ sofreu redução de 25,24 °C, enquanto que para a telha de fibro esta foi da ordem de 6,66°C;

- Em relação às temperaturas internas, a diferença entre as $t_{_int.\ máx}$ para a C.T aço foi de 4,28 °C, e para a de fibro observou-se 3,58°C;

- Em relação às $t_{_leste\ máx}$, a C.T aço apresentou uma diferença de 3,48°C, e a C.T fibro 3,33°C;

- Para $t_{_oeste\ máx}$, as diferenças foram menores: C.T aço apresentou uma diferença de 2,37 °C, e a C.T fibro 2,49 °C.

Ainda que haja diferença de temperatura externa para os dias analisados, observou-se uma redução de temperatura não desprezível após a aplicação de

tinta, o que interfere (de forma positiva) no desempenho térmico das células teste. Além disso, verificou-se uma alteração na hierarquia entre as temperaturas máximas nos pontos monitorados para as células teste que sofreram alteração nas telhas.

Considerando-se as temperaturas máximas nos períodos analisados:

- Hierarquia de temperatura antes e após a aplicação da tinta:

25/01 (antes da aplicação):

Aço: Tsup (64,05 °C) >**Tint** (35,38°C) **>T_oeste** (35,08°C) >T_leste (34,28°C)

Fibro: Tsup (48,99 °C) >**Tint** (34,08°C) **>T_oeste** (33,93°C) >T_leste (33,39°C)

03/03 (após a aplicação):

Aço: Tsup (38,51 °C) > **T_oeste** (32,71°C) **>T_int** (31,1°C) >T_leste (30,8°C)

Fibro: Tsup (32,43°C) > **T_oeste** (31,44°C) **>T_int** (30,5°C) >T_leste (30,06°C)

Com esta análise verifica-se que a modificação da absortância altera hierarquia das temperaturas internas, onde as temperaturas da parede oeste passam a apresentar maiores valores do que as temperaturas internas, em ambas as células teste. O monitoramento pode, dessa forma, comprovar a redução das temperaturas internas após a aplicação da tinta látex acrílico branco.

Como os monitoramentos das células-teste com telha de fibrocimento (antes e após a aplicação de tinta) não foram realizados no mesmo dia, optou-se pela análise comparativa considerando-se as diferenças de temperatura entre os pontos monitorados e a temperatura externa (considerando-se as máximas, médias e mínimas).

Tabela 4.25: Comparação entre as temperaturas internas e externas (mínima, média e máxima) das células teste com telha de fibrocimento e com telha de aço

Variáveis/ DIA	Aço (24 a 30/01)	Aço (03 a 09/03)	Fibro (24 a 30/01)	Fibro (03 a 09/03)
$t_{mín\ int} - t_{mín\ ext}$ (ºC)	0,57	0,76	0,62	0,68
$t_{méd\ int} - t_{méd\ ext}$ (ºC)	0,79	-0,41	0,32	-0,38
$t_{máx\ int} - t_{máx\ ext}$ (ºC)	0,76	-2,24	-0,59	-2,95
$t_{mín\ sup} - t_{mín\ ext}$ (ºC)	-1,6	-1,85	-0,36	-0,8
$t_{méd\ sup} - t_{méd\ ext}$ (ºC)	4,93	-0,7	2,63	-0,71
$t_{máx\ sup} - t_{máx\ ext}$ (ºC)	29,43	5,06	14,32	-1,02
$t_{mín\ p.leste} - t_{mín\ ext}$ (ºC)	0,59	0,62	0,72	0,78
$t_{méd\ p.leste} - t_{méd\ ext}$ (ºC)	0,86	-0,1	0,44	-0,1
$t_{máx\ p.leste} - t_{máx\ ext}$ (ºC)	-0,34	-2,65	-1,28	-3,39
$t_{mín\ p.oeste} - t_{mín\ ext}$ (ºC)	0,57	0,54	0,56	0,59
$t_{méd\ p.oeste} - t_{méd\ ext}$ (ºC)	0,7	-0,62	0,27	-0,33
$t_{máx\ p.oeste} - t_{máx\ ext}$ (ºC)	0,46	-0,74	-0,74	-2,01

Observando-se a tabela 4.25, nota-se que os valores positivos referem-se às temperaturas internas maiores do que as externas. Após a aplicação da tinta as temperaturas internas foram reduzidas (indicada na tabela pelo sinal negativo). As maiores diferenças ocorreram em relação às máximas, como se verifica, por exemplo, para a temperatura interna da C.T com telha de aço, que teve a diferença entre as temperaturas externa e interna acrescidas em 3 ºC (de 0,76ºC a 2,24ºC). Para a telha de fibrocimento esta diferença ($t_{máx\ int} - t_{máx\ ext}$) foi um pouco menor (2,36ºC).

A partir da análise do monitoramento foi percebida a influência da alteração da refletância/absortância sobre as temperaturas internas, posteriormente confirmadas pelas análises espectrofotométricas (a seguir relacionadas).

Segunda Parte

4.8 Análises Espectrofotométricas

A segunda parte deste capítulo refere-se às análises espectrofotométricas de refletância realizadas para as amostras das telhas monitoradas nas células teste. A refletância pode ser medida em laboratório ou em campo: em laboratório podem ser feitas análises pontuais de refletância, para o intervalo de comprimento de onda delimitado.

No presente trabalho as análises foram realizadas considerando-se o intervalo entre 300 e 1800 nm (intervalo em que as ondas alcançam a superfície terrestre) do comprimento de onda do espectro eletromagnético (entre as faixas: u.v, luz visível e i.v do espectro solar), com variação de refletância entre 0 e 100%. Como referência para a cor branca, foi utilizado o sulfato de bário, com refletância aproximada de 100%.

Os dados resultantes dos ensaios espectrofotométricos possibilitaram a confecção de gráficos como forma ilustrativa do comportamento das amostras analisadas em cada espectro. A seguir, os gráficos são apresentados individualmente para cada amostra ensaiada, com indicação dos espectros ultravioleta (para a região analisada entre 300 a 380 nm), visível (380 a 780 nm) e infravermelho (780 a 1800 nm).

Os gráficos apresentam na faixa próxima à 875 nm, uma descontinuidade em função da troca de detector do aparelho (o que não impossibilita a correta leitura do aparelho). Próximo à 1800 nm verifica-se que o ruído do aparelho aumenta bastante.

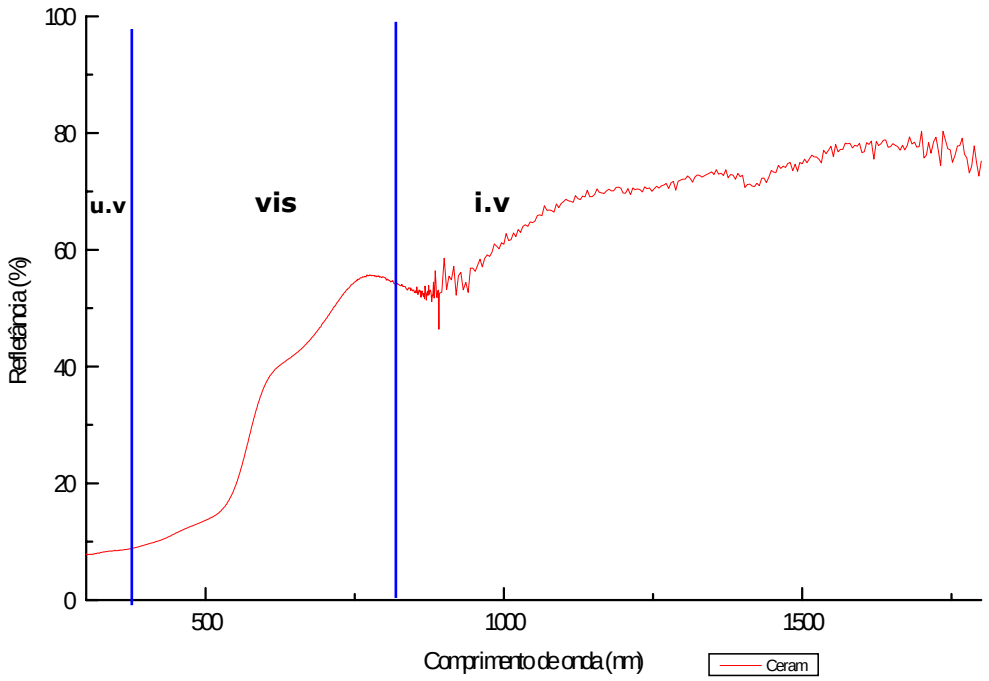


Figura 4.15: Curva de refletância espectral da amostra de telha cerâmica

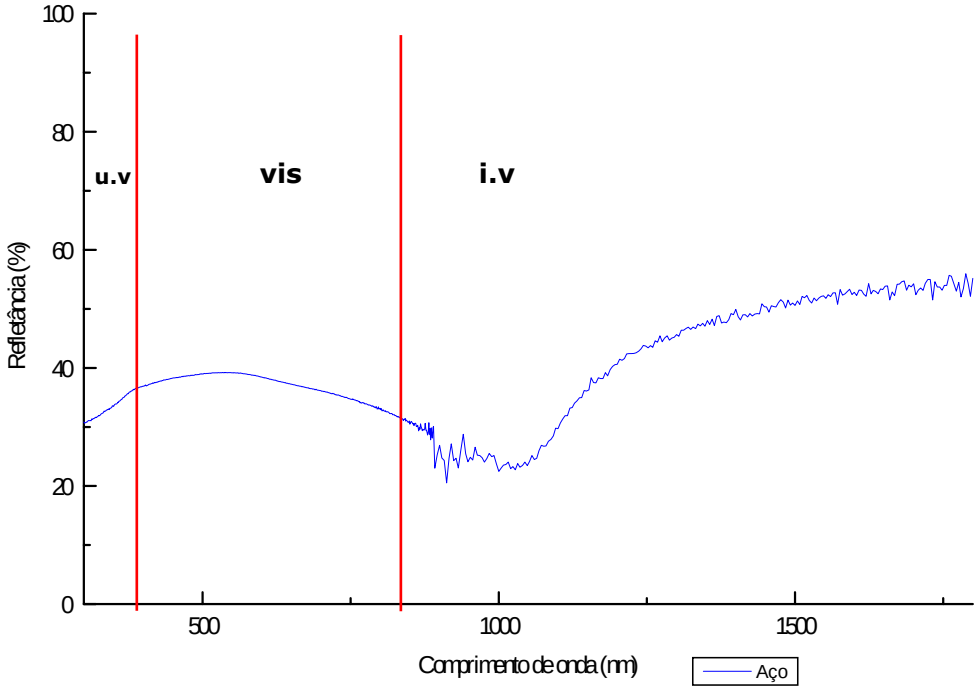


Figura 4.16: Curva de refletância espectral da amostra de telha de aço

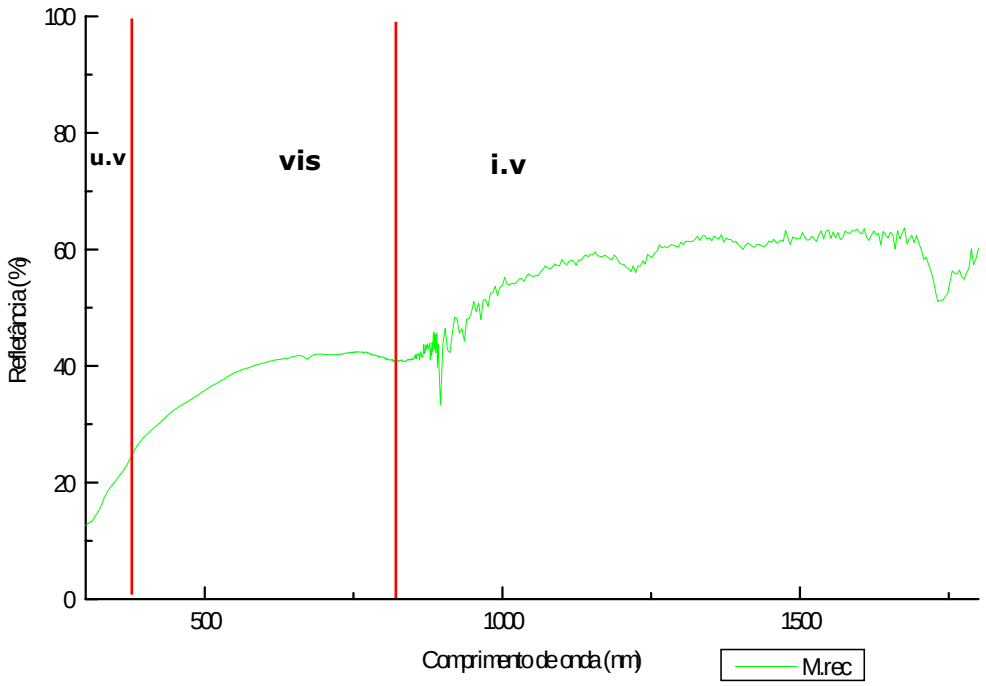


Figura 4.17: Curva de refletância espectral da amostra de telha de material reciclado

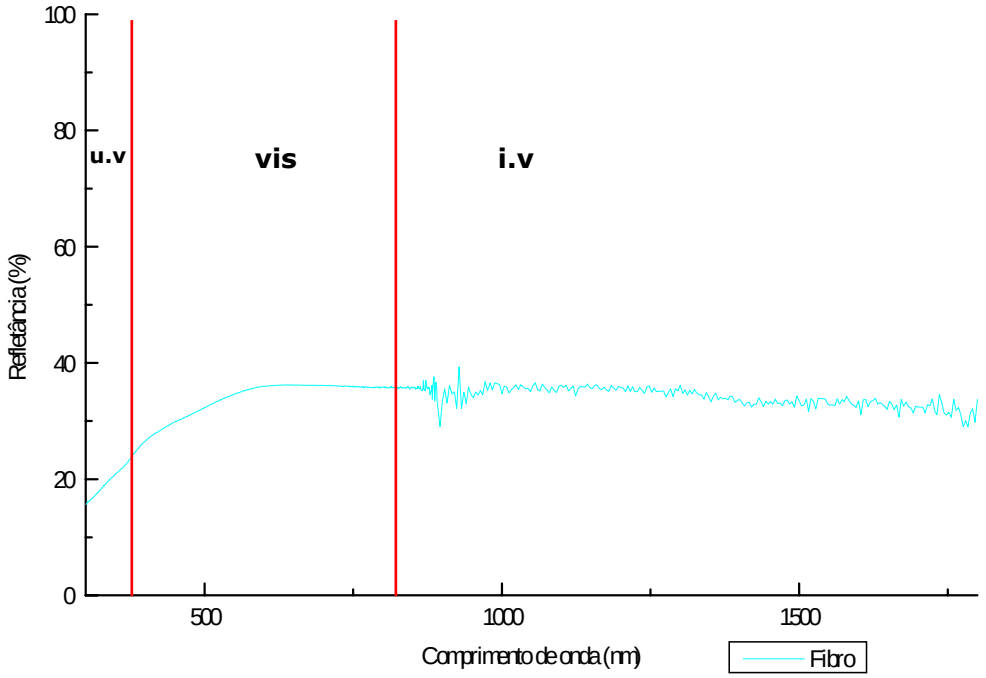


Figura 4.18: Curva de refletância espectral da amostra de telha de fibrocimento

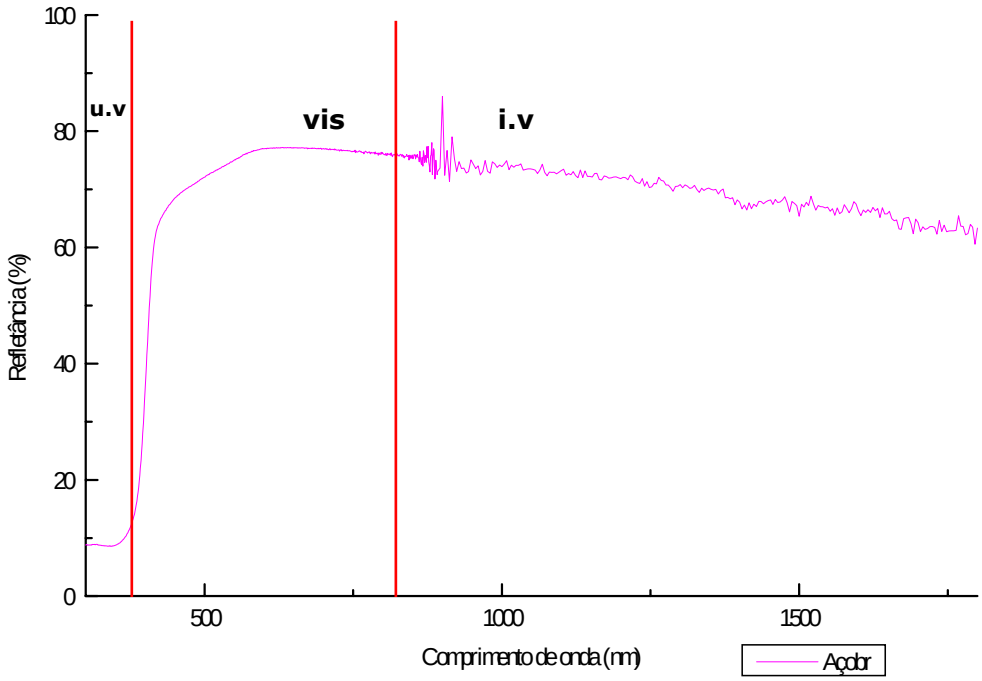


Figura 4.19: Curva de refletância espectral da amostra de telha aço após pintura em branco

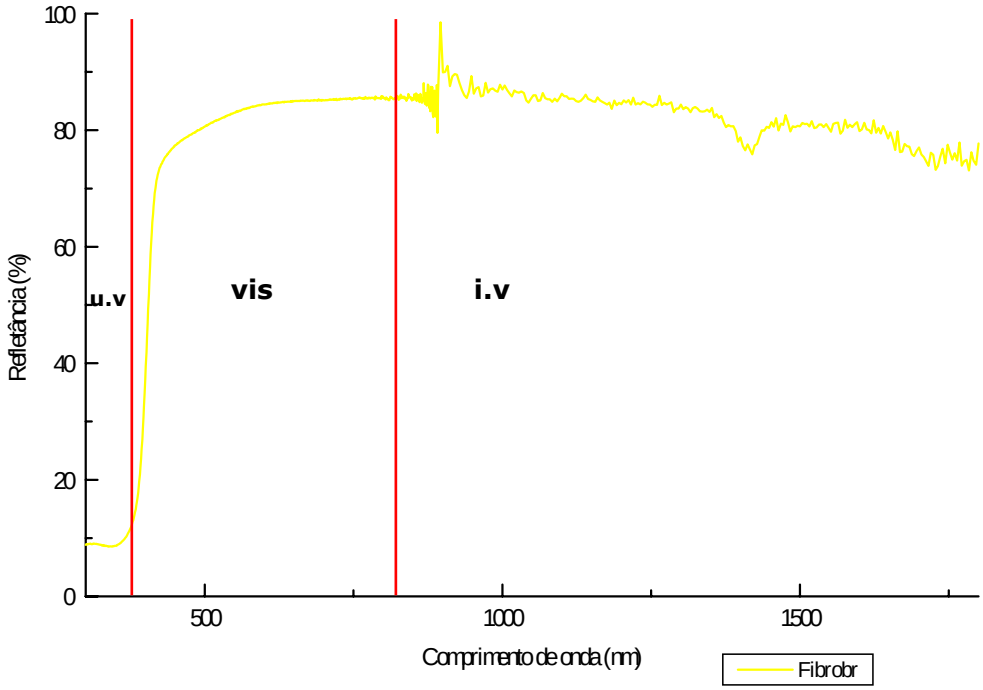


Figura 4.20: Curva de refletância espectral da amostra de telha de fibrocimento após pintura

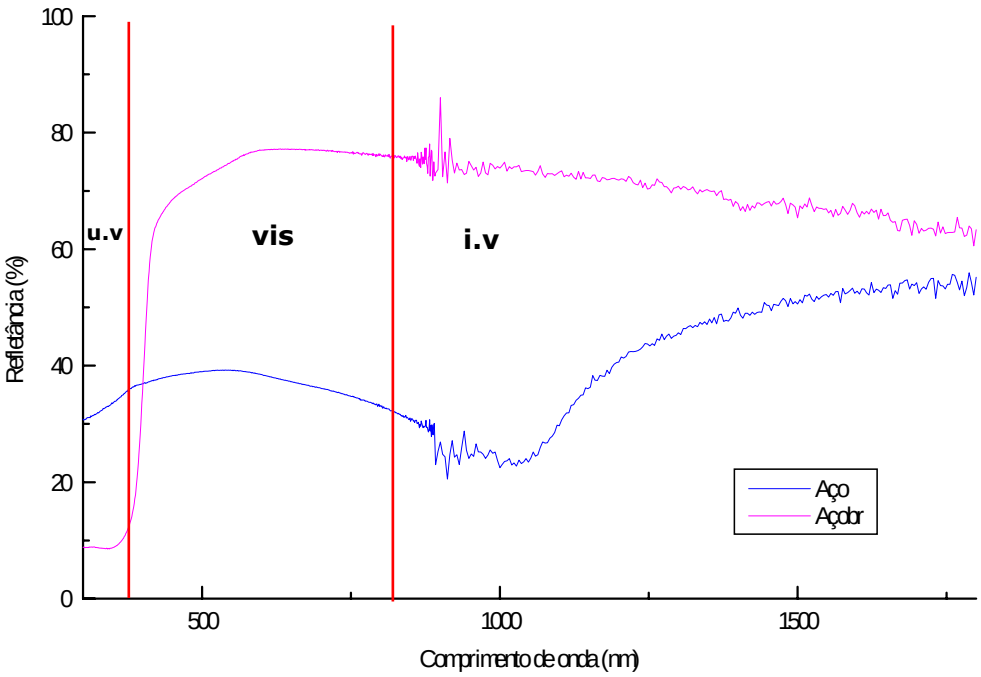


Figura 4.21 - Curvas de refletância espectral das amostras de aço antes e após a aplicação de tinta látex acrílico branco

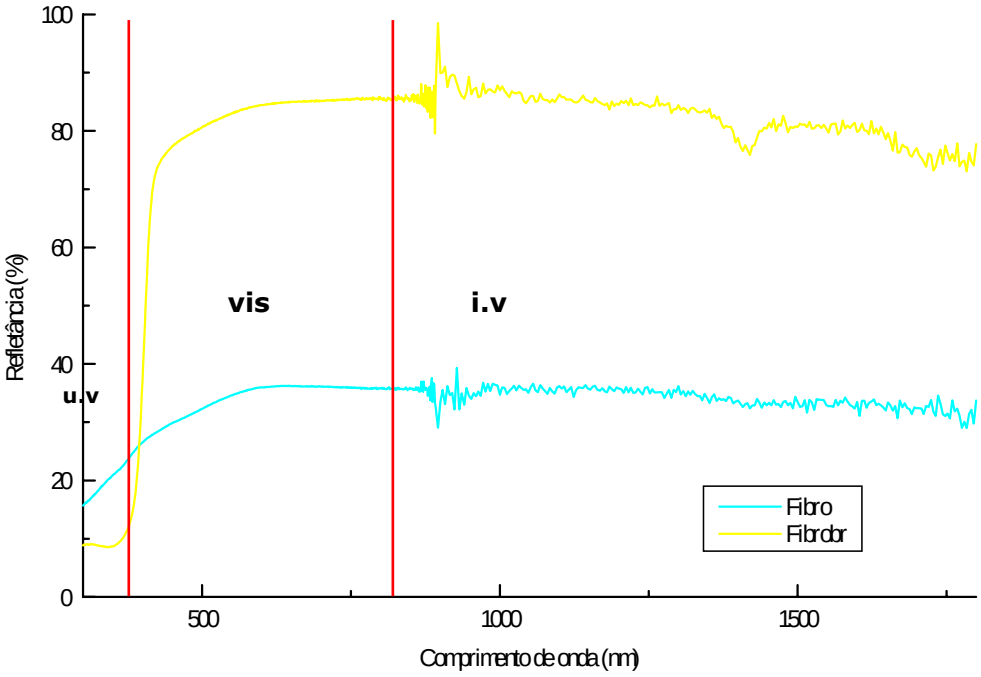


Figura 4.22 : Curvas de refletância espectral das amostras de fibrocimento antes e após a aplicação de tinta látex acrílico branco

Tabela 4.26 : Refletâncias obtidas para as amostras

Amostra	REFLETÂNCIA			
	Ultravioleta	Visível	Infravermelho	Total
Fibrocimento (branco)	9	68	80	71
Aço (branco)	9	60	72	63
Cerâmica	8	29	60	44
Material reciclado	18	34	55	44
Aço	33	35	35	35
Fibrocimento	19	32	32	32

A tabela 4.24 foi obtida a partir das curvas de refletância (figuras 4.15 a 4.20) para os três intervalos. O total foi calculado considerando-se para cada espectro as seguintes porcentagens (de acordo com os percentuais que chegam à superfície da Terra):

- Ultravioleta = 5%;
- Visível = 45%;
- Infravermelho = 50%

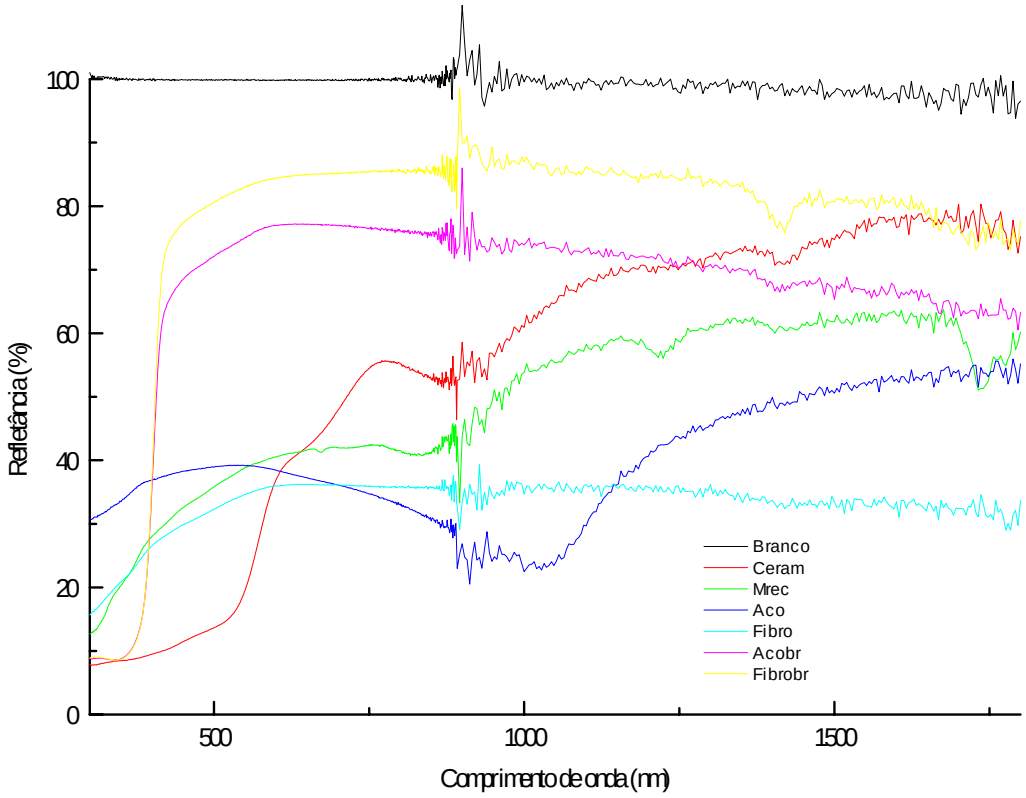


Figura 4.23: Curvas de refletância espectral de todas as amostras

Região do ultravioleta

Conforme verificado nas análises espectrofotométricas, a refletância na região do ultravioleta foi baixa em todas as amostras, inclusive naquelas em que foi aplicada tinta branca (como pode ser verificada nas figuras 4.21 e 4.22). A amostra de telha cerâmica apresentou o menor valor (8%) e a de aço, o maior (33%).

Em relação à refletância na região do u.v, percebeu-se que a amostra de aço sem pintura apresentou o maior valor (33%). As amostras de material reciclado e fibrocimento apresentaram valores próximos (respectivamente 18 e 19%). Ambas as amostras que receberam pintura (aço e fibrocimento) tiveram seus valores reduzidos (9%). O menor valor foi da amostra de cerâmica (8%), apresentando assim, o pior desempenho.

Com exceção da amostra de cerâmica, a medição mostrou que os materiais metálicos sem pintura tiveram o melhor desempenho de refletância na região u.v, enquanto que os materiais metálicos com pintura, o pior desempenho. As análises dos resultados de refletância na região u.v. apontam possíveis imperfeições em relação aos componentes da tinta (o que, em virtude da incidência e absorção da radiação u.v. faz com que haja desbotamento e descoloração com maior rapidez).

Região do visível

A região da radiação visível (de 382 a 780 nm) corresponde a aproximadamente 45% da radiação que alcança a superfície terrestre. Dentre todo o espectro de radiação existente, é o único para o qual a retina humana é sensível (o que possibilita a percepção de cores).

Cores claras costumam apresentar na região do visível e do infravermelho próximo, maiores valores de refletância. Na faixa do visível, percebe-se claramente pelos gráficos o melhor desempenho das amostras que receberam aplicação de tinta látex acrílico branco, sendo de aproximadamente 68% para a amostra de fibrocimento e de 60% para a amostra de aço. Os demais materiais apresentaram valores bastante inferiores nesta região, variando entre 29% (cerâmica) e 35% (aço).

Nesta região, os valores máximos (68%) e mínimos (29%) de refletância foram verificados, respectivamente, para as amostras de fibrocimento (com aplicação de tinta látex acrílico branco) e de cerâmica.

O pior desempenho foi assim verificado para a amostra de cerâmica. A amostra de material reciclado apresentou um desempenho ligeiramente melhor do que o desempenho da amostra de fibrocimento.

Região do infravermelho

Em relação à refletância na região do infravermelho, a variação entre os valores máximos e mínimos ficou entre 32% (fibrocimento) e 80% (fibrocimento com aplicação de tinta branca).

Nesta região os materiais que receberam aplicação de tinta apresentaram os maiores valores, sendo respectivamente de 80% para a amostra de fibrocimento e de 72% para a amostra de aço. A amostra de cerâmica obteve um valor relativamente elevado (60%), sendo seguida pela amostra de material reciclado (55%). O pior desempenho foi verificado para a amostra de fibrocimento, que apresentou um valor de apenas 32%.

Materiais metálicos costumam apresentar valores elevados de refletância na região do infravermelho. No entanto, a amostra de aço, ensaiada não apresentou valor elevado (aproximadamente 35%), o que ocorreu, sobretudo, devido à sua coloração escura.

Refletância total

O menor e maior valor nominal para a refletância foi observado para as amostras de fibrocimento (com e sem aplicação de tinta látex acrílico branco, respectivamente de 71% e 32%).

Observando-se a refletância total, nota-se que não se pode traçar um comportamento semelhante para as amostras na região do visível, pois a ordem crescente observada para as refletâncias totais não é a mesma que se verifica no

visível. Isto significa que se determinada cor de amostra reflete bastante no visível, não necessariamente refletirá bastante em relação à refletância total.

5 Discussão

A escolha das posições dos termopares ocorreu em função da metodologia e das etapas da pesquisa. Considerando-se que as quatro células teste apresentam o mesmo sistema construtivo, diferenciando-se apenas nas telhas utilizadas, o monitoramento em quatro posições idênticas para cada uma das células teste revelou inicialmente a hierarquia das temperaturas internas e sua relação com a temperatura externa[1]. A primeira etapa foi assim constituída do monitoramento de todas as células teste para determinado período representativo de verão. O monitoramento da 1ª etapa permitiu a constatação de que o maior ganho de calor é sempre para a cobertura em edificações térreas, confirmando o que foi pesquisado na bibiliografia.

Em seguida, após a verificação dos desempenhos de cada célula teste, foram selecionadas apenas duas para a 2ª etapa de monitoramento (célula teste com telha de aço e fibrocimento), em um novo período representativo de verão (com temperaturas médias muito próximas do primeiro período selecionado). Verificou-se que as maiores temperaturas internas ocorreram na célula teste com telha de aço, seguida pela de material reciclado, fibrocimento e cerâmica. Contudo as diferenças

[1] Fato que pôde ser verificado detalhadamente no capítulo 4. Resultados

entre os valores encontrados para o material reciclado e para o fibrocimento não foram significativos, o que permitiu que esta última (fibrocimento) fosse selecionada para a 2ª etapa, juntamente com a célula teste com telha de aço. A seleção destas células testes (2ª etapa) também considerou sua freqüência de utilização no mercado e a facilidade para a aplicação de tinta látex acrílico branco na superfície externa da telha. Foi verificada uma redução significativa nas temperaturas superficiais internas das telhas pintadas e também nas temperaturas internas de suas células teste. Além disso, houve uma alteração nítida da hierarquia das temperaturas internas. O tratamento dos dados das duas primeiras etapas foi realizado com o software Excel.

A 3ª etapa constituiu de análises espectrofotométricas para as seis amostras monitoradas nas duas etapas anteriores (quatro telhas sem tinta e duas com aplicação de tinta). A partir da utilização do software Origin foram obtidos tabelas e gráficos de refletância da radiação solar, para os três espectros (ultravioleta, luz visível e infravermelho).

Na 4ª etapa foi possível estabelecer uma análise comparativa dos desempenhos térmicos e das medidas de refletância, com ênfase nas amostras que receberam aplicação de tinta látex acrílico branco. A comparação entre os resultados de monitoramento e de análise espectrofotométrica permitiu que se verificasse que as parcelas de refletância (e absortância) contribuem com a alteração de temperatura do ambiente interior.

Assim após as análises de monitoramento e comparação com as análises de refletância, enfaticamente nas amostras de aço e fibrocimento (antes e após a aplicação da tinta), foi possível constatar a alteração do desempenho térmico das telhas a partir de seu tratamento superficial. Com base nos dados obtidos, pode-se estabelecer um paralelo entre o que é considerado em normas de desempenho térmico de telhas e o que deveria constar.

As análises realizadas neste trabalho não têm por objetivo estabelecer os critérios de desempenho térmico das telhas, mas ilustrar a importância das características térmicas superficiais sobre este. Nestas análises, como foram realizadas medidas de refletância, percebe-se também a importância da absortância da superfície dos materiais. Em relação à norma NBR 15220 e projeto de norma 02:136.01.007 citados, estes foram utilizados como forma de

exemplificar os critérios atualmente adotados para determinação de desempenho térmico e que têm relação com as análises realizadas no presente trabalho.

As análises comparativas foram realizadas em duas datas distintas devido à necessidade de avaliar-se o efeito decorrente da aplicação de tinta látex acrílico branco. O ideal seria que as comparações tivessem sido realizadas no mesmo período para telhas com e sem a aplicação da tinta. Contudo, foram selecionados períodos anteriores e posteriores à aplicação (para condições de verão), com a mesma média da temperatura externa, o que possibilitou uma análise aproximada do que ocorreria se o monitoramento tivesse sido realizado no mesmo dia.

5.1 Análise comparativa dos resultados de monitoramento de temperaturas e de medição de refletância no espectrofotômetro

A análise comparativa entre os gráficos[2] de monitoramento e de análise espectrofotométrica permite que seja conhecida a influência da refletância no desempenho térmico de telhas.

Analisando-se os gráficos percebe-se que na amostra de fibrocimento as diferenças entre a região do visível e infravermelho foram menores. A maior diferença foi observada para a amostra de cerâmica (29% na região do visível e 60% no infravermelho). Dentre as amostras ensaiadas, apenas as amostras de cerâmica e material reciclado apresentaram valores bastante distintos. Para todas as amostras (com exceção das amostras de fibrocimento e aço) observou-se que os maiores valores foram encontrados na região do infravermelho (seguidos pelas regiões do visível e ultravioleta).

[2] Estes gráficos são os mesmos apresentados no capítulo 4. Resultados.

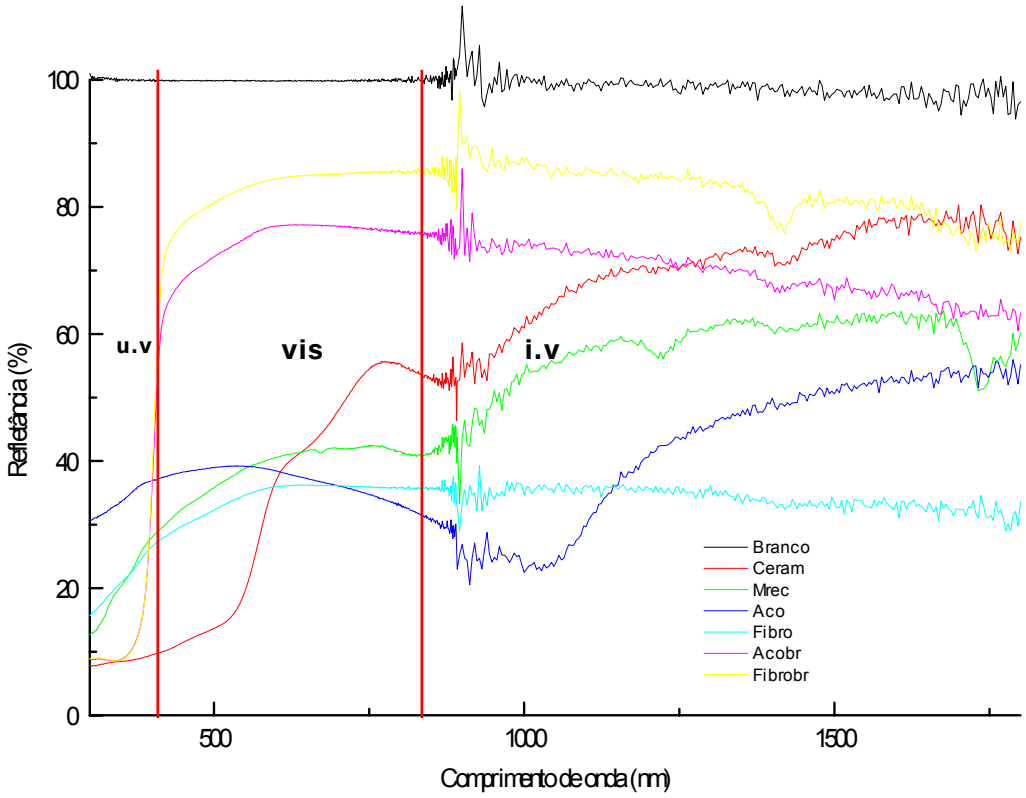


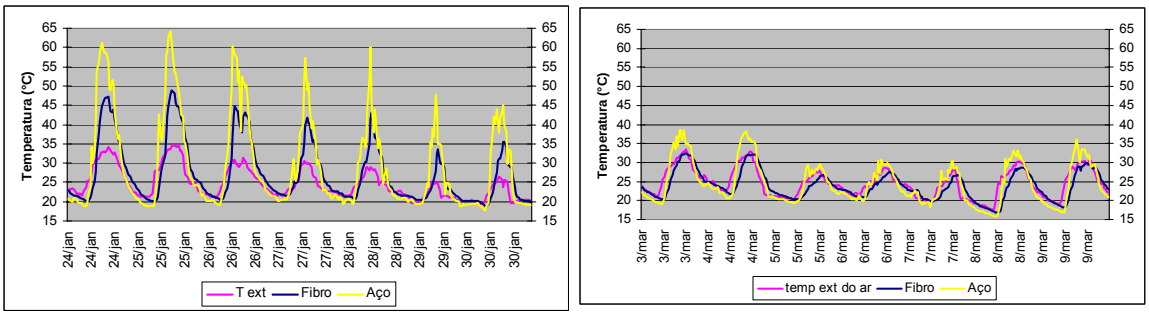
Figura 5.1: Curvas de refletância espectral de quatro amostras e uma referência

No gráfico da figura 5.1 percebe-se com clareza a diferença entre as refletâncias das amostras nos três espectros considerados. A amostra de aço apresentou uma refletância decrescente (aproximadamente a partir de 500nm) na região do visível, e na região do infravermelho apresentou uma oscilação maior (mas em ambos os casos a refletância teve um valor médio de 35%). Já a amostra de aço com pintura branca apresentou uma refletância elevada (total=63%), mas inferior ao fibrocimento com pintura branca (total=71%). No caso da amostra de fibrocimento com aplicação de tinta, todas as refletâncias são baixas na região do ultravioleta (as menores foram verificadas para as amostras pintadas e para a amostra de cerâmica).

Deve-se ressaltar, contudo, que os resultados de monitoramento referentes às telhas nem sempre corresponderam ao que foi verificado na literatura, pois as análises foram realizadas para as telhas em situação real, o que significa, por exemplo, interferência de rugosidade ou do escurecimento das superfícies em decorrência do tempo de uso.

5.1.1 Temperaturas superficiais

Comparando-se os gráficos de temperaturas superficiais das telhas de aço e fibrocimento, antes e após a aplicação de tinta látex branco, percebem-se significativas alterações (pela redução destas temperaturas) em função da alteração da refletância (e da absortância), reveladas no gráfico apresentado na figura 5.1. A temperatura média (das máximas) da telha de aço para o período compreendido entre 24 e 30/01 (antes da aplicação de tinta) foi de 56,5 ºC, enquanto que no período entre 03 a 09/03 (após a pintura) esta temperatura caiu para 29,15 ºC. Através destes gráficos nota-se a considerável redução desta temperatura após aplicação de tinta látex acrílico branco (27,35ºC).

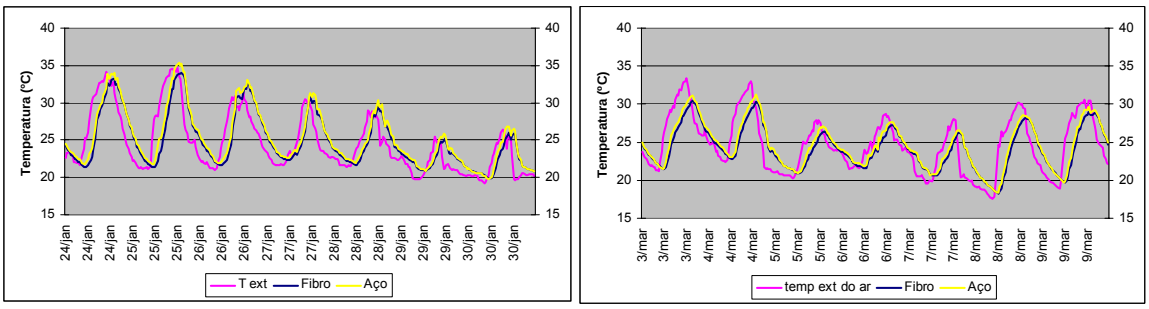


Figuras 5.2 e 5.3: Temperaturas do ar e temperaturas superficiais internas das células teste com telha de fibrocimento e telha de aço - 24 a 30/01 (gráfico 1) e 03 a 09/03 (gráfico 2).

5.1.2 Temperaturas internas

Em relação às temperaturas internas foram consideradas nesta análise apenas as temperaturas internas a 1,50 m do piso (t_{bs}). As temperaturas internas da telha de aço e da telha de fibrocimento se mantiveram próximas ao longo de todos os períodos analisados. A diferença na alteração das temperaturas após alteração das refletâncias pode ser verificada na menor oscilação de temperaturas

internas (cuja variação de temperatura passa a ser menor do que a temperatura externa).



Figuras 5.4 e 5.5: Temperaturas do ar e temperaturas internas das células teste com telha de fibrocimento e telha de aço - 24 a 30/01 (gráfico 1) e 03 a 09/03 (gráfico 2).

Comprovou-se a partir das análises comparativas, que a alteração de refletância (principalmente nos espectros visível e infravermelho) contribuiu com a redução do ganho de calor para o ambiente interno. Assim, temperaturas superficiais elevadas devem-se, como ilustrado nos gráficos, à baixas refletâncias. No caso de redução de temperatura superficial pode-se reduzir também o ganho de calor no interior das edificações. No entanto verificou-se que a maior influência da refletância ocorre na temperatura superficial e em menor intensidade, na temperatura interna.

5.2 Comparação dos critérios delimitados na NBR 15220 e no PNBR 02:136.01.007 com os resultados de monitoramento

A NBR 15220 e o PNBR 02:136.01.007 referenciados neste trabalho serviram para reforçar a importância da consideração das características térmicas dos materiais e sua relação com as variáveis climáticas. É importante lembrar, no entanto, que ambos referem-se à coberturas (o que equivale ao conjunto: telhado + ático + forro).

As análises espectrofotométricas realizadas no presente trabalho revelaram os valores correspondentes de refletância para os três espectros da radiação solar. A apresentação do que é sugerido na norma NBR 15220 e no projeto 02:136.01.007 refere-se à absortância[3].

Em relação à NBR15220-2 conforme visto na revisão bibliográfica, esta parte da norma NBR 15220 utiliza a fórmula do fator solar ao tratar de desempenho térmico de coberturas, onde verifica-se a importância da absortância:

$FS_o=4.U.\alpha$

Percebe-se claramente nesta fórmula que tendo-se um material de determinada transmitância, o fator solar pode sofrer alteração significativa apenas através da alteração do valor da absortância (e consequentemente altera-se o desempenho térmico). Contudo percebe-se que não há menção em relação ao espectro solar correspondente[4] (nas análises espectrofotométricas foi verificada a importância desta análise separada para cada região do espectro – neste caso para a refletância).

Conforme a NBR 15220-3, segundo o zoneamento bioclimático, para a zona bioclimática 4 a cobertura deve ser leve isolada (tabela A2 do anexo A). A tabela A5 delimita os limites de transmitância, atraso térmico e fator solar (conforme o tipo de cobertura e parede). Em relação ao fator solar, são sugeridos valores inferiores a 6,5 % (como foi visto, este depende da absortância). Neste caso também não é feita menção sobre as regiões do espectro para o qual este cálculo poderia ser considerado.

A tabela 5.1 apresenta os valores de absortância calculados a partir da fórmula $\alpha + \rho = 100\%$, para cada um dos espectros (assim como para o espectro total).

[3] Lembrar que: $\alpha + \rho = 1$ - absortância + refletância = 100% - para elementos opacos
[4] Para a absortância

Tabela 5.1: Absortâncias obtidas para as amostras

Amostra	ABSORTÂNCIA			
	Ultravioleta	Visível	Infravermelho	Total
Fibrocimento (branco)	91	32	20	29
Aço (branco)	91	40	28	37
Cerâmica	92	71	40	56
Material reciclado	82	66	45	56
Aço	67	65	65	65
Fibrocimento	81	68	68	68

Para uma análise quantitativa referente à diferença dos valores de fator solar conforme a região do espectro considerada para os valores de absortância (a partir dos dados obtidos de refletância) serão calculados a seguir, o fator solar para telha cerâmica e para telha de fibrocimento.

A tabela A6 do anexo A fornece valores de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para alguns tipos de cobertura. Analisando-se apenas a influência da transmitância térmica, ao considerar-se uma telha de barro sem forro, esta deve ser 4,55 w/m².K[5]. Assim, considerando-se a fórmula do fator solar:

$FS_o=4.U.\alpha$

Tem-se: $FS_o=4.4,55.\alpha= 18,2.\ \alpha$

Conforme os valores obtidos para refletância para a amostra de cerâmica:

• ρ = 8% (espectro ultravioleta), assim, considerando-se que $\alpha + \rho = 1$, α= 92%:

$FS_o=18,2.\ \alpha = 18,2.0,92 = 16,56\ \%$

• ρ = 29% (espectro visível), α= 71%:

$FS_o=18,2.\ \alpha = 18,2.0,71 = 12,92\ \%$

[5] Este valor se encontra acima do sugerido pela norma, o qual deve ser inferior a 2,3 w/m².K. O valor (4,55) foi considerado em função das telhas ensaiadas (coberturas simples – sem laje).

• ρ = 60% (espectro infravermelho próximo), α= 40%:

FS_o=18,2. α = 18,2.0,4 = 7,28 %

• ρ = 44% (espectro total), α= 56%:

FS_o=18,2. α = 18,2.0,56 = 10,08 %

Considerando-se uma telha de fibrocimento sem forro, a transmitância térmica deve ser 4,6 w/m².K. Neste caso o fator solar corresponde à: FS_o=4.4,6.α= 18,4. α

Conforme os valores obtidos para refletância para a amostra de fibrocimento:

• ρ = 19% (espectro ultravioleta), α= 81%:

FS_o=18,4. α = 18,4.0,81 = 14,9 %

• ρ = 32% (espectro visível), α= 68%:

FS_o=18,4. α = 18,2.0,68 = 12,38 %

• ρ = 32% (espectro infravermelho próximo), α= 68%:

FS_o=18,4. α = 18,2.0,68 = 12,38 %

• ρ = 32% (espectro total), α= 68%:

FS_o=18,4. α = 18,2.0,68 = 12,38 %

Através destes cálculos percebe-se que no caso da telha cerâmica existem grandes diferenças para o valor do fator solar (9,28% entre o maior e o menor valor). A telha cerâmica, ainda que apresente uma alta absortância (71%) no espectro visível, apresenta 40% no espectro do infravermelho, o que comprova porque esta telha não transmite muito calor para o ambiente interno (o que influencia diretamente em seu desempenho térmico). No caso da telha de fibrocimento foram observados resultados uniformes e pouca diferença entre

aqueles que apresentaram resultados diferentes (2,52% entre o maior e o menor valor).

Sabe-se que quando uma superfície fica exposta à radiação solar, pode absorver uma parcela desta energia e transformá-la em calor. Após ser absorvida, toda a energia incidente (independente do espectro da radiação solar) é convertida em calor (GIVONI, 1981). Contudo deve-se considerar para cada um dos espectros da radiação solar:

- Ultravioleta: Apenas uma parte do total absorvido é transformado em calor. A parcela total do uv não é significativa pois corresponde a apenas 5% em relação ao espectro total. Contudo é importante ressaltar que a parcela que se transforma em calor também contribui com a degradação do material.

- Luz visível: Uma parcela do que é absorvido é transformada em calor;

- Infravermelho: Toda a parcela absorvida é transformada em calor;

Assim, os cálculos referentes ao fator solar e de ganho de calor solar deveriam considerar inclusive estas diferenças particulares de cada espectro.

Os resultados das análises espectrofotométricas (a exemplo dos resultados da telha cerâmica) revelaram que um valor de absortância total alto pode mascarar um valor baixo para um dos espectros (neste caso, do infravermelho). Infere-se assim, que nem sempre a cor média significa um elevado ganho de calor. Para isto, é necessária a análise para os três espectros da radiação solar, como realizado na presente pesquisa. Até mesmo a fórmula do fator solar, indicada na norma NBR 15220 que tem como uma das variáveis, a absortância (total), não a separa conforme o espectro, o que pode resultar em cálculos de densidade de fluxo de calor (q) imprecisos (uma vez que este também depende do fator solar).

Os resultados de monitoramento de temperaturas superficiais e internas revelaram, quando em confronto com os resultados da análise espectrofotométrica, a influência da refletância no desempenho térmico dos componentes construtivos. Ao confrontar estes resultados com o que é definido em norma, percebe-se a relação da refletância (através da soma com a absortância =100%) em relação ao fator solar citado nas normas, reforçando a importância desta.

A NBR 15220-3, que define o zoneamento bioclimático conforme as características climáticas, estabelece limites mínimos para habitações de interesse social, o que significa que o mapa bioclimático definido nesta norma é limitado para estas condições específicas. Contudo, percebeu-se através do presente trabalho, a importância de ser aplicada semelhante metodologia na elaboração de normas de desempenho térmico de telhas, pois através da consideração da influência das variáveis climáticas podem ser obtidas respostas fidedignas, coerentes com a realidade do local.

Em relação às tabelas constantes no projeto de norma 02.136.01.007 *Desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos*, a tabela C1 (anexo C) determina Critérios e níveis de desempenho da cobertura quanto à transmitância. Neste projeto de norma também há uma tabela C2 (anexo C), que especifica os níveis de desempenho de coberturas segundo a absortância das superfícies externas. Nas duas tabelas verifica-se que o critério de desempenho (intervalos de U e α) está diretamente relacionado com o nível de desempenho (que pode ser mínimo, intermediário ou superior). Na tabela C2 não há referência sobre a região do espectro em que a absortância[6] deve ser considerada.

Outras questões que devem ser consideradas em normas de desempenho térmico para telhas referem-se à manutenção das características térmicas (quando se consideram, por exemplo, climas com temperaturas elevadas e necessita-se de baixa absortância). A alteração de cor causada pela idade, acúmulo de poeira, poluição e ataque biológico pode reduzir o desempenho térmico de telhados. Para que a absortância do material não seja aumentada, a manutenção deve ser constante. A telha de fibrocimento ensaiada, caso fosse nova, poderia apresentar valores mais elevados de refletância nos espectros visível e infravermelho. Além disso, as diferenças entre os resultados de refletância para as amostras de fibrocimento e aço podem ter ocorrido em função do polimento realizado na amostra de fibrocimento.

Como pôde ser constatado em todas as etapas do monitoramento, as maiores diferenças (entre as temperaturas internas e externa) ocorreram em função do tratamento superficial dado (no caso da presente pesquisa, através da aplicação de

---

[6] Para este projeto de norma a medição de absortância à radiação solar segue os procedimentos da Norma ANSI/ASHRAE 74/1988.

tinta látex acrílico branco). Assim, é importante ressaltar a diferença de absortância nos diferentes espectros – o que não é contemplado nas normas analisadas. Constatou-se ser de extrema importância que as normas delimitem estas diferenças segundo o espectro e que, consequentemente os fabricantes indiquem estas informações em seus produtos.

6 Conclusões

6.1 Como este trabalho teve como um dos objetivos avaliar os efeitos decorrentes da alteração de refletância (e absortância) em amostras de telhas monitoradas em células teste, uma das propostas decorrentes deste estudo, é que sejam elaboradas normalizações de desempenho térmico específicas para telhas, considerando-se as questões mais críticas em cada caso (como é por exemplo, no caso das telhas, que por serem, dentre os componentes construtivos, os mais vulneráveis à incidência da radiação solar em edificações térreas, percebeu-se que as melhores soluções poderiam vir da otimização das características superficiais térmicas).

6.2 A análise da relação entre o monitoramento e a normalização consiste em parte de uma visão maior que pretende se integrar à legislação energética[1], que deve também ter como enfoque o adequado desempenho dos materiais construtivos. Nesse sentido, assim como foi criado o selo PROCEL (de Eficiência energética) "com o objetivo de identificar os equipamentos que apresentem níveis ótimos de eficiência energética"[2] deveria ser criado um selo de qualidade de desempenho térmico para os materiais da construção civil, baseado em normalização de desempenho térmico específica para cada material. O ideal, com a criação deste selo é que fosse estabelecida uma legislação específica, de modo a deixar claro ao consumidor, a responsabilidade de cada profissional envolvido nos

---

[1] Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001: Estabelece níveis máximos de consumo específico de energia para máquinas e aparelhos elétricos fabricados ou comercializados no País.

[2] http://www.eletrobras.gov.br/procel/main.asp?TeamID=%7B2F873187-0F5B-40EA-BFF2-337C89CF2F8D%7D

custos diretos e indiretos que têm relação com a correta especificação e, conseqüentemente, nas questões energéticas e de conforto.

6.3 Ao falar-se de qualidade térmica (conforto), inúmeras são as variáveis envolvidas, mas sem dúvida, tratar da otimização do desempenho de cada material no projeto através de correta especificação, a partir de normalização pertinente pode garantir uma edificação de maior qualidade. A melhoria do material depende da otimização de suas propriedades térmicas, o que está relacionado não apenas com a composição do material, mas, sobretudo, com o tratamento das superfícies externas.

6.4 Ao ser selecionada para análise de monitoramento, além das células teste com telhas convencionais, a telha alternativa composta de material reciclado, buscou-se demonstrar que é necessário não só trabalhar no aprimoramento das propriedades e características térmicas desta (em função de seu desempenho térmico), como reforçar a necessidade de serem implementadas também, normas de desempenho térmico para os produtos ecológicos.

6.5 As normas devem estabelecer os limites mínimos e máximos das propriedades térmicas relevantes em relação ao desempenho térmico, e o fabricante deve informar no produto, facilitando para o profissional da construção civil, a correta especificação.

6.6 A importância da normalização se verifica na necessidade de adequação dos produtos dentro de um patamar de qualidade. Atualmente, e cada vez mais, haverá maiores possibilidades de contribuição para melhoria da qualidade do material de construção civil, alicerçado especialmente nos estudos de centros de pesquisa e universidade. Estes órgãos são de alta confiabilidade, pois os resultados são presumivelmente imparciais, visando demonstrar a realidade do produto em diversos aspectos.

6.7 O desempenho térmico dos materiais depende tanto de suas propriedades termofísicas, características do material, quanto do tratamento dado à superfície. A determinação das características superficiais ideais (assim como das propriedades termofísicas) dos materiais deve estar sempre associada com o tipo de clima para o qual se pretende projetar determinada edificação.

6.8 A norma NBR 15220 e projeto de norma 02:136.01.007 analisados (que tratam de estratégias bioclimáticas) constituem um esforço inicial rumo à

elaboração de normas de desempenho térmico para materiais de construção. Contudo, a elaboração de normas de desempenho térmico necessita que sejam realizados estudos mais detalhados que relacionem as propriedades termofísicas dos materiais, assim como de suas características superficiais às necessidades de desempenho térmico para cada região, conforme o clima. Desse modo, análises de monitoramento mais detalhadas, associadas aos estudos e ensaios das propriedades devem ser realizados (inclusive considerando-se as consequências decorrentes da ação do tempo – cronológico e climático).

6.9 As referências encontradas que associam o desempenho térmico de telhas e coberturas ainda não são suficientes para a elaboração de normas de desempenho térmico de telhas. Para isto devem ser realizados estudos mais detalhados, que englobem simultaneamente as especificidades climáticas com as propriedades termofísicas e características térmicas de cada material. Estas (propriedades e características) devem ser coerentes com o tipo de clima, ou seja, nem sempre é interessante que, por exemplo, a refletância seja elevada. Assim, as pesquisas citadas e as análises realizadas reforçam e justificam a necessidade de implementação de normas de desempenho térmico para os materiais construtivos.

6.1 Sugestões para pesquisas futuras

Como sugestão para trabalhos futuros relacionados à normalização de desempenho térmico, monitoramento e propriedades das telhas sugerem-se as seguintes pesquisas:

- Monitoramento da emissividade e absortância para diferentes tipos de tintas;

- Monitoramento simultâneo de células-teste com variações na absortância[3] das telhas;

---

[3] Outra questão que deve ser considerada em relação à absortância, é que esta cresce com o tempo, se não há limpeza periódica da superfície. Por isso deveriam ser estudadas tintas com maior facilidade de limpeza e que tivessem menor absortância.

- Elaboração de uma norma de desempenho térmico para telhas com indicação de hierarquia de desempenho térmico segundo a região bioclimática;

- Elaboração de norma de desempenho térmico específico para telhas ecológicas com indicação de valores mínimos de desempenho;

- Os efeitos da aplicação de diferentes tipos de tintas sobre os custos energéticos e desempenho térmico das edificações (incluindo-se a comparação entre tintas convencionais tóxicas e tintas ecológicas);

- Ensaio de tintas segundo a degradação decorrente da exposição aos raios u.v;

- Análises espectrofotométricas (para as três regiões do espectro: uv, v, iv) para maior variação de tintas de cores diferentes aplicadas sobre telhas.

7 Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: **Desempenho Térmico de Edificações – parte 1: Definições, Símbolos e Unidades.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 2:** Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **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.

_____. **PNBR 02:136.01: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. **Parte 5: Coberturas.** Rio de Janeiro, 2004.

AMORIM, C. N. D. et. Al. **Janela na edificação: normas e indicações para projeto.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 2004 – São Paulo – SP, 2004.

ARAÚJO, M.A. – Produtos ecológicos para uma sociedade sustentável – Disponível em: <http://www.idhea.com.br/artigos2.asp>. Acesso em 08 abril 2004.

BANSAL, N.K. et. al. Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings. **Building and Environment**, Great Britain, v. 27, n. 1, p. 31-37, 1992.

BRETZ, S. et al. **Pratical issues for using solar-refletivematerials to mitigate urban heat islands**. Atmospheric Enviroment. v. 32, No. 1, p.95-101, 1998.

BERDAHL, P. & BRETZ, S. E. **Preliminary Survey of the solar reflectance of cool roofing materials. Energy and buildins,** v.25, 1997.

CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica.** 2002. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

CASTRO, A. P. A. S. Et al. **Refletância de Cores para pintura externa em função das regiões do espectro solar**. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. Anais do VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2003.

COSTA, E. C. – **Arquitetura ecológica – condicionamento térmico natura**l. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2000.

DOMÍNGEZ et al. **Control climático en espacios abiertos – El proyecto Expo`92.** Grupo de Termotecnia. Depto. De Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos. Universidad de Sevilla, Sevilla,1992.

FERREIRA, F. L. et al. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção civil. São Paulo, 2003.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ed. London: Applied Science, 1981.

_____. **Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Building.** New York: John Wiley & Sons, 1992.

_____. **Climate Considerations in Urban and Building Design.** New York: John Wiley & Sons, 1998.

GONÇALVES, O. **Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações**. In: Coletânea Habitare, v. 3, Normalização e certificação na construção habitacional. ROMAN, H. R.; BONIN, L.C. (Ed.). 2003.

GONZALEZ, E. et al. **Arquitetura Latino Americana – Proyeto clima y arquitectura.** V.3, Universidade de Zulia, 1986.

GRANJA, A. D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos.** 2002. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GUYOT, A. & IZARD, J. L. **Architectura Bioclimática**. 2 ed. México: Gustavo Gili, 1983.

KOENIGSBERGER, Otto & MAHONEY, Carl. **El clima y el diseño de casas**. New York, ONU, 1973.

KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor.** Editora Edgard Blucher, 1977.

Krüger, E. L. et al. **O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedação quanto ao seu desempenho térmico**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 2004 – São Paulo – SP, 2004.

KRÜGER, E. L et al. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas constituídas de embalagens Tetra Pak.** In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 8, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, ELACAC 4, 2005. Maceió –AL. **Anais.** p. 958-966. Maceió, AL. 2005.

LABAKI, L. C. et al. **A reutilização de embalagens tipo "longa vida" como isolante térmico para coberturas de fibrocimento sem forro**. São Carlos, SP. 2003. 11 p. ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS 3, São Carlos, SP, 2003.

LABAKI, L. C. et al. **Desempenho térmico de técnicas passivas em coberturas - resfriamento evaporativo e radiante**. In: ENCAC - ELACAC 2005 - VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. Anais do ENCAC - ELACAC 2005 - VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió : ANTAC, 2005. v. 1. p. 2327-2328.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia Elvira Raffo (Coordenadores). **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre, Editora Sagra-dc Luzzatto, 1992.

MILLER, W. A. et al. **Painted Metal Roofs are energy-efficient, durable and sustainable.** In: www.coolmetalroofing.org/pdf/paintedmetalroofs.pdf. Acessado em março 2005.

MONTEIRO, C. A. F. (1973). **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo.** Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, M. M. F. et al. **Isolamento térmico de coberturas através de fibra vegetal.** Curitiba, PR. 2003. Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 7, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, 3, 2003, Curitiba.

PEREIRA, I. et al. **Discussão das estratégias propostas pelo projeto de norma de desempenho térmico de edificações através de estudo de caso.** Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 8, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, 4. Maceió, AL. 2005.

ROBINSON, N. **Solar Radiation**, N.Y. Elsevier Publ. Company Ltd, 1966;

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima. Condicionamento Térmico Natural.** Porto Alegre: Luzzato, 1985.

SICHIERI, E. P. et al. **Indicativos Para Emprego Apropriado de Vidros Planos Na Construção Civil,Segundo Critérios Espectrofotométricos**. In: III Encontro nacional/I Encontro latino americano-conforto no ambiente construido. Anais do III Encontro nacional/I Encontro latino americano-conforto no ambiente construido. V. 1. p. 541-546. SÃO PAULO, SP, 1995.

SILVEIRA, W. J. C. et al. **Habitação de interesse social em Florianópolis (SC): critério para definição de coberturas**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 2004 – São Paulo – SP.

SIMIONI et al**. Desempenho térmico de coberturas: uma analise utilizando diferenças finitas**. Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 7, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, 3, 2003, Curitiba. (2003)

SOUZA, L. C. L. et al. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas leves para a cidade de São Carlos.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC 3, **Anais.** p. 269-274, Gramado – RS, 1995.

SZOKOLAY, S. et al. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design.** Oxford: Elsevier/Architectural Press, 2004.

TEIXEIRA, C.F.B. et al **desempenho térmico de técnicas passivas em coberturas – resfriamento evaporativo e radiante.** In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 8, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, ELACAC 4, 2005. Maceió – AL. **Anais.** p. 2327-2328.

VECCHIA, F. A. S. **Clima e ambiente construído*:* a abordagem dinâmica aplicada ao Conforto Humano**. São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH USP), Universidade de São Paulo, 1997.

_____. **Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVLS).** In: PLURIS 2005 - 1º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL, 2005, São Carlos. Anais do PLURIS 2005 - 1º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO SUSTENTÁVEL, 2005.

VESENTINI, J. W. - **Brasil Sociedade e Espaço**, Geografia do Brasil, 1ª e 6ª edição, São Paulo, editora Ática 1996/98

ANEXO A

15220 Desempenho térmico de edificações

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

Diretrizes Construtivas para a zona bioclimática 4 (Região de São Carlos)

Tabela A1 – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Fonte: ABNT (2005)

Tabela A2 – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 4

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

Fonte: ABNT (2005)

Tabela A3 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

Fonte: ABNT (2005)

Tabela A4 - Legenda

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Fonte: ABNT (2005)

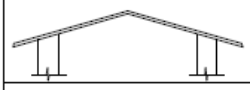
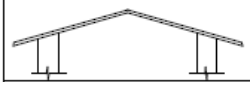
Tabela A.5 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar

Vedações externas		Transmitância térmica – U W/m².K	Atraso térmico – φ Horas	Fator solar – FS_o %
Paredes	Leve	$U \leq 3{,}00$	$\varphi \leq 4{,}3$	$FS_o \leq 5{,}0$
	Leve refletora	$U \leq 3{,}60$	$\varphi \leq 4{,}3$	$FS_o \leq 4{,}0$
	Pesada	$U \leq 2{,}20$	$\Phi \geq 6{,}5$	$FS_o \leq 3{,}5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2{,}00$	$\varphi \leq 3{,}3$	$FS_o \leq 6{,}5$
	Leve refletora	$U \leq 2{,}30$	$\varphi \leq 3{,}3$	$FS_o \leq 6{,}5$
	Pesada	$U \leq 2{,}00$	$\varphi \leq 6{,}5$	$FS_o \leq 6{,}5$

NOTAS
1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar
2 As aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).
3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.
4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar entre o telhado e o forro.

Fonte: ABNT, 2005, Parte 3, p. 17.

Tabela A.6 - Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas

Cobertura	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55	18	0,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm	4,60	11	0,2

Fonte: ABNT, 2005, Parte 3 (Tabela parcial)

ANEXO B

Tabela de Normas técnicas

Norma	Código	Última atualização
Alumínio e suas ligas - Chapas corrugadas (telhas)	NBR14331	jun/99
Coberturas	NBR5720 NB344	fev/82
Emprego de chapas estruturais de cimento-amianto	NBR5639 NB554	dez/77
Folha de telha ondulada de fibrocimento	NBR7196 NB94	jun/83
Membrana acrílica com armadura para impermeabilização	NBR13321	mar/95
Telha cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água	NBR8947 MB2132	jul/85
Telha cerâmica - Verificação da impermeabilidade	NBR8948 MB2133	jul/85
Telha cerâmica de capa e canal	NBR9601 EB1701	set/86
Telha cerâmica de capa e canal tipo colonial - Dimensões	NBR9600 PB1247	set/86
Telha cerâmica de capa e canal tipo paulista - Dimensões	NBR9598 PB1245	set/86
Telha cerâmica de capa e canal tipo plan - Dimensões	NBR9599 PB1246	set/86
Telha cerâmica tipo francesa	NBR7172 EB21	mar/87
Telha cerâmica tipo francesa	NBR7172 EB21	mar/87
Telha cerâmica tipo francesa - Determinação da carga de ruptura à flexão	NBR6462 MB54	mar/87
Telha cerâmica tipo francesa - Forma e dimensões	NBR8038 PB1013	mar/87

Telha cerâmica tipo romana	NBR13582	fev/96
Telha de fibrocimento - Determinação da absorção de água	NBR6470 MB236	set/93
Telha de fibrocimento - Determinação da resistência à flexão	NBR6468 MB234	set/93
Telha de fibrocimento - Verificação da impermeabilidade	NBR5642 MB1089	nov/93
Telha de fibrocimento - Verificação da resistência a cargas uniformemente distribuídas	NBR5643 MB1090	mar/83
Telha de fibrocimento, tipo canal	NBR12825	abr/93
Telha de fibrocimento, tipo pequenas ondas	NBR12800	jan/93
Telha estrutural de fibrocimento	NBR5640 EB305	mar/95
Telha ondulada de fibrocimento	NBR7581 EB93	fev/93
Telhas de concreto - Parte 1: Projeto e execução de telhados	NBR13858-1	abr/97
Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio	NBR13858-2	abr/97

NBR 5640 – Telha estrutural de fibrocimento

- Objetivo
- Documentos complementares
- Definições
- Condições gerais (Material, perfil, aparência geral, dimensões, marcação e unidade de compra);
- Condições específicas (resistência à flexão, impermeabilidade e absorção de água);
- Inspeção (geral, por amostra, por medição direta e por ensaios);
- Aceitação e rejeição

Objetivo: Esta norma fixa as condições exigíveis para o recebimento de telhas estruturais de fibrocimento a serem empregadas em coberturas e fechamentos laterais, conforme a NBR 5639.

NBR 6462 – Telha cerâmica tipo francesa – determinação da carga de ruptura à flexão

- Objetivo
- Norma complementar

- Aparelhagem
- Execução do ensaio
- Resultados

Objetivo: Esta norma prescreve o método para determinação da carga de ruptura à flexão em telha cerâmica tipo francesa.

NBR 6468 – Telha de fibrocimento – Determinação da resistência à flexão

- Objetivo
- Documentos complementares
- Aparelhagem
- Execução do ensaio
- Resultados

Objetivo: Esta norma prescreve o método para determinação da carga de ruptura à flexão de telhas de fibrocimento especificadas na NBR 7581 e NBR 12800.

NBR 7172 - Telha cerâmica do tipo francesa

- Objetivo
- Normas complementares
- Definições
- Condições gerais (fabricação, identificação, unidade de compra, aspecto visual, característica sonora, características geométricas – forma, dimensões nominais e empenamento).
- Condições específicas (massa, absorção de água, impermeabilidade, carga de ruptura `a flexão)
- Inspeção (constituição dos lotes, geral e por ensaios)
- Aceitação e rejeição

Objetivo: Esta norma fixa as condições exigíveis para a aceitação de telhas cerâmicas tipo francesa, destinadas à execução de telhados de edificações.

NBR 7196 – Folha de telha ondulada de fibrocimento

- Objetivo
- Documentos complementares
- Definições
- Condições gerais (Material, perfil, aparência geral, dimensões, marcação e unidade de compra)

- Condições específicas (resistência à flexão, impermeabilidade e absorção de água)
- Anexo: Chuvas intensas no Brasil

Objetivo: Esta norma fixa as condições exigíveis nos projetos e execuções de coberturas e fechamentos laterais com telhas onduladas de fibrocimento especificadas na NBR 7581.

NBR 7581 – Telha ondulada de fibrocimento

- Objetivo
- Documentos complementares
- Definições
- Condições gerais (Material, perfil, aparência geral, dimensões, marcação e unidade de compra);
- Condições específicas (resistência à flexão, impermeabilidade e absorção de água);
- Inspeção (geral, inspeção por medição direta e por ensaios);
- Aceitação e rejeição

Objetivo: Esta norma fixa as condições exigíveis No recebimento de telhas de fibrocimento de seção transversal ondulada, a serem empregadas em coberturas e fechamentos laterais. Define também as características geométricas da seção transversal.

NBR 8038 – Telha cerâmica tipo francesa - forma e dimensões

- Objetivo
- Norma complementar
- Condições gerais (forma e dimensões)
- Condições específicas

Objetivo: Esta norma padroniza a forma e as dimensões, com respectivas tolerâncias, de telha de cerâmica tipo francesa, para coberturas de edificações em geral, conforme especificada na NBR 7172.

NBR 8947 – Telha cerâmica – determinação da massa e da absorção de água

- Objetivo
- Aparelhagem
- Execução do ensaio (corpo de prova)

- Resultados

Objetivo: Esta norma prescreve o método de determinação da massa e da absorção de água em telhas cerâmicas.

NBR 8948 – Telha cerâmica – verificação da impermeabilidade

- Objetivo
- Aparelhagem
- Execução do ensaio (corpo de prova)
- Resultados

Objetivo: Esta norma prescreve o método para verificação da impermeabilidade em telhas cerâmicas.

NBR 9598 – Telha cerâmica de capa e canal tipo paulista – dimensões

- Objetivo
- Norma complementar
- Condições gerais (forma e dimensões)
- Condições específicas

Objetivo: Esta norma padroniza a forma e as dimensões, com as respectivas tolerâncias, de telha cerâmica de capa e canal tipo paulista, para coberturas de edificações em geral, conforme especificada na NBR 9601.

NBR 9599 – Telha cerâmica de capa e canal tipo plan – dimensões

- Objetivo
- Norma complementar
- Condições gerais (dimensões)
- Condições específicas

Objetivo: Esta norma padroniza a forma e as dimensões, com as respectivas tolerâncias, de telha cerâmica de capa e canal tipo plan, para coberturas de edificações em geral, conforme especificada na NBR 9601.

NBR 9600 – Telha cerâmica de capa e canal tipo colonial – Dimensões

- Objetivo
- Norma complementar (9601)

- Condições gerais
- Condições específicas

Objetivo: Esta norma padroniza a forma e as dimensões, com as respectivas tolerâncias, da telha cerâmica de capa e canal tipo colonial, para coberturas de edificações em geral, conforme especificada na NBR 9601.

NBR 9601 – Telha cerâmica de capa e canal

- Objetivo
- Normas complementares
- Definições
- Condições gerais
- Condições específicas
- Inspeção
- Aceitação e rejeição

Objetivo: Esta norma fixa as condições exigíveis para a aceitação de telhas cerâmicas de capa e canal, destinadas à execução de telhados de edificações, e abrange os tipos: plan, colonial e paulista.

NBR 9602 – Telha cerâmica de capa e canal – Determinação da carga de ruptura à flexão

- Objetivo
- Normas complementares
- Aparelhagem
- Execução do ensaio

Objetivo: Esta norma prescreve o método para determinação de carga de ruptura à flexão em telha cerâmica de capa e canal, englobando os tipos plan, colonial e paulista, conforme especificada na NBR 9601.

NBR 13582 – Telha cerâmica tipo romana

- Objetivo
- Documentos complementares
- Definições
- Condições gerais (fabricação, marcação, unidade de compra, aspecto visual, sonoridade e características geométricas)
- Condições específicas (massa, absorção de água, impermeabilidade, carga de ruptura à flexão, tolerâncias, número de telhas/m²)

- Inspeção (constituição dos lotes, inspeção geral, por ensaios)
- Aceitação e rejeição
- Anexo – Exemplo de cálculo da quantidade de telhas

Objetivo: Esta norma fixa as condições exigíveis para a aceitação de telhas cerâmicas tipo romana, destinadas à execução de telhados de edificações.

NBR 13858-1/1997 - Telhas de concreto –Parte 1: Projeto e execução de telhados

Descrição da Norma
Fixa condições exigíveis para o projeto e a execução de telhados com telhas de concreto conforme a NBR 13858-2.

NBR 13858-2/1997 - Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio

Descrição da Norma
Fixa requisitos exigíveis para o recebimento e aceitação de telhas de concreto, destinadas à execução de telhados. Não se aplica à especificação de qualquer revestimento superficial.

NBR 14513 – Telha de aço revestido de seção ondulada – requisitos

Obj: Fixa os requisitos a que devem atender as telhas de aço revestido conformado a frio, de seção transversal ondulada, com os seguintes tipos de revestimento: zincadas, por imersão a quente, liga alumínio-zinco por imersão a quente, zincado por imersão a quente e pintado; liga alumínio zinco por imersão a quente e pintado.

NBR 14514 – Telha de aço revestido de seção trapezoidal – requisitos

Obj: Fixa os requisitos a que devem atender as telhas de aço revestido conformado a frio, de seção transversal trapezoidal, com os seguintes tipos de revestimento: zincadas, por imersão a quente, liga alumínio-zinco por imersão a quente, zincado por imersão a quente e pintado; liga alumínio zinco por imersão a quente e pintado.

ANEXO C

Desempenho de edifícios habitacionais até cinco pavimentos

Parte 5 - Coberturas

Tabela C1 – Critérios e níveis de desempenho da cobertura quanto à transmitância

Transmitância Térmica [1] (U, em W/(m^2.K))		Nível de desempenho
Zonas 1 a 7	Zona 8[2]	
U ≤ 2,30	U ≤ 2,30 FV	**M**
U ≤ 1,50	U ≤ 1,50 FV	**I**
U ≤ 1,00	U ≤ 1,00 FV	**S**

[1] Valores de transmitância Térmica (U) considerando-se a resistência superficial interna com valor de 0,17 m^2.K/W e a resistência superficial externa com valor de 0,04 m^2.K/W.

[2] Na Zona Bioclimática 8 também serão aceitas coberturas com telhas cerâmicas em estado natural (não pintadas e não esmaltadas), mesmo que a cobertura não tenha forro.

FV = Fator de ventilação do ático, conforme item 11.1.1.1.2 a seguir

Fonte: ABNT (2005)

Tabela C 2 – Critério e nível de desempenho de coberturas quanto à absortância das superfícies externas

Absortância (α, adimensional) Zonas bioclimáticas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Nível de desempenho
Sem exigência	**M**
0,26 < α ≤ 0,40	**I**
α ≤ 0,25	**S**

Fonte: ABNT (2005)

ANEXO D

Tabelas da NBR 15220-2 da ABNT:

Tabela D1 - Densidade (ρ), condutividade (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kj/(kg.K)
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibrocimento			
placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (p dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m³, p dos inertes > 350 kg/m³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m³, p dos inertes < 350 kg/m³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso: agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso: agregado= 1:2	500-700	0,25	0,84
Granulados			

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kj/(kg.K)
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim santa fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-300	1,60	0,84
calcáreos/mámore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloretos de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: ABNT, 2005, Parte 2

Tabela D.2– Absortância (α) para radiação solar e emissividade (ε)
para radiação a temperaturas comuns

Tipo de superfície	α	ε
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura: Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,90
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT, 2005, Parte 2

Tabela D.3 – Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} (m^2. K)/W			R_{se} (m^2.K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo do calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇨	⇧	⇩	⇨	⇧	⇩
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT, 2005, Parte 2