

## **ESTUDOS DE ABSORÇÃO TÉRMICA DAS ARGAMASSAS DE AGREGADOS RECICLADOS EMPREGADAS EM REVESTIMENTOS DE VEDAÇÕES**

**Débora Escárlate Antunes Sátiro (1); Heloísa Helena Couto (2); Solange Andere Pedra (3);  
Rosemary Bom Conselho Sales (4)**

(1) Estudante, Graduada de Bacharelado em Design de Ambientes, debbieantunes@yahoo.com.br

(2) MsC, Professora da Escola de Design, hhcriar@yahoo.com.br

(3) MsC, Professora da Escola de Design, solanderepedra@gmail.com

(4) PhD, Professora da Escola de Design, rosebcs@gmail.com

Universidade do Estado de Minas Gerais, Escola de Design, Centro de Estudos em Design de Ambientes, Cx Postal 7545, Belo Horizonte - MG, 31270-010, Tel.: (31) 3439 6520

### **RESUMO**

A fim de propiciar um ambiente adequado para os usuários, é do interesse dos profissionais envolvidos com projetos de ambientes conhecerem as condições climáticas e os recursos naturais locais. Destacam-se, nesta investigação, os materiais alternativos obtidos da reciclagem de resíduos em substituição às matérias-primas convencionais e a busca por soluções que envolvam a sustentabilidade na obtenção do conforto ambiental nas edificações. O presente trabalho procurou averiguar se as argamassas desenvolvidas com agregados miúdos da Usina de Reciclagem da região da Pampulha, em Belo Horizonte, empregadas em revestimento externo de vedações, oferecem mesmo comportamento de absorção térmica que as desenvolvidas com materiais tradicionais. Para isso, propôs-se o desenvolvimento de modelos preparados com tijolos de cerâmica revestidos com argamassa tradicional e agregados reciclados. Além disso, realizou-se a análise do entorno imediato, verificando a incidência de insolação e as variáveis do clima da região. Através de análises gráficas da Termografia Infravermelha, registrou-se que o comportamento de absorção térmica das argamassas de agregados miúdos reciclados apresentou uma tendência em absorver o calor mais lentamente, se comparado à argamassa tradicional. O resultado obtido revelou-se promissor e acrescentou valor aos demais potenciais das argamassas de agregados miúdos reciclados já comprovados em pesquisa anterior: baixo custo, conscientização ambiental, qualidade e resistência mecânica. Sugerem-se novos estudos sobre a inércia térmica das argamassas de agregados miúdos, de modo a confirmar se o novo material tem potencial quanto às trocas de calor, aumentando chances de patente.

Palavras-chave: agregados miúdos, sustentabilidade, termografia infravermelha.

### **ABSTRACT**

In order to provide a suitable environment for users, is of interest to professionals involved in environment projects know the weather conditions and local natural resources. Stand out in this research, alternative materials obtained from recycling waste to replace the conventional raw materials and the search for solutions that involve sustainability in achieving the environmental comfort in buildings. This study examined whether the mortars developed with fine aggregates of the Pampulha region's Recycling Plant, in Belo Horizonte, used in outer covering seals, offer the same thermal absorption behavior as those developed with traditional materials. For this, it was proposed the development of models made with ceramic bricks coated with traditional mortar and recycled aggregates. In addition, it was held to analyze the immediate surroundings, checking the incidence of heat stroke and the variables of the climate. Through graphical analysis of Infrared Thermography, it was noted that the heat absorption behavior of recycled fine aggregate mortars presented a tendency to absorb heat more slowly, when compared to the traditional mortar. The result was promising and added value to the other potentials of recycled fine aggregate mortars proven in previous research: low cost, environmental awareness, quality and mechanical strength. New studies on thermal inertia of fine aggregate mortars are suggested in order to confirm if the new material has potential regarding heat exchange, increasing chances of patent.

Keywords: fine aggregates, sustainability, infrared thermography.

## 1. INTRODUÇÃO

Visando encontrar novos materiais alternativos em substituição às matérias primas convencionais empregadas como revestimentos em vedações arquitetônicas e urbanas pesquisou-se o entulho bruto (RCC) coletado e processado na Usina de Reciclagem em Belo Horizonte. A partir de soluções sustentáveis, pesquisas anteriores, propunham conhecer as características e composição química desses agregados reciclados, além de, desenvolver um novo material que pudesse ser empregado como revestimentos internos e externos de vedações das edificações, propondo melhoria nas condições de conforto térmico para os ambientes.

As argamassas desenvolvidas com os agregados reciclados, empregadas como revestimento interno e externo de vedações foi o objeto do presente estudo, buscando entender seu comportamento de absorção térmica monitorada por termografia infravermelha.

A questão levantada é se as argamassas de agregados miúdos, estudadas e empregadas como acabamentos de vedações oferecem o mesmo comportamento de absorção térmica do que as utilizadas em revestimentos convencionais?

Partindo do pressuposto de que as argamassas de agregados miúdos empregadas em revestimentos de vedações oferecem similar comportamento térmico, em relação às convencionais, foi proposto um estudo termográfico das mesmas, a fim de comprovar que as argamassas de acabamento convencionais empregadas em revestimentos de vedações internas e externas podem ser substituídas pelo material de agregados miúdos com a mesma eficiência.

Segundo a ABNT NBR 7200:1998 a argamassa é constituída por uma mistura de cimento, areia e água, podendo conter ou não, cal hidratada e aditivos - impermeabilizantes, aceleradores ou retardadores, (para melhorar determinadas propriedades) a fim de se revestir paredes internas e externas, e caso se faça necessário, receber sobre si outros revestimentos decorativos.

A associação de novos materiais com a melhoria do conforto térmico dos ambientes construídos é uma das preocupações dos profissionais da área. Imprimir a um edifício características que proporcionam respostas térmicas ambientais convenientes ao conforto dos usuários não implica acréscimo obrigatório do custo de construção, mas, ao contrário, deve resultar em redução do custo de utilização e de manutenção. O conhecimento do clima, aliado ao dos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais, permite consistente intervenção nos espaços construídos, incorporando os dados relativos ao meio ambiente externo de modo a aproveitar o que o clima apresenta de agradável e amenizar seus aspectos negativos (FROTA; SCHIFFER, 2007; LAMBERTS *et al.*, 2011, LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

O efeito da radiação solar que incide nas paredes pode aumentar a temperatura interna do ar provocando desconforto térmico no ambiente, este efeito pode ser reduzido utilizando-se na estrutura da vedação materiais e paredes com grande capacidade calorífica para amortecer internamente a variação da temperatura superficial externa.

Nesse sentido, Lamberts *et al.*, (2011), define que dentre as estratégias utilizadas para concepção de projetos com melhores condições de conforto térmico e redução de consumo de energia, está a utilização de componentes (paredes, coberturas, pisos, etc.) considerando como parâmetro determinante a inércia térmica dos materiais.

Para a aplicação do conforto térmico nos ambientes das edificações, é essencial que este tema seja bem definido e entendido. Assim, Frota; Schiffer, (2007) define o conforto térmico como o estado mental que expressa à satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas ao funcionamento do organismo no que diz respeito ao fluxo de calor que ele absorve e perde para o ambiente por meio das trocas térmicas. No que diz respeito às condições ambientais, a percepção se dá pela temperatura e velocidade do ar, temperatura radiante, e umidade relativa.

Portanto, é importante que a delimitação de uma zona de conforto térmico para aplicação nos ambientes construídos considere aspectos básicos de trocas térmicas homem-ambiente, permitindo ao ser humano manter constante a temperatura do seu corpo sem acionar, de forma perceptível, seus mecanismos de defesa contra o calor ou contra o frio, sejam quais forem às condições climáticas externas.

Enquanto isso, a sustentabilidade caracteriza-se pela solidariedade inter e intrageracional, ou seja, que uso de recursos ecológicos, desenvolvimento econômico e tecnológico; o acesso à renda e a satisfação das necessidades humanas básicas dos grupos sociais sejam atendidos de maneira igual, no presente e no futuro. CASSA (2001) e (COUTO, 2011).

Levando-se em conta que a análise termográfica aconteceu em espaço aberto e não fechado, fez-se necessário a análise do entorno imediato a fim de averiguar as variáveis climáticas atuantes no momento do

estudo: radiação solar; nebulosidade; vento; umidade relativa do ar, que podem interferir nos resultados obtidos.

A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva aplicada para detectar as perdas de calor provenientes da falta ou de isolamento térmico danificado, vazamentos de água e/ou focos de umidade, em análises de fachadas e telhados, normalmente em situações que envolvem diferenças de temperatura (MEOLA *et al.*, 2005; PEDRA, 2012; SALES, 2011). A termografia também pode ser usada para produção de diagnóstico e determinação de propriedades termofísicas de envoltórias de edificações (TAVARES, 2006). Sua aplicação é cada vez mais importante e útil, pois fornece as distribuições de temperatura da superfície dos elementos de forma não invasiva, mesmo quando grandes gradientes de temperatura estão envolvidos. (CASTANEDO, 2005; MALDAGUE, 2002). O conhecimento e o domínio da técnica podem auxiliar nas avaliações de perdas e/ou ganhos de calor e no comportamento do elemento construtivo como um todo, levando-se em consideração as propriedades individuais de cada material.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é analisar o comportamento de absorção térmica dos agregados miúdos reciclados de base cimentícia e cerâmica, comparada às argamassas tradicionais observando que, acercando-se da questão da sustentabilidade em suas diversas dimensões, pôde-se combinar uma investigação de base tecnológica agregando valores de qualificação térmica ao produto final.

## **3. MÉTODO**

A pesquisa realizada é do tipo Estudo de Caso de caráter qualitativo e quantitativo. O contexto do local de realização do estudo de caso refere - se a uma Universidade pública localizada na cidade de Belo Horizonte – MG conforme será apresentado mais adiante.

Primeiramente procedeu-se com a análise do entorno do microclima (entorno imediato) da Escola de Design da UEMG, onde os testes aconteceram. Com este estudo do entorno pretendeu-se verificar as variáveis: a rugosidade do solo, o sentido dos ventos e a insolação, a que modelos foram sujeitados.

A escolha das Argamassas empregadas para a avaliação dos estudos tecnológicos de Termografia Infravermelha partiu de um estudo anterior de COUTO (2011), onde as mesmas foram submetidas a avaliações de resistência físico mecânica e obtiveram resultados satisfatórios. Escolheu-se trabalhar com as seguintes argamassas de agregados miúdos: tipo A agregados miúdos provenientes de materiais cimentícios (pós de pedra e concreto moído) e tipo B agregados miúdos a partir de materiais cerâmicos, todos recolhidos na Usina de reciclagem de BH.

Para maior preservação da absorção térmica enquanto os modelos foram expostos à radiação solar, sem a dissipação desigual e imediata do calor, foi necessário revesti-los com uma moldura de material isolante.

Cumprindo com os objetivos propostos no trabalho, seguiram-se alguns procedimentos tecnológicos aos testes de Termografia Infravermelha. Primeiramente foi feita uma medição por termografia à sombra antes dos modelos serem expostos à insolação, verificando se todos estavam em condições estáveis de calor e temperatura ao serem expostos ao ar livre. Posteriormente foram expostos à insolação e monitorados pela termografia infravermelha durante período de tempo cronometrado. Finalmente, os dados coletados nos testes foram interpretados de acordo com a sucessão do organograma deste trabalho, com discussões voltadas à análise de interpretações e compatibilizações dos dados quantitativos e qualitativos a partir dos termogramas dos três modelos.

### **3.1. Análise do Entorno**

A edificação da Escola de Design (ED) ora analisada localiza-se na Av. Antônio Carlos nº 7545, Bairro São Luís, região da Pampulha de Belo Horizonte, MG.

Foi considerada a escala de microclima para análise do entorno da Escola de Design da UEMG. De acordo com a figura 1, indicado pelas setas amarelas, há uma grande circulação de ventos livres provenientes do aeroporto, das pistas para pouso e decolagem que canalizam os ventos que adentram a cidade à leste pela Serra do Curral conforme afirma (ASSIS, 2000).

O aeroporto da Pampulha pode ser considerado como um grande descampado responsável pela difusão dos ventos em direção a sudoeste. Ao alcançar a Av. Antonio Carlos, os ventos que corriam em direção noroeste são desviados pela maior altimetria das duas edificações à esquina e mais recentemente pela edificação do Hotel que se situa em frente à Escola de Design que possui altura média de trinta e seis metros.

Na parte posterior da ED situada a WSW, as edificações são em sua maioria construções de casas residenciais com altimetria média de seis metros, na lateral direita situada a SSE, há presença de galpões com cerca de dez metros de altura, e na lateral esquerda situada a NNW, há galpões mais altos com cerca de quinze metros de altura devido à topografia de aclave da região que possui desnível médio de três metros. Há alguns prédios mais afastados da Escola de Design, situados ao lado contrário da avenida que não impedem a circulação de ventos, uma vez que estes são desviados por cima dos mesmos devido à presença de uma depressão na região. Quanto ao sombreamento e a insolação da edificação analisada com relação às vizinhas, não há grandes interferências devido à grande distância.

Há muitas árvores de grande porte no entorno, principalmente na parte posterior da edificação, que muito influenciam protegendo o pátio escolhido para realização do teste da circulação dos ventos devido à altura e a copa frondosa.

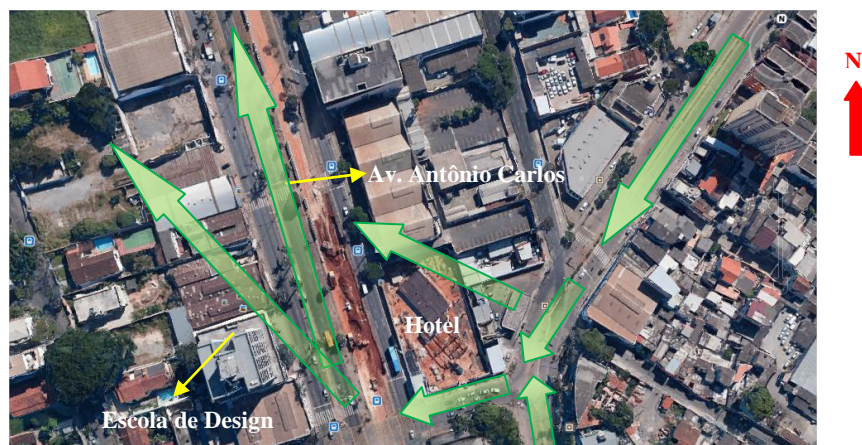


Figura 1 – Análise do Microclima da Escola de Design - Google Earth (2015). Setas em verde indicando a circulação e desvio dos ventos.

As ruas ao redor da ED são todas asfaltadas, as calçadas são revestidas de massa cimentícia, assim como todo terreno da edificação analisada, matérias que possuem alta inércia térmica, o que influencia na alta da temperatura durante o dia. A baixa umidade relativa que ocorre nos dias quentes e secos está relacionada a pouca permeabilidade do solo neste entorno, como também se pode comprovar pela figura acima.

### 3.1.1. Análise da Insolação

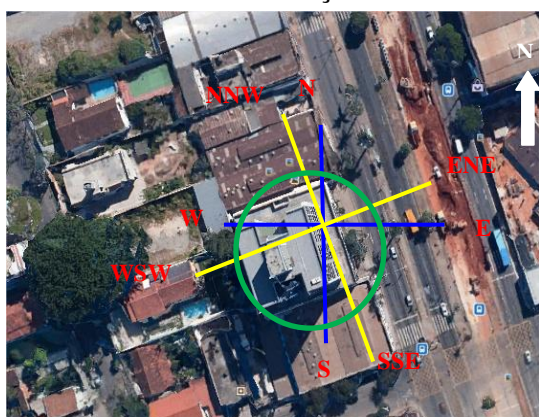


Figura 2: Análise da insolação da Escola de Design – Google Earth (2015).

A área onde os modelos foram expostos e analisados é descoberta e exposta às intempéries. Na figura 2 está circulada a área da Escola de Design e as orientações das suas fachadas para a análise da insolação de cada uma. A fachada utilizada está voltada para a Av. Antonio Carlos, orientada a ENE (+- 20°).

Além da análise do entorno imediato e da posição do sol em relação à edificação onde foi realizado o teste, fez-se necessário à observação e registro da insolação e das sombras projetadas pela edificação definindo a posição dos modelos para receber insolação frontal no horário do teste. A figura 3 demonstra a área escolhida para os testes e os apontamentos preliminares desta observação.

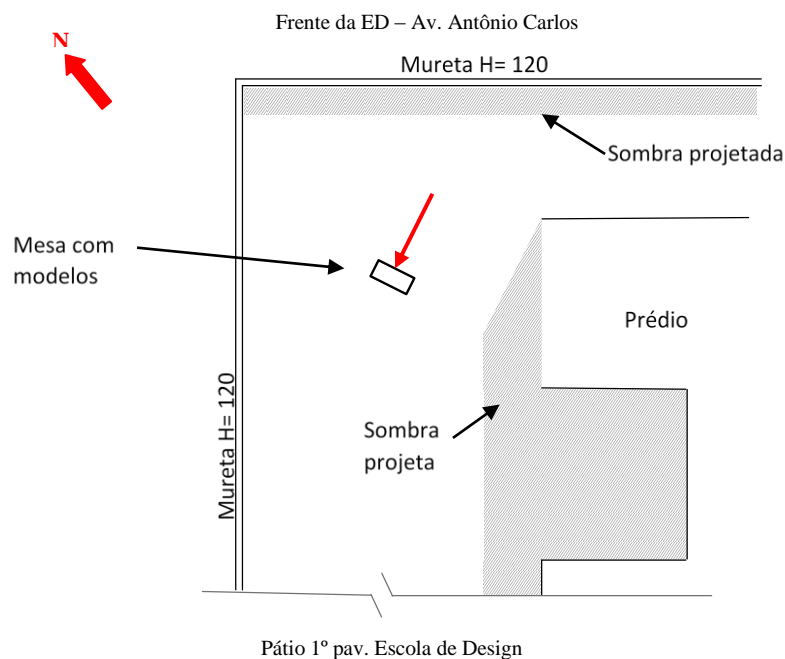


Figura 3 – Observação da posição dos modelos e da insolação no pátio onde foram realizados os testes. Seta em vermelho indica a insolação incidente sobre os modelos.

Como os ambientes estão condicionados as variáveis climáticas, é de suma importância a localização da edificação, a análise do entorno imediato, dentre outras particularidades em geral do clima da região onde o projeto se implementará.

Conhecendo sobre as variáveis climáticas e suas influências nas transferências de calor das argamassas empregadas como revestimentos internos e externos, torna-se possível a identificação de materiais que promovam o conforto térmico e a eficiência energética minimizando o emprego de sistemas artificiais nas edificações.

### 3.2. Preparação dos Modelos

Foram recolhidos na Usina de Reciclagem da Pampulha, região norte de Belo Horizonte o material RCC, do tipo A (agregado reciclado cimentício moído) e do tipo B (agregado reciclado cerâmico moído). Os modelos foram preparados com tijolos cerâmicos de seis furos revestidos seguindo os traços e a composição das argamassas descritas abaixo:

Argamassa tradicional (areia comum e cimento Portland Campeão CPIV Lafarge – traço 8:1), compondo o modelo nº1, de acordo com a norma da ABNT NBR 7200/82.

Argamassa com agregado cimentício A: cimento Portland Campeão CPIV Lafarge e Cal hidratada, na porção de 70% de agregado reciclado cimentício tipo A, 10% de cimento e 20% de Cal hidratada, compondo o modelo nº 2.

Argamassa com agregado cerâmico B: cimento Portland Campeão CPIV Lafarge e Cal hidratada, na proporção de 70% de agregado reciclado cerâmico B, 10% de cimento e 20% de Cal hidratada, compondo o modelo nº 3.

O emprego da cal hidratada aos agregados reciclados A e B, possibilitou uma massa mais homogênea com maior teor de água que a convencional. Justamente pelo fato da cal hidratada na mistura e os agregados reciclados apresentarem em sua composição, resíduos cerâmicos com características pozolânicas. Isto dá ao material reciclado uma característica porosa em suas partículas, com propriedades de reter água e ar maior que a da massa convencional. (GOMES, 2008).

Desta forma a argamassa de agregado reciclado B, com maior teor cerâmico exigiu um maior teor aquoso, mantendo-a bem úmida e molhando bem o substrato, a fim de se obter maior trabalhabilidade no período de pega, isto é, do seu estado fresco ao seu estado de endurecimento ou semissólido. Isso evitou saída de água da mistura denominada exsudação (incapacidade dos materiais sólidos componentes fixarem a água na mistura, no período de pega) e pela sucção da base cerâmica, agravada pela baixa umidade relativa, temperatura ambiente alta, velocidade do vento, observados no período analisado em que BH se encontrava

na estação do inverno, época esta em que o clima se encontra seco com umidade relativa em torno de 30%, com registros de variação da amplitude térmica entre 19°C a 30°C e com ventos atingindo de 6 a 10m/s. Igualmente foi dada a devida atenção à espessura da camada aplicada, pois é um dos fatores responsáveis pelas microfissuras, patologias indesejáveis ao acabamento.

Para que não haja dissipação rápida de calor dos modelos para o ambiente externo e conseqüente influencia nos resultados obtidos, depois do período de cura dos rebocos dos modelos, 28 dias, para complementar a preparação dos mesmos para os testes de termografia, fez-se necessário a preparação de molduras para isolar as extremidades dos modelos. Esta moldura foi composta por uma camada de lã de vidro (Feltos Mastersol Aluminizado uma face) com espessura de 25 mm que foi colocada diretamente sobre as extremidades dos modelos com a face de alumínio voltada para fora. Em seguida, foi colocada uma placa de Gesso Acartonado comum de 10 mm de espessura diretamente sobre a lã de vidro conforme indicam as figuras 4 e 5. A placa de gesso foi bem prensada para retirar ao máximo qualquer fresta entre o gesso, a lã de vidro e os modelos. Feito isso, as placas foram presas com fita adesiva.



Figura 4 – Preparação da moldura para isolamento dos modelos.

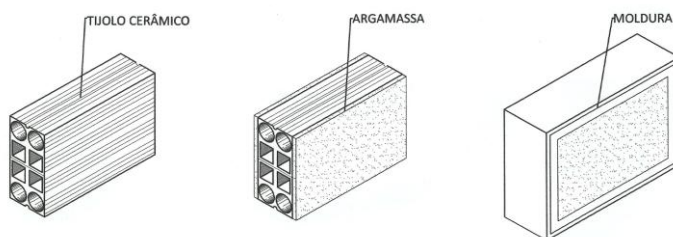


Figura 5 – Representação esquemática dos modelos compostos de tijolo cerâmico, argamassa e moldura para isolamento.

### 3.3. Monitoramento por termografia infravermelha do comportamento térmico das argamassas

A câmera empregada nesta pesquisa foi uma *Thermacan p640, high definition* com detector de 640 x 480, 307.000 pixels de resolução, escala de temperatura de -40<sup>0</sup> C a 500<sup>0</sup> C de 2% da leitura de medição. Este equipamento foi disponibilizado pelo Centro de Estudos em Design e Tecnologia (CEDtec) da Universidade do Estado de Minas Gerais.

A partir das imagens termográficas e informações armazenadas na câmera, os dados foram analisados utilizando-se o *software ThermaCAM™ QuickReport 1,2 SP1 Flir Systems* (2009).

O teste foi realizado dia 04 de fevereiro de 2015 com a insolação no verão. Este dia apresentou céu nublado (isotrópico) com variação de temperatura entre 19 a 30 °C, velocidade dos ventos aproximadamente 10 Km/h.

Teve-se um cuidado especial com a área do entorno durante o processo de leitura, pois a câmera infravermelha capta a temperatura do objeto e dos pontos próximos a ele e o resultado da leitura é uma média aritmética das temperaturas de todos os pontos lidos na área de influência. Dessa forma, utilizou-se lâminas de poliestireno isopor® (2cm x 50cm x 100cm) para isolar os modelos do contato com outros materiais e manter uma radiação de fundo uniforme conforme indicado pela figura 6.



Figura 6: Anteparo de poliestireno ao redor dos modelos.

Inicialmente os modelos foram, colocadas no suporte feito de isopor e permaneceram em local sombreado para aclimatarem. Os primeiros registros foram realizados as 09h47min antes de expor as amostras ao aquecimento solar.

Para exposição ao aquecimento solar, os modelos foram deslocados para a área sem cobertura e permaneceram expostos sobre uma mesa localizada de forma a receber a radiação frontalmente. A partir das observações anteriores sobre incidência e deslocamento aparente dos raios solares o piso da área recebeu marcações para orientação de deslocamento da mesa a cada 10 minutos mantendo assim os modelos na posição correta para receber radiação solar frontal durante o teste.

Para definição dos parâmetros de estudo, adotou-se temperatura refletida de 25,3 °C, temperatura atmosférica 25,3 °C, umidade relativa do ar 48 %, emissividade 0,95, dados registrados pelo equipamento termográfico no momento da leitura. A distância entre o equipamento e as amostras foi de 1,50 m conforme indicado pela figura 7. O tempo de duração do teste foi 30 minutos, sendo que os primeiros registros após os modelos serem expostos a insolação iniciaram-se às 10h17min. Foram coletadas imagens termográficas antes e após 10, 20 e 30 minutos de insolação.



Figura 7 - Posicionamento da câmera em relação aos modelos.

### 3.4. Considerações

Na análise dos resultados deve-se dar especial atenção à escala de cores escolhida para análise dos termogramas (lateral direita do termograma), que mostra as temperaturas registradas (mínima/máxima). Neste termograma, a escala varia da cor azul escuro que representa a temperatura mínima (24,1°C) passando pelas variações crescentes verde, amarelo e vermelho até chegar à cor branca que indica a temperatura máxima obtida durante o teste (30°C).

Adotou-se como área de medida a parte superior do bloco uma vez que a parte inferior apresentou uma alteração isotérmica devido à troca de energia entre o sistema e sua vizinhança. Isso ocorreu, possivelmente, devido ao contato com a superfície onde os modelos foram armazenados. O termograma da figura 8 mostra a temperatura dos modelos antes da insolação. Em uma análise qualitativa percebe-se que a temperatura superficial inicial entre os três modelos é bastante semelhante 29°C.

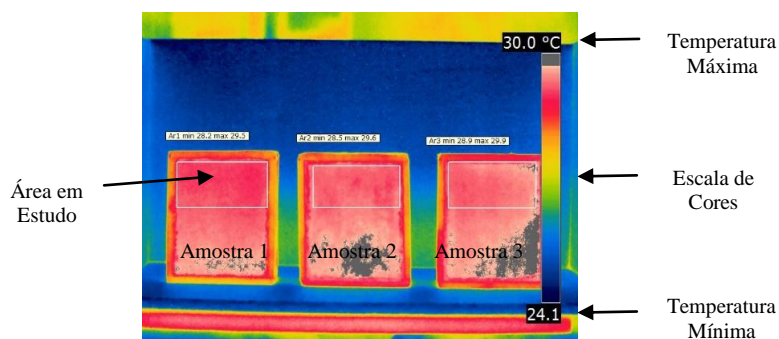


Figura 8 – Primeira imagem antes de expor os modelos ao aquecimento solar - Sales; Pedra (2015).

Os termogramas da figura 9 apresentam a sequência de imagens realizadas durante os 30 minutos de insolação. A linha de perfil traçada ao longo dos modelos apresenta a região onde foram lidos os pontos de interesse. Pela escala de cores, pode-se perceber um aumento das temperaturas máximas, assim como uma

variação na temperatura mínima. No entanto, durante os 30 primeiros minutos de testes houve insolação direta intensa.

A concentração maior de calor na parte inferior da superfície dos modelos representada pela cor branca se dá devido à inclinação dos raios solares incidentes durante o momento de realização do teste. O aumento da cor branca na superfície dos modelos indica que o calor absorvido na parte inferior da superfície se espalhou para o restante da mesma através da condução térmica.

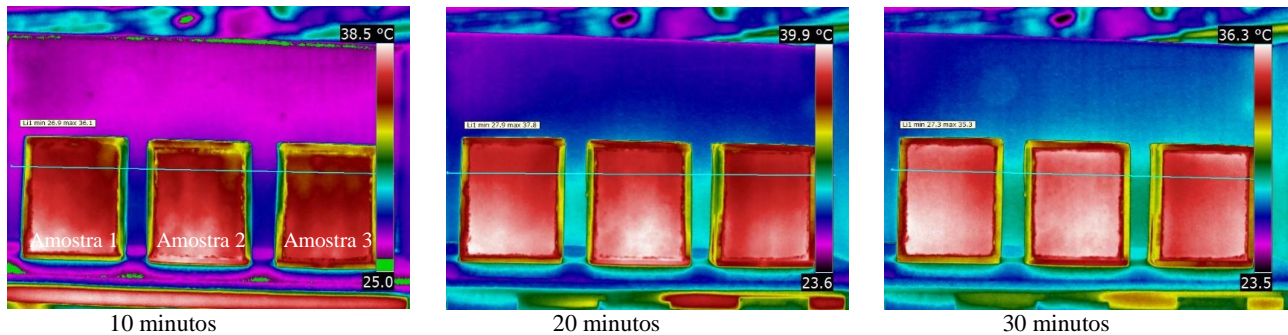


Figura 9 – Termogramas do período de insolação dos modelos (10,20 e 30 minutos) - Sales; Pedra (2015).

Os termogramas foram analisados e as temperaturas médias foram calculadas a partir das temperaturas mínimas e máximas da área em estudo de cada modelo, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 - Temperatura superficial registrada nos termogramas - Sales; Pedra (2015).

Temperatura (°C) Área em Estudo									
Tempo (min.)	Modelo 1 Argamassa Convencional			Modelo 2 Argamassa Tipo A			Modelo 3 Argamassa Tipo B		
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
Inicial	28,8	29,4	29,1	28,8	29,7	29,25	29,0	29,8	29,4
10	34,3	36,9	35,6	34,0	36,7	35,35	34,5	35,6	35,05
20	35,5	38,4	36,95	35,1	38,4	36,75	34,7	37,3	36,0
30	36,5	38,6	37,57	36,5	38,7	37,6	36,1	38,0	37,05

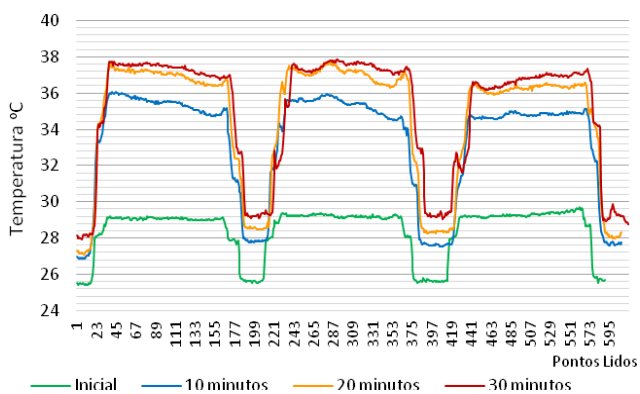


Figura 10 – Comparativo dos resultados dos termogramas – Sales; Pedra (2015).

A partir dos dados coletados durante o ensaio foi traçado um gráfico comparativo dos resultados médios. A figura 10 mostra que a temperatura inicial foi em torno de 29 °C para todas as amostras. Com 10 minutos de insolação a temperatura aumentou para 35 °C nos modelos 1, 2 e 3. Após 20 minutos de insolação as temperaturas passaram para 36,95 e 36,75 °C nos modelos 1 e 2 respectivamente, o modelo 3 apresentou temperatura um pouco mais baixa 36,0 °C. Aos 30 minutos as temperaturas seguem a mesma tendência anterior, passando para 37,57; 37,6 e 37,05 °C respectivamente.

A figura 11 apresentou de forma clara que após 30 minutos de teste os modelos analisados apresentaram um crescimento da temperatura proporcional ao tempo de aquecimento. Nos primeiros 10 minutos houve um aumento significativo dos três modelos, sendo o modelo 1 de argamassa convencional a que mais absorveu calor, seguida do modelo 2 de resíduo do Tipo A. O modelo 3 de resíduo Tipo B foi a que menos absorveu calor. O fator do bom desempenho dessa argamassa foi dado pela sua composição cerâmica e da cal na mistura, um coadjuvante com poder de reter a umidade pela sua capacidade absorviva que minimiza a exsudação, funcionando como um aditivo incorporador de ar à mistura fundamental à



resistência, a capilaridade, permeabilidade, a elasticidade quando expostas ao tempo e aderência da mesma ao substrato. Esta substância e o teor cerâmico do agregado B, sua maior porosidade, deram ao revestimento melhor propriedade térmica em relação às demais.

Considerando a temperatura inicial de 29,1; 29,25 e 29,4 °C e a temperatura dos modelos após 30 minutos de exposição ao aquecimento solar 37,57; 37,6 e 37,05 °C, percebe-se um aumento da temperatura nas superfícies das argamassas de 8,47; 8,35 e 7,65 °C respectivamente.

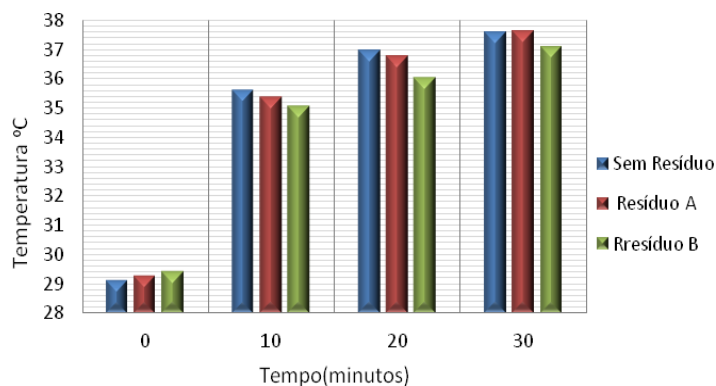


Figura 11 – Temperaturas médias registradas nos modelos 1,2 e 3 – Sales; Pedra (2015).

Embora os resultados sejam sutis, demonstram que o modelo 3 absorveu calor mais lentamente, o que sugere se estudar mais profundamente as propriedades térmicas desse material e o seu uso em proporções diferentes e das espessuras da mistura aplicada ao substrato, para que se possa melhor avaliar suas características quando utilizadas em revestimentos externos e internos de edificações.

#### 4. CONCLUSÕES

Conforme comprovado por COUTO (2011) e CASSA (2001); as argamassas produzidas a partir da reciclagem de resíduos da construção civil possuem resistência e trabalhabilidade semelhante as “argamassas tradicionais de reboco”, podendo ser utilizadas como revestimento de vedação interna ou externa a um custo mais baixo, e auxiliando no controle de degradação do meio ambiente.

A partir da análise do entorno foi possível entender o ambiente e as variáveis para a escolha mais adequada do local onde possibilitasse poucas interferências nos resultados dos testes, tais como: velocidade dos ventos, sombreamentos, insolação, além da nebulosidade no momento dos testes.

O presente trabalho veio demonstrar através de testes por termografia infravermelha que o comportamento térmico das argamassas produzidas com a utilização de agregados reciclados é semelhante ao comportamento térmico das argamassas tradicionais, apresentando nos testes índices ainda menores de absorção de calor conforme afirmado nos resultados, reafirmando que esse novo material é promissor, pois pode ser utilizado para a aplicação de conforto térmico nos ambientes, agregando mais valor aos já comprovados em pesquisa anterior: preço baixo, qualidade e resistência mecânica, conscientização ambiental, e possui grandes chances de patente.

Esta nova argamassa deixa aberta as portas para novos questionamentos e pesquisas como, por exemplo, sobre sua inércia térmica, seu comportamento térmico condutividade e emissividade, ainda um estudo sobre as argamassas pigmentadas a partir da separação entre tons quentes e frios, dentre outras diversas pesquisas, aumentando a exploração de novos recursos e investimentos, pois agrega baixo custo, estética e conforto térmico para os ambientes, proporcionando mais conforto aos usuários, e traçando novos rumos ao desenvolvimento tecnológico e a preservação ambiental.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento para execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1998, 10p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15572:** Ensaios não destrutivos: termografia por infravermelha - guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática:** métodos para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- CASSA, Clodoaldo da Silva. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção.** / Organizado por Alex Pires Carneiro, Irineu Antônio Schadach de Brum. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.; il.
- CASTANEDO, C.I. **Quantitative subsurface defect valuation by pulsed phase thermography:** Depth retrieval with the phase. Thèse (obtention grade de Philosophie Doctor Ph.D.) Faculté des Sciences et de Génie Université Laval – Québec. Oct 2005.
- COUTO, Heloísa Helena. **Revitalização do ambiente construído com a utilização de resíduos de demolição [manuscrito]:** um estudo de caso. – 2011. 273 f.: il.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico:** arquitetura, urbanismo. — 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GOMES, Adailton de Oliveira. **Propriedades das Argamassas de Revestimento de Fachadas.** DCTM da Escola Politécnica da UFBA, Salvador, 2008.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ª edição. São Paulo: Pro livros, 2004.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D.L; NARANJO, A. **Desempenho térmico de edificações.** Florianópolis. 2011.
- MALDAGUE, X.P. Introduction to NDT by active infrared thermography. **Materials Evaluation**, v. 6, p. 1060-1073, 2002.
- MEOLA, C. *et al.* Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. **Engineering Failure Analysis**, v.12, p. 875-892, 2005.
- PEDRA, S.A.; SALES, R.B.C.; LANA, S.L.B.; AGUILAR, M.T.P. **Termografia infravermelha aplicada à análise térmica de alvenaria em blocos de concreto e de cerâmica.** In: 54 Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2012, 2012, Maceió. Anais do Ibracon, 2012.
- SALES, R.B.C. *et al.* Concrete study using infrared thermography and forced resonant frequency. **Advanced Materials Research**, vol.168 – 170, p. 778 – 786, 2011.
- TAVARES, S.G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obras de arte.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo fomento aplicado no financiamento do projeto.