



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE MATERIAIS



ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA EM UM SISTEMA DE
FACHADAS VENTILADAS, UTILIZANDO A TERMOGRAFIA

Aline Ozelame de Lima

Matrícula:0164/97-8

Professor orientador: Carlos Pérez Bergmann

Setembro de 2002

ÍNDICE

Resumo.....	2
1. Introdução.....	3
2. Objetivos.....	5
3. Revisão Bibliográfica.....	6
3.1 Materiais Cerâmicos.....	6
3.1.1 Materiais Cerâmicos de Revestimento.....	8
3.1.1.1 Azulejos.....	9
3.1.1.2 Pisos, Pastilhas e Lajotas.....	9
3.2 Fachadas Ventiladas.....	10
3.3 Transferência de Calor.....	13
3.3.1 Condução.....	14
3.3.2 Convecção.....	16
3.3.3 Radiação.....	18
3.3.3.1 Radiação Infravermelha.....	20
3.4 Termografia.....	21
3.4.1 Área Industrial.....	22
3.4.2 Área Elétrica.....	23
3.4.3 Área Médica e Veterinária.....	24
4. Procedimento Experimental.....	26
4.1 Materiais.....	26
4.2 Métodos.....	26
4.2.1 Termografia.....	26
5. Resultados.....	32
5.1 Primeira Bateria de Termogramas.....	32
5.2 Segunda Bateria de Termogramas.....	38
6. Conclusões.....	43
7. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	44
8. Referências Bibliográficas.....	45

RESUMO

O sistema de fachadas ventiladas caracteriza-se por apresentar o revestimento aplicado numa estrutura própria de fixação (parâmetro externo), afastada da parede da edificação (parâmetro interno). Este espaço “vazio” possibilita um fluxo contínuo de substituição do ar quente por ar frio, que é aspirado pelas venezianas localizadas na parte inferior das fachadas. O objetivo maior deste tipo de fachada é garantir um conforto térmico para os ambientes, através do isolamento provocado pela camada de ar. O sistema analisado neste trabalho utiliza, nas fachadas ventiladas, um revestimento cerâmico, devido às suas excelentes propriedades como baixa condutividade térmica, boa resistência a intempéries, baixa absorção de água, compatibilidade estética, entre outras.

Sempre que houver um gradiente de temperatura em um sistema, haverá transferência de calor. Os mecanismos básicos desta transmissão são: condução, convecção e radiação. No “vazio” do sistema de fachadas ventiladas, a convecção garante a movimentação do ar.

Para a avaliação das variações de temperatura neste tipo de sistema, foi utilizada a técnica da termografia, a qual está fundamentada nos princípios da radiação infravermelha, ou seja, esta técnica permite a detecção da radiação eletromagnética naturalmente emitida pelos corpos em função de sua temperatura. A termografia possibilita a medição de temperaturas e a formação de imagens térmicas de um corpo, equipamento ou processo sem o contato físico direto.

Neste estudo, um sistema de fachadas ventiladas foi termografado para avaliar-se a sua eficiência quanto ao isolamento térmico. Foram obtidos diversos termogramas, ou fotos térmicas, de diferentes regiões da fachada, tanto da parede externa quanto interna, para assim verificar as variações de temperatura de fora para dentro, já que quanto maior esse gradiente, maior a eficácia do sistema.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas ventiladas foram desenvolvidas nas décadas de 50 e 60, desde então sofreram constantes aperfeiçoamentos, chegando aos nossos dias com todos os princípios de funcionamento solucionados e resolvidos tecnicamente.

Essas fachadas têm, como principal característica, um espaço “vazio” entre a estrutura e o revestimento externo que, por suas dimensões e geometria, funciona com as características de chaminé, permitindo o movimento ascensional do ar. Neste “vazio” entre os parâmetros interno e externo da edificação, ocorre transferência de calor por convecção, onde há um fluxo contínuo de substituição do ar quente por ar frio aspirado pelas aberturas inferiores, as venezianas. O benefício maior deste tipo de fachada está na redução de energia para a climatização de ambientes internos às edificações.

O crescente uso deste tipo de fachada deve-se à eficácia de sua função no desempenho e na qualidade das edificações. De modo geral, estas fachadas devem satisfazer pelo menos a algumas funções básicas que garantem a sua qualidade, como:

- boa compatibilidade estrutural;
- ótima resistência às intempéries (chuvas, ventos, agentes poluentes);
- boa resistência mecânica;
- isolamento térmico e acústico;
- bom desempenho quanto a permeabilidade ao vapor de água;
- aspecto estético compatível à concorrência.

O material utilizado como revestimento externo deve apresentar as seguintes características básicas:

- alta resistência mecânica;
- baixa absorção de água,
- resistência ao fogo e às intempéries;
- durabilidade e facilidade de manutenção, adequadas ao sistema.

Por isso, as placas cerâmicas foram utilizadas no sistema de fachadas ventiladas como material de revestimento; e também porque, além de apresentarem as propriedades

acima descritas, as placas cerâmicas apresentam uma excelente aparência estética, o que é de extrema importância em uma fachada.

No prédio da Engenharia Nova, na UFRGS, foi colocado um sistema de fachadas ventiladas desenvolvido pela Cerâmica Urussanga S.A. (CEUSA) em parceria com o LEME (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, da UFRGS), com o intuito de viabilizar o uso dos revestimentos cerâmicos da CEUSA em fachadas ventiladas.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo central:

- Estudo preliminar que visa comprovar a eficiência do sistema de fachadas ventiladas quanto ao isolamento térmico.

Para que isso fosse possível, foram desenvolvidos objetivos paralelos, como:

- Análise preliminar de todo o sistema que envolve as fachadas ventiladas, abrangendo suas características, funções e aplicações.
- Esclarecimento teórico dos fenômenos de transferência de calor: condução, convecção e radiação, os quais são responsáveis tanto pelo aquecimento indesejável como pelo isolamento requerido pelas fachadas. Além disso, é a transferência de calor por radiação que permite a utilização da técnica utilizada neste trabalho para a constatação do isolamento térmico.
- Conhecimento da termografia e comprovação da possibilidade de utilização desta avançada tecnologia em área ainda não explorada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATERIAIS CERÂMICOS

A fachada ventilada, objeto de estudo deste trabalho, tem como um de seus principais constituintes um revestimento cerâmico, o qual é responsável não apenas pela estética da fachada mas também pela proteção às intempéries. Devido a sua importância, como parte da fachada, os materiais cerâmicos serão melhor caracterizados:

Os cerâmicos são materiais inorgânicos, constituídos de elementos metálicos e não metálicos, e com ligações químicas primárias de caráter iônico-covalente estabelecidas entre seus átomos, as quais, por serem bastante fortes e direcionais, garantem aos materiais cerâmicos uma alta temperatura de fusão (com exceção da maioria dos vidros) e elevada dureza. A composição química desses materiais varia consideravelmente, desde simples componentes até misturas de várias fases complexas. [1]

Há uma grande diversidade nas propriedades dos materiais cerâmicos, devido as diferenças nas ligações químicas, na estrutura cristalina e na microestrutura. Em geral, classifica-se em cerâmicos tradicionais e de engenharia. Os primeiros utilizam matérias-primas como argila, sílica e feldspato, tendo aplicação em tijolos, azulejos e porcelanas. Já os cerâmicos de engenharia, ou cerâmicas avançadas, são constituídas de compostos puros ou praticamente puros, tais como alumina, carbeto de silício e nitreto de silício, cujo processo de fabricação exige parâmetros bem definidos e controlados. Os cerâmicos tradicionais, dependendo da cor que apresentam após a queima, podem ser classificados como cerâmica vermelha ou branca .

Algumas características que diferenciam os materiais cerâmicos das outras classes de materiais, como metais e polímeros são:

- Alto ponto de fusão;
- Módulo de elasticidade elevado;
- Dureza elevada;
- Alta resistência ao desgaste;

- Não magnéticos;
- Baixa dilatação térmica;
- Excelente resistência química;
- Não oxidáveis;
- Baixa condutividade térmica e elétrica: isolantes;
- Baixa resistência ao choque térmico;
- São frágeis.

As propriedades dos materiais cerâmicos variam muito, devido a estes possuírem diferentes estruturas cristalinas, microestrutura e acabamento superficial (ou macroestrutura).[2]

As principais etapas do processamento dos materiais cerâmicos incluem, de uma forma geral, a preparação das matérias-primas e da massa, a conformação, o processamento térmico e o acabamento.

Os materiais cerâmicos apresentam ampla aplicação na sociedade moderna. A Tabela 1 apresenta diversos ramos da indústria onde são estes materiais são empregados:

Tabela 1: Os segmentos industriais e a aplicação de cerâmicos [1]

SEGMENTO INDUSTRIAL	EXEMPLOS
Produtos argilosos	Tijolos, tubulações, telhas, lajotas (pisos e azulejos), revestimentos de chaminé.
Porcelana branca	Porcelana de mesa (louças), porcelanatos, grês, azulejos, porcelana sanitária, porcelana elétrica, porcelana dentária, cerâmicos de decoração e arte.
Refratários	Tijolos e produtos monolíticos são usados na indústria do ferro e aço, metais não ferrosos, vidros, cimentos, cerâmicos, conversão de energia, petrolífera e química.

Vidros	Vidros planos (janelas), containers (garrafas), vidros prensados e soprados (pratos, etc.), fibra de vidro (isolantes), e vidros avançados/especiais (fibra ótica).
Abrasivos	Naturais (granada, diamante, etc.), sintéticos (carbeto de silício, diamante, alumina fundida, etc.). Abrasivos são usados para moagem, corte, polimento, brunidura.
Cimentos	Concreto para estradas, pontes, edifícios, represas, etc.
Cerâmicos Avançados	
Estrutural	Peças para resistir ao desgaste, biocerâmicos, ferramentas de corte, componentes de motores.
Elétrica	Capacitores, isolantes, substratos, empacotamento de circuito integrado, piezoelétricos, magnéticos e supercondutores.
Revestimentos	Componentes de motores, instrumentos de corte, peças industriais de desgaste.
Química e ambiental	Filtros, membranas, catalisadores, suporte de catalisadores.

3.1.1 MATERIAIS CERÂMICOS DE REVESTIMENTO

Compreende aqueles materiais usados na construção civil para revestimentos de paredes, pisos e bancadas, tais como:

3.1.1.1 Azulejos

São constituídos por um corpo cerâmico de cor clara, recoberto em uma das faces por uma camada de vidrado com ou sem decoração . Segundo a ABNT, os azulejos estão classificados em lisos ou monocromáticos e decorados (os que apresentam duas ou mais cores). Com ou sem decoração, de modo geral, a absorção de água é ao redor de 18%, portanto um corpo bastante poroso e com baixa resistência mecânica .

3.1.1.2 Pisos, pastilhas e lajotas

De acordo com a ABNT, estão classificados em pisos cerâmicos vidrados, não vidrados, anti-derrapantes, pastilhas cerâmicas, peças de acabamento e lajotas coloniais.

Pisos cerâmicos não vidrados

- Impermeáveis: denominados comercialmente de grês, são aqueles cujo corpo cerâmico apresenta absorção de água de até 0,5%.
- Vítreos: também conhecidos comercialmente como semigrês, são aqueles cujo corpo cerâmico apresenta uma absorção de água entre 0,5 e 4,0%.
- Semivítreos:
 - Terracota - $4,0 < \text{absorção de água} < 7,9\%$
 - Cottoforte - $7,0 < \text{absorção de água} < 18\%$
- Não-vítreos: absorção de água $> 18\%$ [1]

Pisos cerâmicos vidrados

Também podem ser classificados em impermeáveis, vítreos, semivítreos,ou não-vítreos, possuindo ainda uma camada de vidrado sobre sua superfície.

Anti-derrapantes

Apresentam as mesmas características dos pisos anteriores, tendo ainda em sua superfície de uso propriedades anti-derrapantes devido a presença de partículas abrasivas, algum tipo de saliência ou sulcos ou ainda aspereza natural.

Pastilhas cerâmicas

Também conhecidas como mosaico, com as mesmas características dos pisos cerâmicos vidrados e não-vidrados; são empregadas para o revestimento de paredes.

Peças de acabamento

Frisos e cantoneiras são fabricados com formatos e dimensões variáveis para assegurar a estética e funcionalidade do revestimento .

Lajotas coloniais

Revestimento cerâmico que apresenta a cor vermelha .

3.2 FACHADAS VENTILADAS

As fachadas ventiladas têm aplicação em qualquer tipo de edificação, seja ela construída em concreto armado, aço ou alvenaria .

O sistema CEUSA/LEME contempla, inicialmente, a utilização deste tipo de fachada em superfícies planas. Esse sistema foi desenvolvido, também, para ser utilizado em prédios com até trinta e cinco andares, levando-se sempre em consideração as cargas atuantes na edificação, principalmente a ação dos ventos.

Em comparação com as fachadas convencionais, onde os revestimentos (cerâmicos, pedras naturais) são fixados diretamente no parâmetro portante, as fachadas apresentam as seguintes vantagens[3]:

- são eliminados, no parâmetro exterior, fissuras e descolamentos devido às solicitações térmicas e estruturais, devido às juntas abertas entre os componentes da fachada;
- facilidades de manutenção e recuperação;
- proteção adequada da estrutura portante;
- facilidade de evaporação e transporte da água, tanto na forma líquida como em forma de vapor, pelo “efeito chaminé”;
- maior reflexão dos raios solares e ruídos devido a utilização de placas cerâmicas de revestimento;

- isolamento acústico e térmico devido a camada de ar existente entre os parâmetros interno e externo;
- o sistema proporciona o uso de outros tipos de materiais isolantes no espaço vazio entre os parâmetros, como chapas de isopor e lã de vidro. Garantindo também a vedação de ruídos externos e a climatização moderada do ambiente interno;
- permite a utilização parcial do espaçamento entre os parâmetros para alojar instalações elétricas, hidráulicas e hidro-sanitárias;
- fácil acesso a essas instalações, para recuperação e substituição.

As juntas abertas entre as placas cerâmicas constituem-se em juntas de dilatação, que garantem a movimentação térmica da fachada, bem como deformações da estrutura portante. As juntas abertas permitem a entrada da água das chuvas, que, impulsionada pelo vento, é devidamente escoada sem umedecer a parede da edificação, que permanece constantemente seca.

O sistema de fachadas ventiladas é constituído dos seguintes componentes, os quais garantem a eficácia do sistema [3]:

- A ESTRUTURA PORTANTE DE ANCORAGEM, ou parâmetro interno, corresponde a uma estrutura de concreto, de alvenaria convenientemente dimensionada, de aço, entre outros; trata-se de uma estrutura de ancoragem do parâmetro externo. As diferentes deformações que cada material apresenta, devem ser levadas em consideração no projeto da fachada ventilada.
- A CAMADA DE AR, localizada entre os parâmetros interno e externo, apresenta uma largura entre 50 e 100 mm. O dimensionamento deste espaço leva em conta os princípios da movimentação do ar pelo efeito chaminé (tiragem pela ascensão do ar aquecido) e as necessidades da estrutura portante do revestimento.
- A ESTRUTURA DA FACHADA VENTILADA, ou parâmetro externo, deve permitir a absorção das tensões devido às dilatações térmicas,

higrométricas, choques térmicos, impactos, incidência de ventos, entre outros. A estrutura da fachada ventilada caracteriza o sistema e deve apresentar todos os recursos e atender a todas as necessidades de detalhes de fachadas, tais como cantos, recortes, balanços, etc.

A figura 1[4] permite a visualização desses três componentes.

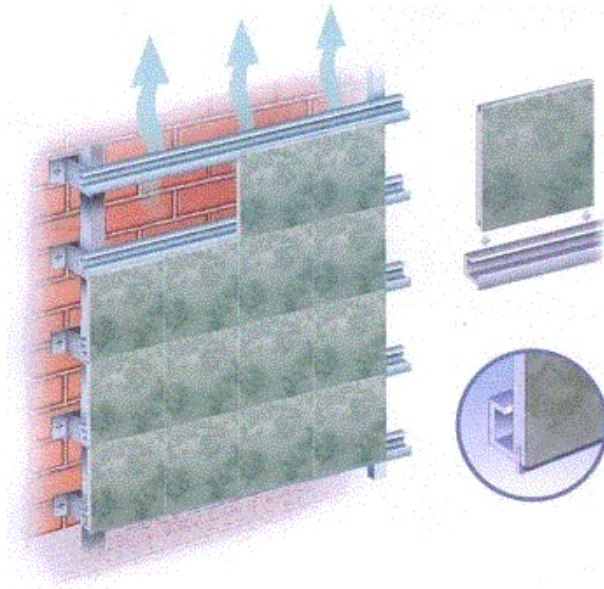


Figura 1: fachada ventilada

Foram desenvolvidos dois sistemas de fixação do parâmetro externo ao interno, que são:

- Sistema colado: as placas cerâmicas, esmaltadas e com dimensões retangulares, são fixadas na estrutura de suporte através de “inserts” colados à placa.
- Sistema encaixe: utiliza para o revestimento, placas cerâmicas esmaltadas e/ou polidas com dimensões quadradas, com ranhuras nas bordas produzidas durante o processo de fabricação (também designado como retificação), que são encaixadas em perfis horizontais metálicos de alumínio.

As fachadas ventiladas desenvolvidas pela CEUSA/LEME empregam o sistema encaixe de fixação.

Sistema Encaixe

Neste sistema, o parâmetro externo é composto pelos seguintes elementos [4]:

- Perfis verticais, de alumínio, os quais funcionam como elementos de ancoragem da estrutura do parâmetro externo na estrutura portante da edificação, dispostos em espaços pré-determinados.
- Perfis horizontais, também de alumínio, com seção transversal em L que fixam as placas cerâmicas do revestimento através das suas ranhuras;
- Placas cerâmicas do tipo piso.

3.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Como as fachadas ventiladas têm como principal objetivo o isolamento térmico, o qual é possível graças a um sistema de convecção estabelecido no espaço vazio característico ao sistema, e como a estrutura como um todo sofre o aquecimento inevitável por condução, este estudo dedica-se também aos fenômenos de transferência de calor.

A energia transferida pelo fluxo de calor não pode ser medida diretamente, mas está relacionada com a temperatura, que é uma grandeza física mensurável. Quando há uma diferença de temperatura em um sistema, o calor flui da região de alta temperatura para a de baixa temperatura. Sempre que há um gradiente de temperatura no sistema ocorre fluxo de calor, que é a quantidade de calor transferido por unidade de área por unidade de tempo.

Quando o gradiente de temperatura ocorre em um meio estacionário, sólido ou fluido, a transferência de calor através do meio denomina-se de condução. Trata-se de convecção quando a transferência de calor ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento, sendo que estes devem estar em temperaturas diferentes. O terceiro modo de transferência de calor é conhecido por radiação térmica, que utiliza o princípio de que todos os corpos emitem continuamente energia na forma de ondas eletromagnéticas, em virtude da sua temperatura.

3.3.1 Condução

A condução pode ser vista como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas de menor energia em um meio, devido ao movimento cinético ou pelo impacto direto de moléculas, no caso de fluidos em repouso, e pelo movimento de elétrons, no caso de metais. As temperaturas mais altas estão associadas a energias moleculares mais altas. Na presença de um gradiente de temperatura, a transferência de energia por condução ocorre, portanto, no sentido da diminuição de temperatura. Essa transferência líquida de energia pode também ser chamada de difusão de energia.

Nos sólidos, a condução pode ser atribuída à atividade atômica na forma de vibrações dos retículos. Atualmente, a transferência de energia é associada a ondas na estrutura de retículos induzidas pelo movimento atômico. Em material não-condutor, a transferência de energia se dá exclusivamente através dessas ondas; em um condutor, a transferência se dá também através do movimento de elétrons livres.[5]

Há muitos exemplos de transferência de calor por condução, como a ponta exposta de uma colher de metal que quando imersa em uma xícara de café quente irá se aquecer devido à condução de energia através da colher; em um dia de frio há uma perda significativa de energia de uma sala quente para o ar exterior. Essa perda ocorre devido a transferência de calor por condução através das paredes que separam o ar da sala do ar exterior.

Para quantificar os processos de transferência de calor, são utilizadas equações apropriadas para calcular a quantidade de energia transferida por unidade de tempo. Para a condução de calor, a equação da taxa de transferência de calor é conhecida por lei de Fourier. A lei de Fourier é empírica, ou seja, foi desenvolvida a partir de evidências experimentais; esta lei estabelece que a taxa de fluxo de calor por condução, em uma dada direção, é proporcional à área normal à direção do fluxo e ao gradiente de temperatura naquela direção.

Para uma parede plana unidimensional, com o fluxo de calor na direção x , a equação da taxa de transferência de calor é dada por:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

O fluxo de energia q_x'' (W/m²) é a taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular à direção da transferência, sendo proporcional ao gradiente de temperatura, dT/dx, nesta direção. A constante de proporcionalidade k é a chamada condutividade térmica (W/m.K), que é uma característica do material da parede e trata-se de uma grandeza positiva. O sinal negativo é porque o calor é transferido no sentido da diminuição de temperatura. Em condições de estado estacionário, onde a distribuição da temperatura é linear, o gradiente de temperatura pode ser expresso como:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

e o fluxo de calor é portanto

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3)$$

ou

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (4)$$

Esta equação fornece a taxa de transferência de calor por condução, q(x) (W), através de uma parede plana de área A, que é portanto o produto do fluxo de calor pela área da parede, $q_x = q_x'' \cdot A$.

3.3.2 Convecção

O modo de transferência de calor por convecção abrange os mecanismos de transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório (difusão), e pela transferência de energia entre uma superfície e um fluido em movimento sobre esta superfície. Esse movimento do fluido está associado ao fato de que, em um instante qualquer, um grande número de moléculas está se movendo coletivamente ou como agregados de moléculas. Tal movimento, na presença de um gradiente de temperatura, contribui para a transferência de calor. Uma vez que as moléculas nos agregados moleculares mantêm seus movimentos aleatórios, a transferência total de calor é então composta pela superposição do transporte de energia devido ao movimento aleatório das moléculas com o transporte devido ao movimento global do fluido. [5]

Uma situação de grande interesse para este estudo é a transferência de calor por convecção que ocorre no contato entre um fluido em movimento e uma superfície, quando os dois se encontram a temperaturas diferentes. Por exemplo, uma placa suspensa verticalmente no ar frio parado provoca o movimento da camada de ar adjacente à superfície da placa, pois o gradiente de temperatura no ar provoca um gradiente de densidade que, por sua vez, ocasiona o movimento do ar.

A transferência de calor por convecção pode ser classificada de acordo com a natureza do escoamento do fluido, trata-se de convecção forçada quando o movimento do fluido é causado por meios externos, tais como ventilador, uma bomba, ou os ventos atmosféricos. No caso da convecção livre (ou natural), o escoamento do fluido é induzido por forças de empuxo, que são originadas a partir de diferenças de densidade causadas por variações de temperatura no fluido.

Tipicamente, a energia que está sendo transferida por convecção é uma energia sensível, ou térmica interna do fluido. Entretanto, existe convecção também na troca de calor latente. Essa troca de calor latente é geralmente associada com uma mudança de fase entre os estados líquido e vapor do fluido, por exemplo, há transferência de calor por convecção resultante da movimentação induzida pelas bolhas geradas no fundo de uma panela contendo água em ebulição.[5]

Como o campo de temperaturas no fluido é influenciado pelo movimento do fluido,

a determinação da distribuição de temperatura e a transferência de calor por convecção, na prática é bastante complicado. Nas aplicações da engenharia, para simplificar os cálculos da transferência de calor entre uma superfície quente a T_{sup} e um fluido que está em movimento sobre ela a uma temperatura T_{∞} , define-se uma equação apropriada :

$$q'' = h(T_{\text{sup}} - T_{\infty}) \quad (5)$$

onde q'' representa o fluxo de calor por convecção (W/m^2) da parede quente para o fluido frio. O fluxo de calor por convecção é considerado positivo se o calor é transferido a partir da superfície ($T_{\text{sup}} > T_{\infty}$), e negativo se o calor é transferido para a superfície ($T_{\infty} > T_{\text{sup}}$). Contudo, se $T_{\infty} > T_{\text{sup}}$, a lei do resfriamento de Newton pode ser assim representada:

$$q'' = h(T_{\infty} - T_{\text{sup}}) \quad (6)$$

no caso onde o fluxo de transferência de calor é positivo se ocorrer no sentido da superfície. A constante h ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) é chamada de coeficiente de transferência de calor por convecção, ela depende das condições na camada limite, as quais, por sua vez, são influenciadas pela geometria da superfície, pela natureza do escoamento do fluido e por uma série de propriedades termodinâmicas e de transporte do fluido.

O estudo da convecção se reduz, praticamente, a um estudo de procedimentos pelos quais o valor de h pode ser determinado. O coeficiente de transferência de calor pode ser determinado analiticamente nos corpos de geometria simples, como uma placa lisa, ou o interior de um tubo circular. No escoamento sobre corpos com configuração complexas, utiliza-se o método experimental para determinar h . A transferência de calor por convecção surge freqüentemente como uma condição de contorno na solução de problemas envolvendo a transferência de calor por condução, nos quais, o valor do h é considerado conhecido, podendo-se utilizar valores típicos, dados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores Típicos para o Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção [5]

Processo	h (W/m ² .K)
Convecção natural (livre)	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convecção forçada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20000
Convecção com mudança de fase	
Ebulição ou condensação	2500-100000

3.3.3 Radiação

A radiação térmica é a energia emitida continuamente por todo corpo que se encontre a uma temperatura não-nula. Essa energia é transmitida no espaço na forma de ondas eletromagnéticas ou fótons. A radiação, que se origina no interior do corpo é transmitida através da superfície; já a radiação incidente na superfície de um corpo penetra até as profundezas do meio, onde é atenuada.[6]

Enquanto a transferência de energia por condução ou convecção requer a presença de um meio material, a radiação não. Somente no vácuo que a radiação se propaga absolutamente sem nenhuma atenuação. Entretanto, o ar atmosférico de uma sala, para todas as finalidades práticas, é considerado transparente à radiação térmica, já que a atenuação da radiação pelo ar é insignificante.

O fluxo máximo de radiação emitido por um corpo à temperatura T é dado pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$E_n = \sigma T_{\text{sup}}^4 \quad (7)$$

onde T_{sup} é a temperatura absoluta (K) da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) e E_n é a emitância do corpo negro, ou radiador ideal, que é uma

superfície que emite o limite definido pela equação 7.

O fluxo de radiação emitido por um corpo real, a mesma temperatura, é sempre menor do que a emitância do corpo negro, e é dado por:

$$E = \varepsilon \sigma T_{\text{sup}}^4 \quad (8)$$

onde a emissividade, ε , tem valores na faixa de $0 \leq \varepsilon \leq 1$ e E representa a capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação ao corpo negro. Esta propriedade depende do material, da superfície e do acabamento.

O fluxo de radiação que incide em um corpo negro é completamente absorvido por ele, já quando o fluxo incide sobre um corpo real há uma absorção de energia pelo corpo, dada por:

$$G_{\text{abs}} = \alpha G \quad (9)$$

onde α é a absortividade, e representa a taxa segundo a qual a energia radiante é absorvida por unidade de área da superfície e seus valores estão compreendidos entre zero e a unidade; em todos os corpos reais, α é sempre menor que a unidade. O valor de α depende da natureza da irradiação e da superfície propriamente dita. Assim, a absortividade de uma superfície para a radiação solar pode diferir de sua absortividade para a radiação emitida pelas paredes de um forno.[5]

A absortividade α de um corpo geralmente é diferente de sua emissividade ε , mas para muitas aplicações práticas, para simplificar a análise, admite-se ser α igual a ε .

Quando há o encontro de dois corpos com diferentes temperaturas, ocorre entre eles uma permuta de calor por radiação; caso o meio intermediário seja preenchido por uma substância transparente à radiação, como o ar, a radiação emitida por um dos corpos atravessa o meio sem nenhuma atenuação atingindo o outro corpo, e vice-versa. Dessa maneira, o corpo quente sofre uma perda de calor e o frio, um ganho de calor, devido a permuta da radiação térmica.

.3.3.3.1 Radiação infravermelha

A radiação infravermelha é uma radiação eletromagnética com comprimentos de onda longos e, por isso, localizada na parte invisível do espectro eletromagnético.

As moléculas de um corpo, a uma temperatura superior à zero absoluto, radiam no infravermelho. Os corpos quentes, como aquecedores elétricos e carvão em brasa, emitem abundantemente radiações infravermelhas; os animais de sangue quente, como os seres humanos, também emitem essa radiação. [7]

As radiações infravermelhas não são percebidas pelo olho humano mas alguns animais como, os mosquitos e algumas serpentes conseguem detectá-las.

Existem películas sensíveis a estas radiações, as quais são utilizadas para fotografar objetos no escuro. Com o termógrafo, um equipamento sofisticado, é possível ver a radiação infravermelha transformada em imagens visíveis.

A figura 2 [8] mostra um espectro eletromagnético, onde é possível observar que a radiação infravermelha localiza-se entre as regiões do visível e a de microondas.

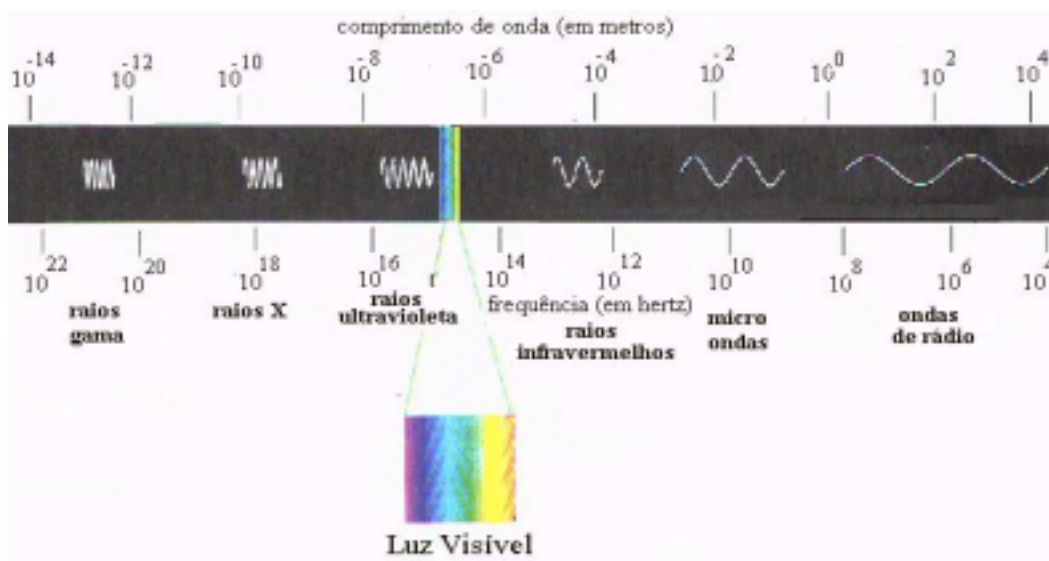


Figura 2: espectro eletromagnético

3.4 TERMOGRAFIA

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha, que é emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura, permitindo identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão pré-estabelecido, constituindo-se, assim, em uma poderosa ferramenta no diagnóstico de falhas ou problemas no sistema inspecionado.

Esta técnica foi desenvolvida, inicialmente, para fins militares, na primeira metade do Século XX; a partir da década de 60, a termografia foi aplicada na área industrial acompanhando a evolução da manutenção, mas sua utilização limitava-se a casos específicos devido ao alto custo. [9]

Atualmente são utilizados equipamentos de alta precisão e dimensões reduzidas, são as termocâmeras, que são câmeras sensíveis à radiação infravermelha; permitindo, assim, ao operador efetuar medições de temperatura de processo, sem qualquer contato físico com os equipamentos à serem inspecionados. Processo esse no qual a temperatura desempenha papel de variável relevante nos diagnósticos de falha. Para a obtenção de diagnósticos bastante precisos, é necessário que o operador esteja familiarizado com os conceitos básicos de imagem infravermelha.

Os resultados obtidos com os termógrafos são apresentados instantaneamente, durante a inspeção, na forma de imagens térmicas ou termogramas, com o auxílio de um software adequado à técnica da termografia.. Os termogramas representam as temperaturas dos corpos na forma de cores, e como a imagem obtida com o termógrafo é provida de uma escala que correlaciona cor e temperatura, é possível a obtenção de resultados esclarecedores quanto a problemas ligados direta ou indiretamente à temperatura. Com estas imagens, também é possível obter-se a temperatura em um ponto ou área do objeto analisado.

A termografia está fundamentada na manutenção preventiva e preditiva em diversos segmentos, tais como: indústrias metalúrgicas, químicas, têxteis, siderúrgicas, de plásticos,

de cimento, petroquímicas, de papel, entre outras. Com o desenvolvimento tecnológico, cada vez mais as técnicas preditivas serão utilizadas na manutenção dos equipamentos e processos produtivos industriais como um dos fatores de aumento da produtividade. A utilização da termografia não se restringe apenas ao setor industrial, trata-se de uma tecnologia moderna que pode ser aplicada às mais diversificadas áreas, como na medicina e no setor elétrico.[10]

3.4.1 Área Industrial

Os equipamentos mecânicos sujeitos a atrito, como mancais ou transmissões, ou sujeitos a trocas de calor, como revestimentos refratários internos ou externos, podem ser inspecionados para averiguação de pontos de fuga de calor pela termografia, sem nenhum tipo de contato com o equipamento.

A termografia é uma excelente maneira de localizar problemas antes que eles custem muito caro para a indústria.

Os principais benefícios do uso da termografia no setor industrial são:

- Localização de problemas em potencial, prevenindo falhas nos sistemas elétricos e térmicos ;
- Redução da quantidade de paradas para manutenção ou reparos emergenciais;
- Diminuição do número de homens e de horas gastas em manutenções, por localizar com exatidão as áreas que necessitam de intervenção;
- Redução ou até eliminação de atuações de reparos em áreas desnecessárias;
- Aumento da vida útil do sistema;
- Redução de custos operacionais;
- Aumento da qualidade do produto ou serviço fornecido;

- Prevenção de acidentes, lesões pessoais e danos ao patrimônio da empresa;
- Redução dos riscos de incêndio devido a falhas em equipamentos ou instalações.

Alguns itens que podem ser inspecionados pela termografia são: caldeiras, refratários, fornos, fornos de cimento, rolamentos, trocadores de calor, isolamento em câmaras frigoríficas, fugas em compressores e caldeiras, mancais, cilindros de esteira de transporte, vasos separadores, corrosão em tubulações. Na injeção de plásticos também pode ser utilizada esta técnica para avaliar a circulação de água gelada em moldes, filmes plásticos, perfis em peças injetadas ou extrudadas, trocas térmicas, entre outras aplicações.[11]

3.4.2 Área elétrica

Atualmente, a eletricidade exerce uma influência muito grande na sociedade, e a sua falta é sinônimo de prejuízo. Um simples parafuso pode parar uma fábrica gigantesca, se quebrar em um conector na entrada de alta tensão. Sem a termografia, muitas vezes é impossível detectar uma falha a tempo.

No setor elétrico, a termografia detecta componentes aquecidos em toda rede de energia elétrica (linha de transmissão, subestações de alta tensão, painéis elétricos média e baixa tensão, etc.). Esse aquecimento poderá ser devido a um mau contato, oxidação, desgaste ou mesmo sobrecarga de circuito. A não detecção antecipada desses problemas poderá resultar numa interrupção do processo produtivo e conseqüentemente ônus a produção.

Todos os equipamentos elétricos sob carga devem apresentar algum tipo de aquecimento. A carga é um fator gerador de calor normal em qualquer instalação elétrica, apenas os equipamentos tipo colunas de isoladores, pára-raios, buchas de transformadores, as muflas (mais raramente), devem ter perfis térmicos “frios” como sinônimo de normalidade. [12]

No entanto, os outros equipamentos devem aquecer de acordo com o projeto, características construtivas e carga no instante da inspeção. Alguns tipos de aquecimento serão normais e outros não. Às vezes, uma temperatura alta não significa um defeito e, em

outros casos, apenas um grau centígrado pode condenar um equipamento. Por isso é necessário um conhecimento amplo do projeto, por parte do inspetor, para que os resultados sejam confiáveis.

Alguns itens que podem ser inspecionados pela termografia são: barramentos, muflas, transformadores, disjuntores, cadeias de isoladores, isoladores de pedestal, cruzetas, chaves fusíveis, chaves a óleo, cabos isolados, pára-raios, entre outros. A figura 2 mostra um termograma de um conector de transformador de corrente com mau contato, o que pode ser percebido pelas cores amarela e vermelha. Esse problema pode causar fusão ou rompimento do conector/cabo, com parada geral da fábrica.[11]

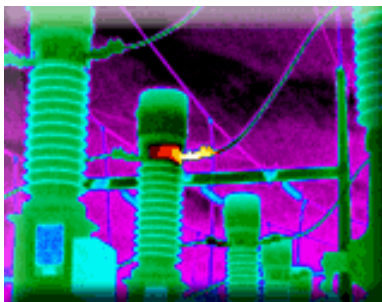


Figura 3: termograma de um conector de transformador [11]

3.4.3 Área médica e veterinária

Todo organismo vivo, que tem que manter sua temperatura em relação ao meio ambiente, consome energia e irradia uma parte dela. Assim sendo, a termografia pode avaliar de uma forma segura o calor irradiado pela superfície de qualquer organismo vivo.

Os termogramas obtidos permitem a localização de uma gama de processos inflamatórios e outras patologias. O problema pode ser detectado sem o contato físico com o paciente ou animal, evitando cirurgias desnecessárias por erro de diagnóstico, utilização de anestesia e sem incômodo ou dor.

A odontologia também pode utilizar-se da termografia para detectar processos inflamatórios na cavidade bucal.

A figura 3. [11] mostra um termograma de uma pessoa com lesão por esforço

repetitivo em dorso e bursite em ombro direito, que podem ser detectados através das cores vermelha e amarela:

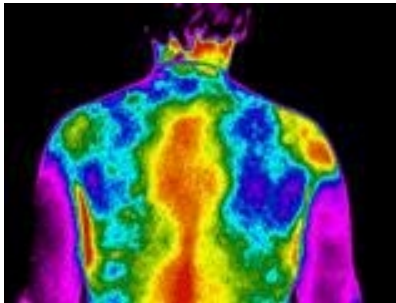


Figura 4: termograma de uma pessoa com lesão por esforço repetitivo e bursite

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

O material de revestimento utilizado pelo sistema de fachadas ventiladas do projeto CEUSA/LEME é uma placa cerâmica da linha de produtos da CEUSA para aplicação em pisos e paredes, com ranhuras nas bordas para adequar-se ao sistema. Trata-se de um piso cerâmico vidrado cuja classificação de acordo com a absorção de água, como descrito anteriormente, pode denominá-lo como semigrês (vítreo) ou ainda como semivítreo terracota.

As placas cerâmicas do sistema de fachadas ventiladas CEUSA/LEME apresentam as seguintes características:

- Sistema encaixe de fixação;
- Resistência química: GA (produto esmaltado resistente a produtos químicos de uso doméstico e de tratamento de piscina);
- Resistência a manchas (limpabilidade): 5 (as manchas podem ser removidas apenas com água quente).
- Absorção de água: 3 a 6 %.
- Coeficiente de atrito dinâmico: < 0,4
- Porosidade superficial: < 1%
- Expansão por umidade: < 0,05 mm/m. [3]

Segundo a norma NBR 13818: “Placas cerâmicas para revestimento: especificações e métodos de ensaios”. [13]

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Termografia

Para a obtenção das imagens termográficas foi utilizado um termógrafo marca AGEMA, modelo Thermovision 550, com sensibilidade de 0,1°C .

Os experimentos foram realizados em uma parede do prédio da Engenharia Nova da

UFRGS, na lateral externa do LEME (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais), onde foi adaptado um sistema de fachada ventilada, como mostram as figuras 5 e 6. Na figura 5 aparece toda a fachada, a qual apresenta o lado direito ainda em fase de acabamento. A figura 6 mostra o lado esquerdo da fachada, já concluído, que foi a parte do sistema de fachada ventilada utilizada na realização dos experimentos deste trabalho.



Figura 5: Sistema de fachada ventilada na parede lateral da Engenharia Nova na UFRGS.



Figura 6: Parte da fachada ventilada utilizada nos experimentos deste trabalho.

A Figura 7 apresenta um diagrama esquemático da fachada ventilada, onde foram realizadas as medidas de temperatura com o termógrafo. A numeração utilizada, representando a posição das placas cerâmicas, será utilizada para facilitar a identificação dos termogramas.

1;7	2;7	3;7	4;7	5;7
1;6	2;6	3;6	4;6	5;6
1;5	2;5	3;5	4;5	5;5
1;4	2;4	3;4	4;4	5;4
1;3	2;3	3;3	4;3	5;3
1;2	2;2	3;2	4;2	5;2
1;1	2;1	3;1	4;1	5;1

Figura 7: Diagrama esquemático da fachada ventilada.

O termógrafo foi operado a uma distância de cerca de 3m da fachada, sendo esta a distância focal, obtida experimentalmente. O ângulo máximo de posicionamento do termógrafo em relação à horizontal foi de 64° , como mostra a Figura 8, acatando sugestão do fabricante.

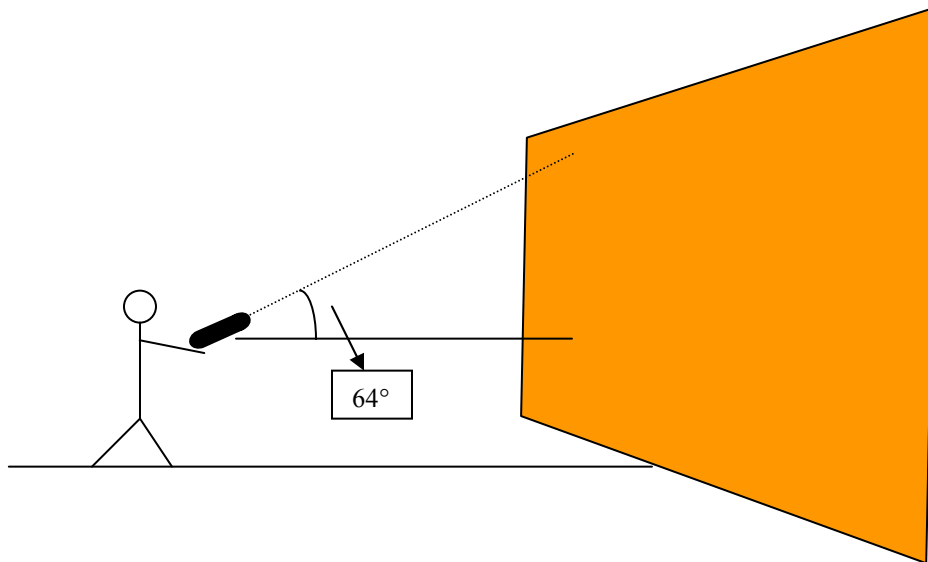


Figura 8: Desenho esquemático representando o ângulo máximo de operação do termógrafo.

Para a realização dos ensaios, foi necessária a informação de alguns dados ao termógrafo, como:

- Emissividade do material: 0,94 para a parede externa (material cerâmico) e 0,87 para a parede interna (alvenaria). Esses valores foram obtidos por tabelas do operador do termógrafo.
- Distância focal: 3 metros.
- Temperatura ambiente: 25°C
- Umidade relativa do ar: “50%”
- Temperatura de referência: 24°C . Esta temperatura foi escolhida como parâmetro de comparação, ou seja, praticamente a temperatura ambiente. Este dado é para situar o termógrafo quanto ao que é quente, pois dependendo da aplicação 50°C não

representa excesso de calor.

O termógrafo permite apenas a visualização das imagens obtidas nos ensaios, para a obtenção das mesmas como arquivos em formato “jpg”, é necessário que as imagens sejam transferidas da câmera infravermelho para um computador onde esteja instalado o software adequado. O software utilizado neste trabalho foi o IR Win. Este software permite que os termogramas sejam então analisados: pode-se obter a temperatura de qualquer ponto ou área da imagem; é possível também o ajuste da legenda de cores, variando o intervalo de temperatura, permitindo assim uma visualização mais nítida das diferenças de temperatura.

Foram realizadas duas baterias de ensaios para a obtenção de imagens térmicas, com o termógrafo, da parte interna e externa da fachada ventilada: uma ocorreu às 14 horas e outra às 15 h.

5. RESULTADOS

5.1. Primeira bateria de termogramas (14h)

A Figura 9 mostra um termograma obtido da placa cerâmica que está na posição (1;5) e a Figura 10 mostra o termograma da parede interna em posição correspondente. As posições são de acordo com o diagrama esquemático da Figura 7.

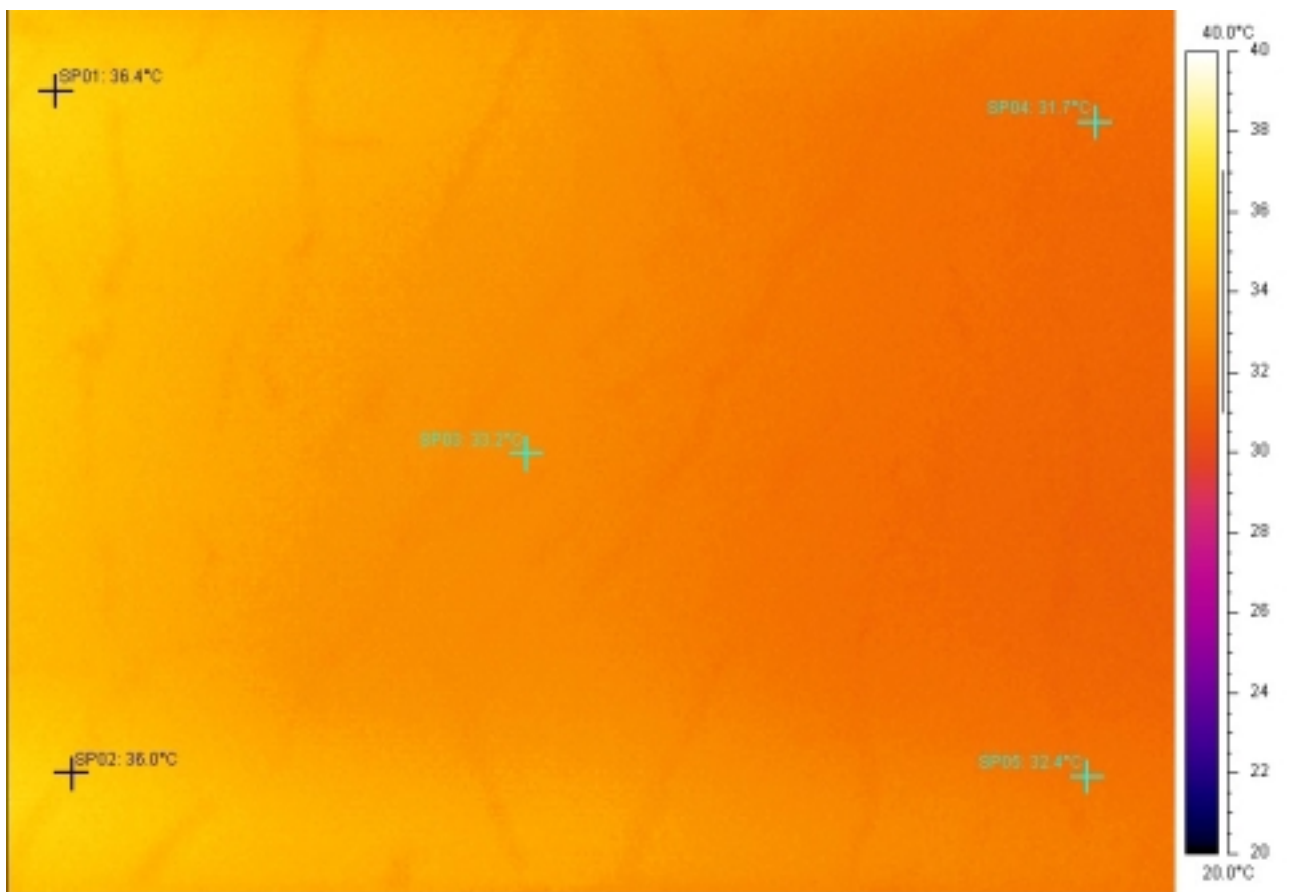


Figura 9: Termograma da placa cerâmica que ocupa a posição (1;5)

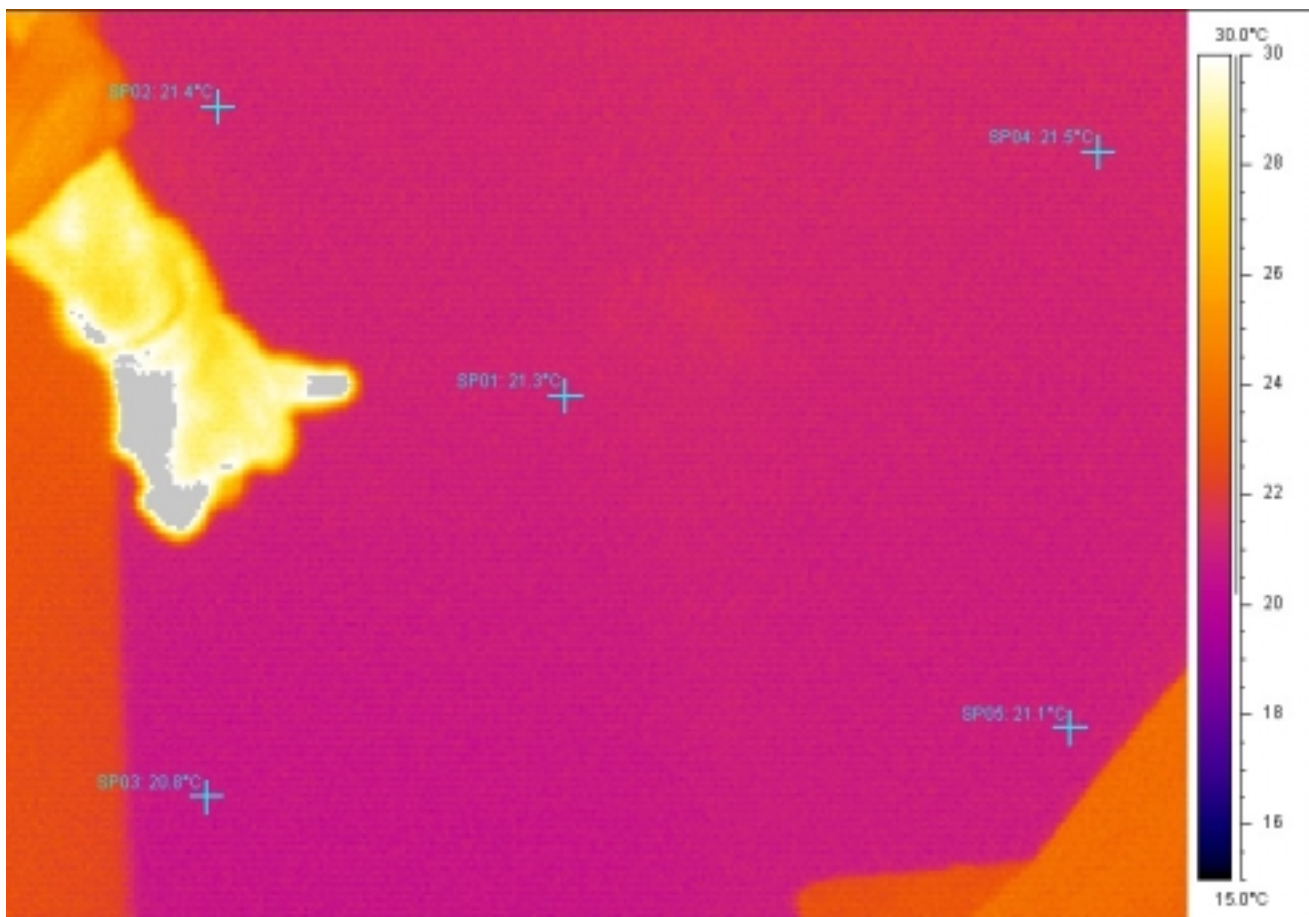


Figura 10: Termograma da parede interna na posição correspondente a placa (1;5).

A posição (1;5) da fachada estava pegando sol quando as medidas foram realizadas, por isso a parede externa encontrava-se a uma temperatura elevada, apresentando uma média de aproximadamente 34°C; já a parede interna apresentava uma média de 21°C, mostrando um alto gradiente de temperatura da parede externa para a interna. No termograma da parede interna, da Figura 10, as cores claras que aparecem na imagem são de uma mão (para ajudar no ajuste do foco do equipamento) e de um pórtico que se encontra próximo a parede e não pode ser retirado. É possível observar também, principalmente no termograma da parede externa, que as temperaturas são maiores quanto mais a esquerda se estiver medindo, isto acontece porque o deslocamento do sol ocorre de maneira que a sombra vai tomando lugar da direita para a esquerda, sobre a fachada.

As Figuras 11 e 12 mostram respectivamente a parede externa e interna na posição

(3;5) da fachada ventilada. Esta posição tem menor incidência de sol que a (1;5), assim sendo a temperatura na parede externa é um pouco mais baixa; já na parede interna, quanto mais à direita da fachada, mais a parede sofre as influências da temperatura externa devido a existência de uma porta, a qual pode ser vista na Figura 5, que fica logo ao lado da parte analisada da fachada ventilada, a abertura freqüente desta porta atrapalha o sistema de isolamento térmico.

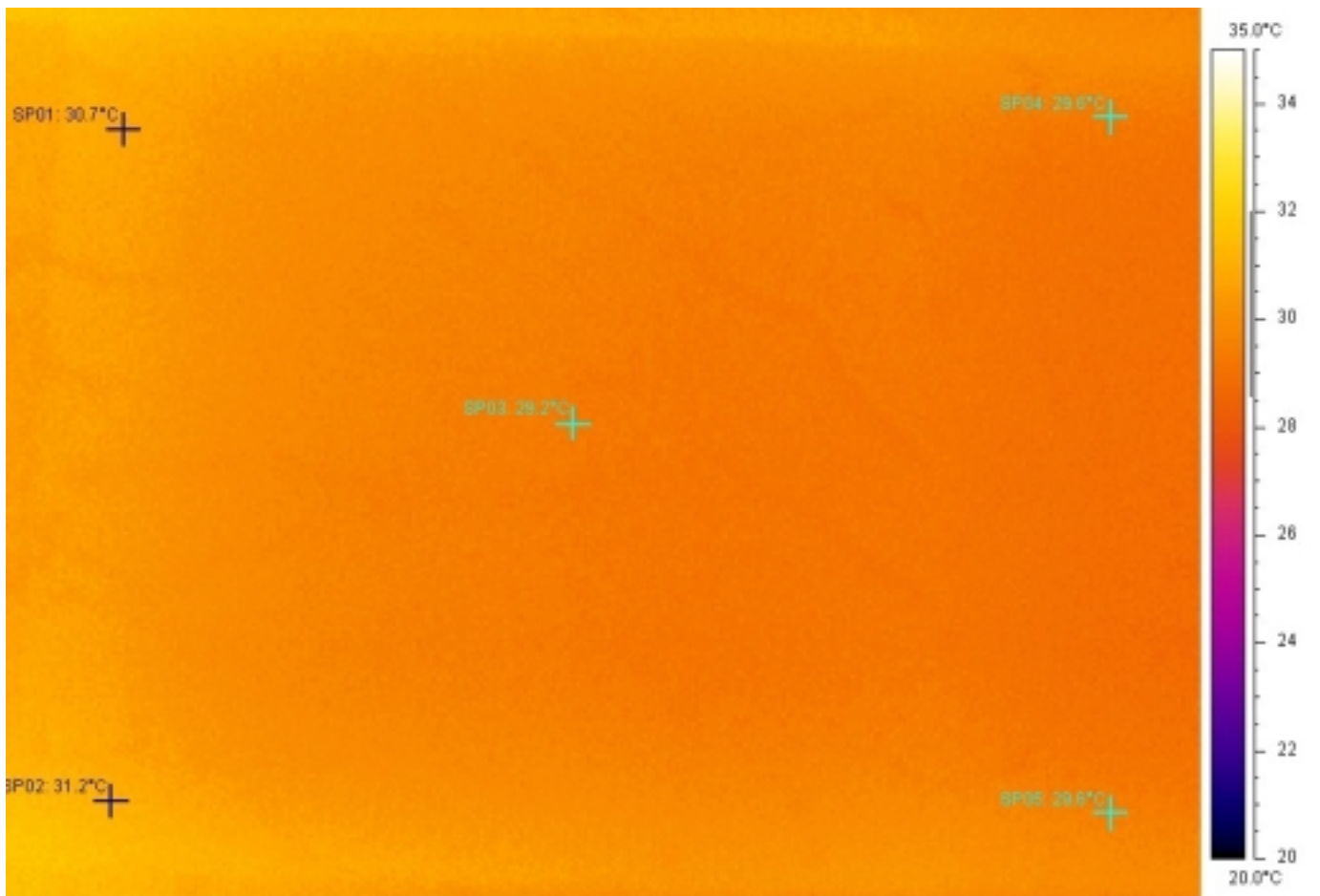


Figura 11: Termograma da placa cerâmica que ocupa a posição (3;5) na parede externa da fachada ventilada.

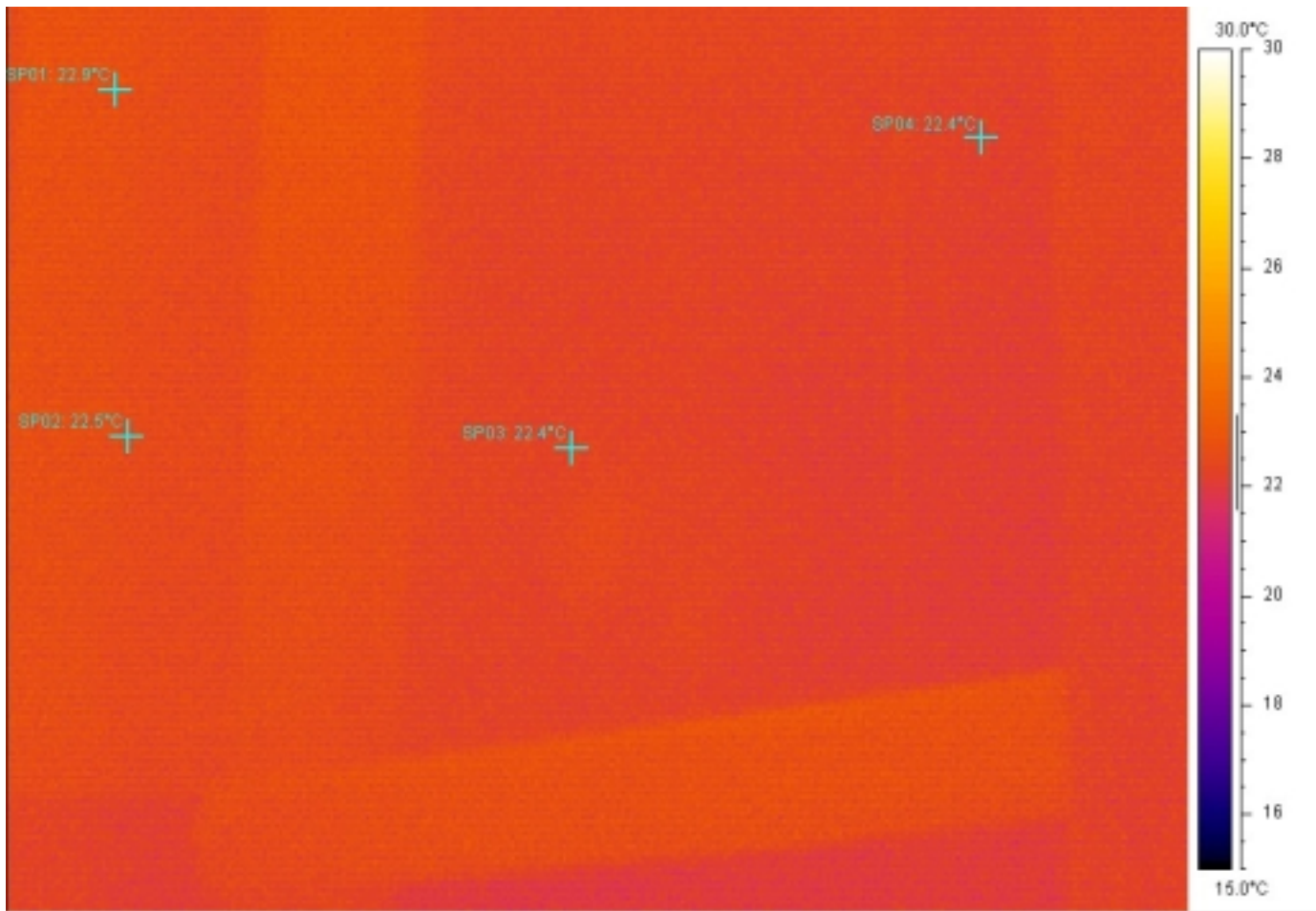


Figura 12: Termograma da parede interna da fachada ventilada com posição correspondente a (3;5).

As Figuras 13 e 14 apresentam os termogramas da parede externa e interna, respectivamente; cuja posição é (1;7). Esta posição encontra-se na extrema esquerda superior da fachada ventilada, assim sendo, apresenta a maior incidência solar e por isso temperaturas superiores.



Figura 13: Termograma da placa cerâmica da parede externa da fachada localizada na posição (1;7)

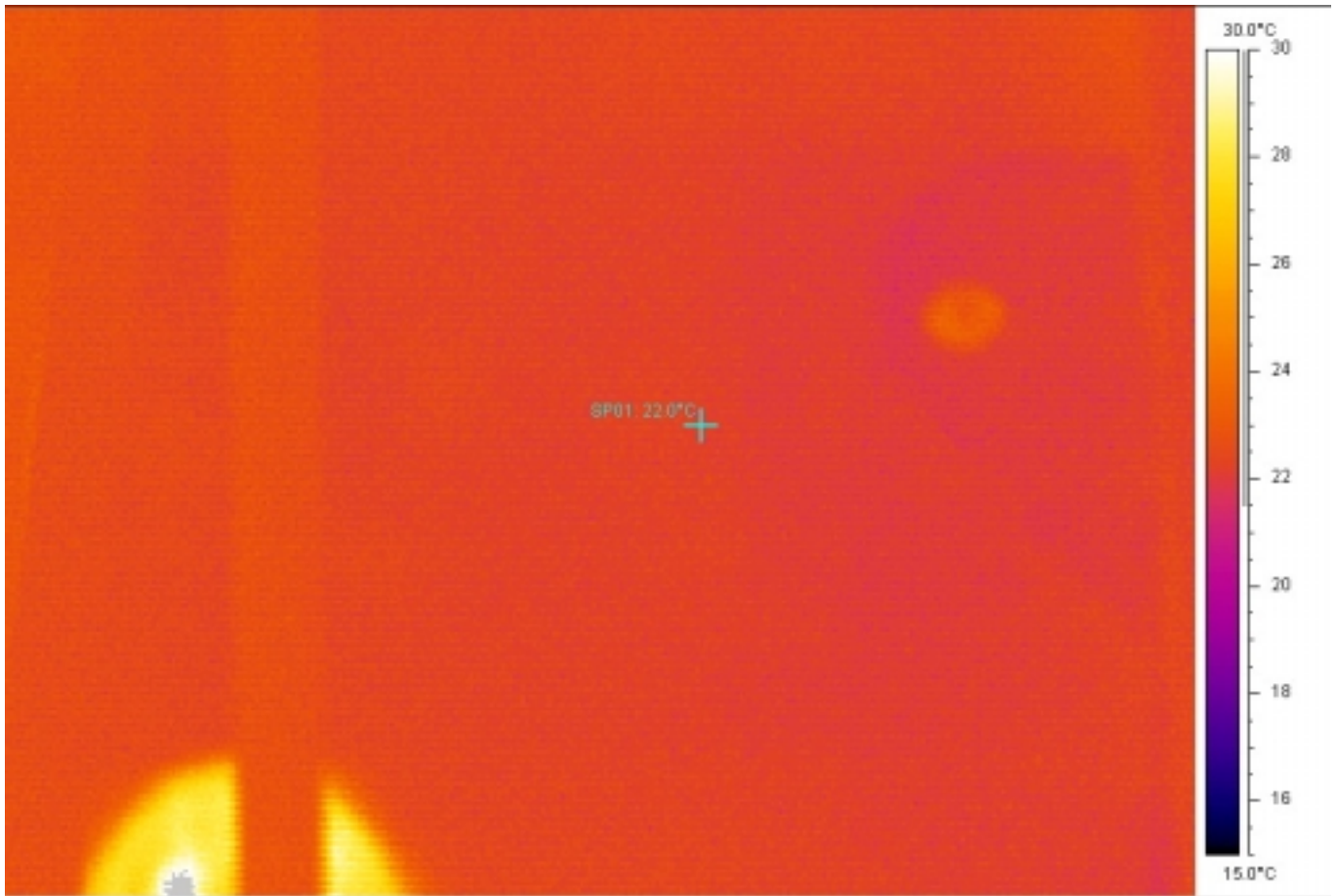


Figura 14: Termograma da parede interna da fachada na posição correspondente a (1;7).

Na Figura 14 foi selecionado apenas um ponto com a medida de temperatura, onde esta representa apenas a parede interna; isto porque esta parede apresentava obstáculos para a obtenção de imagens termográficas, assim sendo o termograma registrou também a temperatura destes obstáculos, como parafusos, estruturas metálicas, que podem ser observados na Figura 14 através das cores mais claras, portanto mais quentes, já que os metais são bons condutores de calor.

5.2 Segunda bateria de termogramas (15h)

Às 15 horas a incidência de sol na fachada ventilada atingia apenas as placas cerâmicas na extrema esquerda superior, por isso, a parede externa apresentou temperaturas inferiores às obtidas às 14 horas. As Figuras 15 e 16 mostram os termogramas da parede externa e interna, respectivamente, cuja posição ocupada é a (1;7), a qual foi submetida a maior incidência solar.

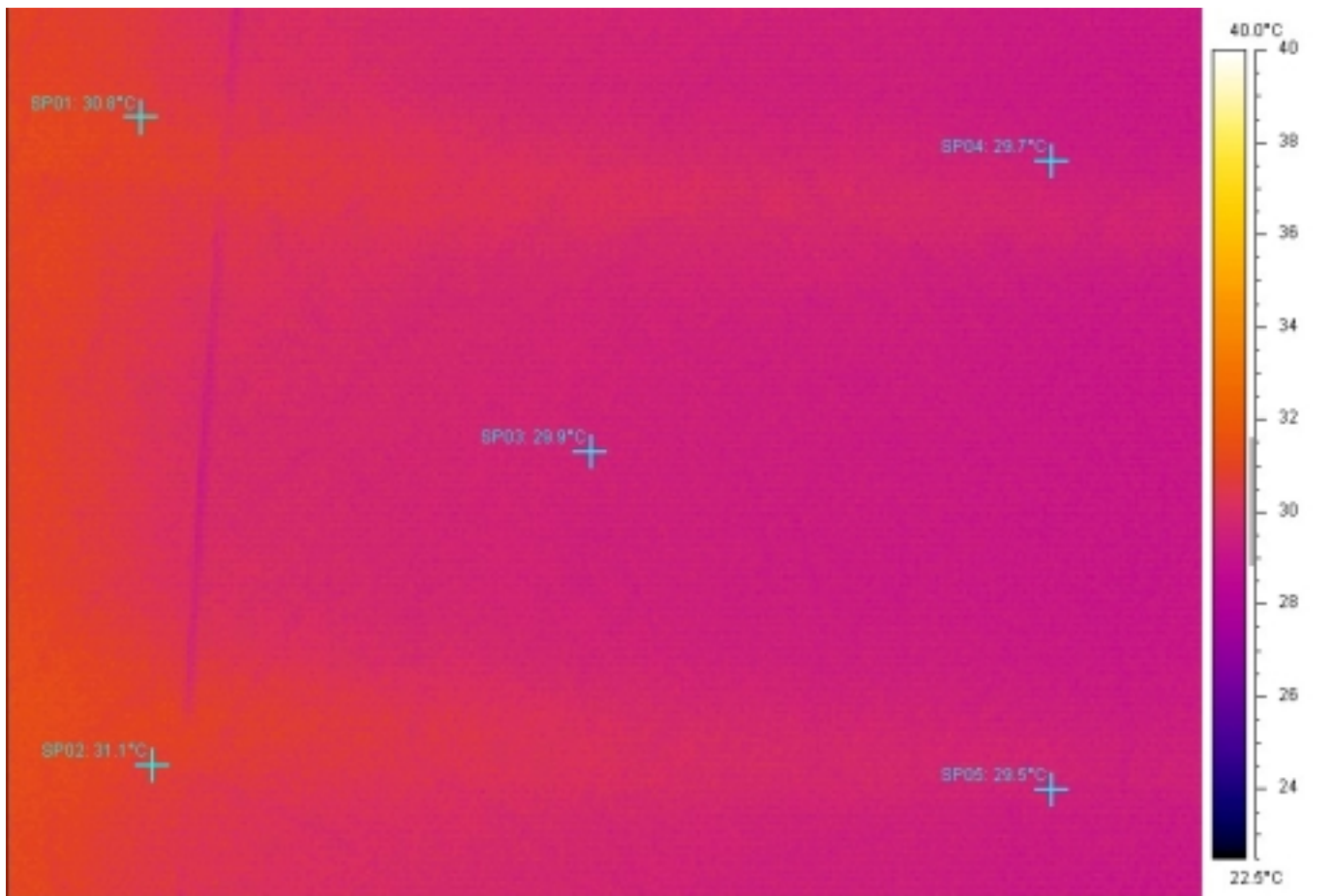


Figura 15: Termograma da placa cerâmica localizada na parte externa da fachada ventilada na posição (1;7).



Figura 16: Termograma da parede interna correspondente a posição (1;7)

O termograma da Figura 15 demonstra que a temperatura diminuiu na região de mais alta temperatura, que é a posição (1;7), se comparada com a observada no termograma da mesma posição das 14 horas, devido a menor incidência solar. Na parede externa da fachada, a variação foi de aproximadamente 5°C e na parede interna de 1°C.

As Figuras 17 e 18 apresentam os termogramas da posição (5;2) da parede externa e interna da fachada ventilada. Esta região é a que esteve o menor tempo ao sol, portanto, apresenta as menores temperaturas; no entanto, é a posição mais afetada com os fatores externos, já que está próxima a porta.

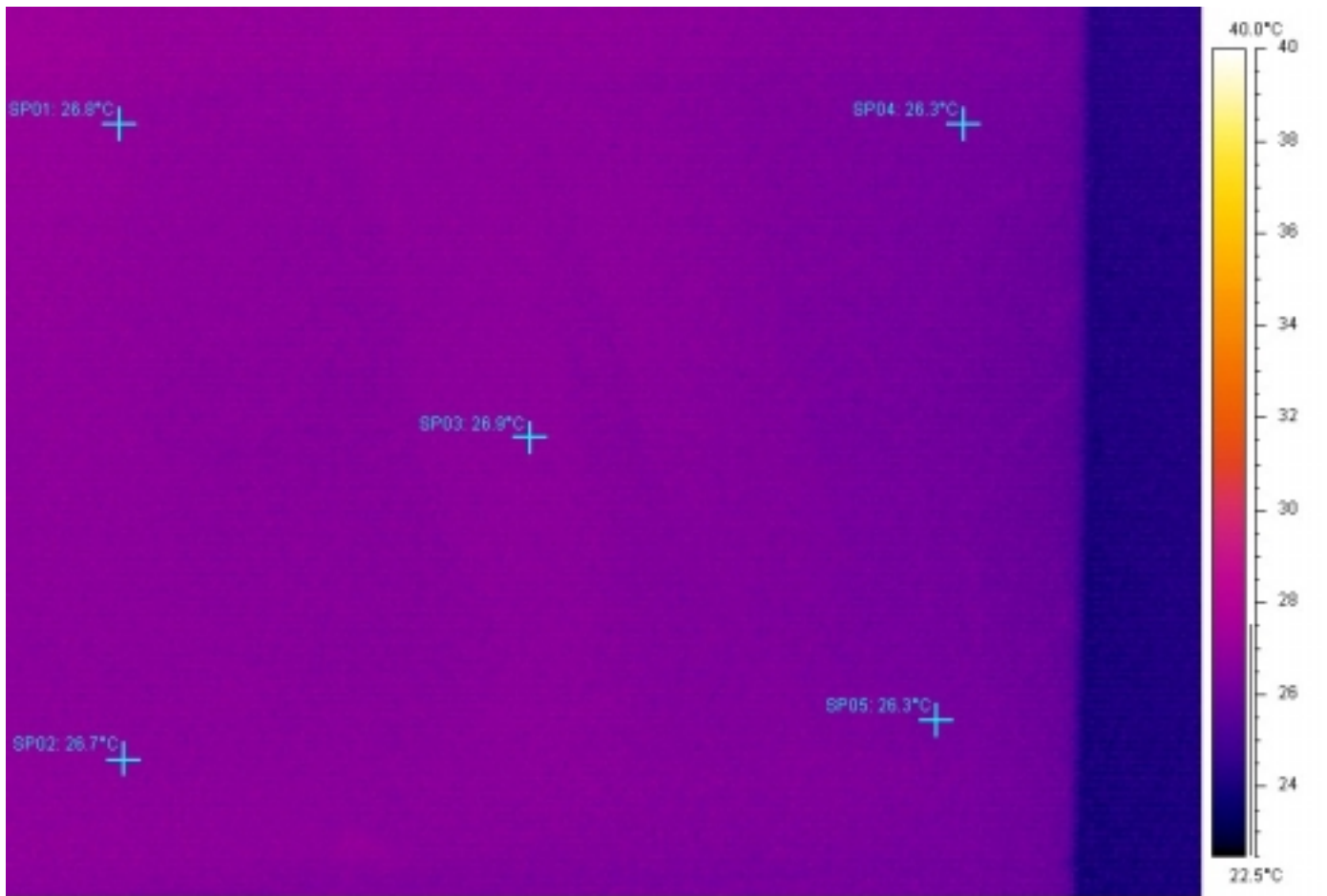


Figura 17: Termograma da parede externa da fachada ventilada na posição (5;2).



Figura 18: Termograma da parede interna da fachada, na posição correspondente a (5;2).

As cores mais claras, que não estão com as devidas temperaturas, na Figura 18, não são correspondentes a parede.

Para observar as características de baixa condutividade térmica e capacidade de reflexão dos raios solares do revestimento cerâmico, foi adquirido um termograma da lateral esquerda da fachada ventilada, onde foi enquadrada parte da fachada e parte do restante da parede do prédio, como pode ser observado na Figura 19.

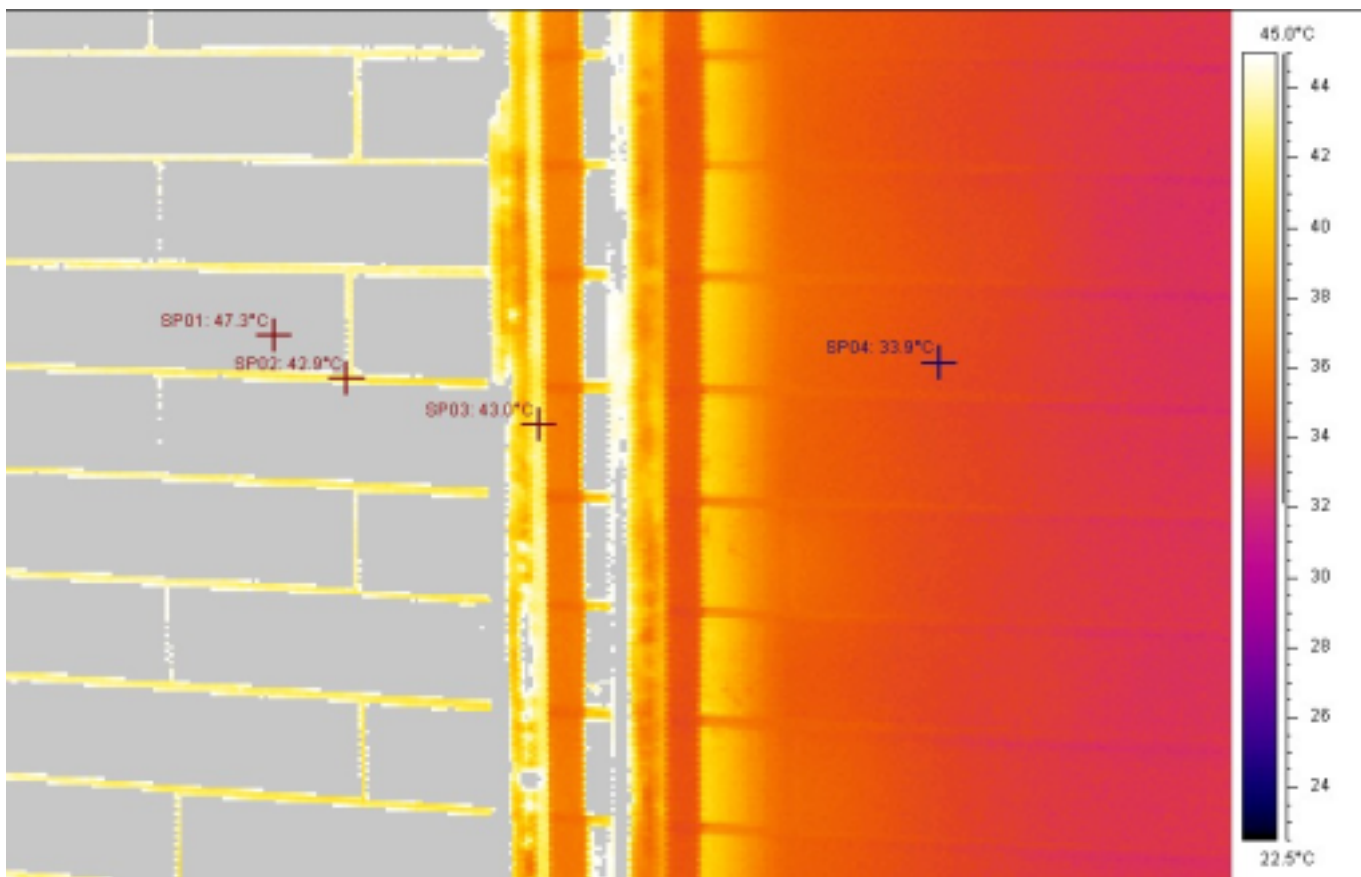


Figura 19: Termograma da parte lateral esquerda da fachada ventilada

A Figura 19 mostra claramente a diferença de temperatura da fachada, nas cores amarela e laranja, com a temperatura da parede do prédio, na cor cinza (dos tijolos de alvenaria) e amarela (dos rejuntas). As estruturas verticais de cor amarela e elevada temperatura são dutos de instalação elétrica constituídos de material metálico. Com isto é possível observar o quanto o material cerâmico contribui para o isolamento térmico, já que apresenta a menor temperatura se comparado com os outros materiais da estrutura do prédio, como neste exemplo.

Analisando todos os termogramas, pode ser observado que na própria parede externa há um gradiente considerável de temperatura, isto porque as regiões que receberam incidência direta de sol apresentaram maior temperatura. Já a parede interna apresentou pequena variação de temperatura, diferença esta não tanto pela posição de cada medida, mas sim devido à presença da porta, que por não estar constantemente fechada, atrapalha o funcionamento do sistema para isolamento térmico.

6. CONCLUSÕES

Através dos resultados preliminares obtidos com este trabalho, tudo leva a crer na eficiência do sistema de fachadas ventiladas quanto ao isolamento térmico. A fachada utilizada como objeto deste estudo, apresentou um significativo gradiente de temperatura da parede externa para a parede interna, que é o objetivo do sistema. Além disso, pode-se observar a vantagem do revestimento cerâmico, como fachada de prédio, para o conforto térmico de ambientes.

A utilização da termografia demonstrou uma diferente aplicação, com sucesso, para esta técnica de tecnologia nova e avançada.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como as obras do sistema de fachadas ventiladas do prédio da Engenharia Nova, na UFRGS, utilizado como objeto de estudo deste trabalho estavam atrasadas, não foi possível a realização de muitos ensaios com o termógrafo. Assim sendo, para trabalhos futuros, sugere-se:

- Obtenção de termogramas das paredes interna e externa da fachada em dias extremamente quentes e frios;
- Realização das medidas de temperatura com o termógrafo ao decorrer de um dia todo e em vários dias, podendo-se assim avaliar melhor as variações de temperatura na parede interna.
- Realização de um modelo matemático com simulação de transferência de calor, para assim comparar resultados práticos aos teóricos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mabilde, M. Polígrafo da disciplina ENG 02220, Materiais Cerâmicos II 2001/02.
2. “Associação Brasileira de Cerâmica – Considerações Gerais Sobre Cerâmicas”.
<http://www.abceram.org.br>.
3. Malcum, K.C.; Caetano, L. F.; Klein, D. L.; Silva, L. C. P.; Relatório Técnico: Desenvolvimento de um Sistema de Fachadas Ventiladas Empregando Elementos Cerâmicos. Nº 24/2000.
4. “CEUSA – Revestimentos Cerâmicos”. <http://www.ceusa.com.br>.
5. Incropera, F. P.; Witt, D. P.; Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 1998, 4ª edição.
6. Özisik, M. N.; Transferência de Calor – Um Texto Básico, 1990.
7. “Espectro Eletromagnético – Infravermelho”. <http://www.hipertextos-fisica.com.br>.
8. “Que es termografía – El Espectro Infrarrojo”. <http://www.infraredmx.com>.
9. Christiansen, J.; Gerow, G.; Thermography, 1990, Number 1.
10. “Predict – Tecnologia Preditiva – Termografía Infravermelho”.
<http://www.predict.com.br>.
11. “Thermotronics Serviços Termográficos”. <http://www.thermotronics.com.br>.
12. “AW Service Termografía”. <http://www.awservice.com.br>.
13. Norma NBR 13818: “Placas cerâmicas para revestimento: especificações e métodos de ensaios”. Esta norma foi baseada nas ISSO 13006:1995 e ISSO 10545: 1995. Válida a partir de 30/05/1997.