

A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA AUXILIANDO O DESIGN DE AMBIENTES: análise de novos materiais.

Orlando Gama da Silva Junior
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
gama.orlando@gmail.com

Rosemary do Bom Conselho Sales
Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG
rosebcs@gmail.com

Patrícia Santiago de Oliveira Patrício
Centro Federal Tecnológico de Minas Gerais – CEFET-MG
patriciapatrício@des.cefetmg.br

Resumo: Atualmente o Design, apoiado na Engenharia de Materiais, busca desenvolver produtos a partir de fontes renováveis e com menos impacto, sem agredir o meio ambiente. A busca por medidas de eficiência energética associadas a novos materiais impulsionou a pesquisa também na área de compósitos poliméricos. A substituição de materiais tradicionais por novos materiais intensificou-se, principalmente nos últimos 20 anos. Esse desenvolvimento está ligado à possibilidade de produção de compósitos com boas propriedades mecânicas e baixas densidades, sendo possível substituir até mesmo materiais como a madeira e o aço. Diversas fibras naturais vegetais são produzidas em praticamente todos os países do mundo, designadas por materiais lignocelulósicos. O desenvolvimento de materiais oriundos de fontes renováveis, como fibras naturais, é uma realidade presente nos dias atuais. No mundo são fabricados cerca de 30 milhões de toneladas de fibras vegetais e o Brasil é responsável por grande parcela dessa produção. Devido à variedade de espécimes existente em território nacional, tem crescido o interesse por pesquisas científicas e tecnológicas que utilizam fibras tradicionais, como o sisal e a juta. Em consequência, surge o interesse por novos estudos com outros tipos de fibra, como a do curauá (*Ananas erectifolius*). Por ser uma planta que produz fibras de elevada resistência mecânica, principalmente quando adicionadas a polímeros, seu uso associado a outros tipos de materiais poderia resultar em produto mais resistente, com baixa densidade, boa tenacidade e boas propriedades térmicas. A termografia infravermelha, empregada nesta pesquisa, é uma técnica de ensaio não destrutivo de grande aplicabilidade, uma vez que mede o campo de temperatura de uma superfície a partir da imagem gerada pela radiação térmica. O processo de inspeção é feito por meio de equipamentos dotados de detectores

sensíveis ao infravermelho, que captam a radiação térmica e a convertem em imagens térmicas. Nesta pesquisa foi desenvolvido um compósito polimérico à base de amido termoplástico (TPS), polietileno de baixa densidade (PEBD) e fibra natural de curauá nas proporções de 10, 20 e 30% m/m (massa/massa). O compósito desenvolvido foi aplicado sobre blocos de cerâmica e submetido à insolação natural e seu comportamento térmico foi monitorado utilizando-se a termografia infravermelha. Os resultados mostram que os compósitos fabricados possuem potencial para serem utilizados como revestimento térmico de elementos construtivos. A termografia foi eficiente para identificar diferenças de temperatura em amostras de compósitos poliméricos com diferentes percentuais de fibras e possibilitou acompanhar seu comportamento térmico.

Palavras-chave: Conforto térmico, Termografia infravermelha, fibra de curauá.

Abstract: *Currently the Design, supported by materials engineering, seeks to develop products from renewable and lower impact without harming the environment. The search for energy efficiency measures associated with new materials also boosted researches in the area of polymer composites. The replacement of traditional materials with new materials has being intensified, especially in the last 20 years. This development is related to the possibility of producing composites having good mechanical properties and low density that can even replace materials such as wood and steel. Several natural fibers are produced in almost every country around the world and they are known as lignocellulosic materials. The development of materials from renewable sources, such as natural fibers, is a current reality. Today in the world 30 million tons of natural fibers are produced and Brazil is responsible for a large part of this production. Due to the variety of specimens existing in Brazil, the interest in scientific and technological research has increased with traditional fibers, such as sisal and jute and also with other types of plants such as curaua (*Ananas erectifolius*). Being the plant that produces fibers with high mechanical resistance, especially when added to polymers, their use in combination with other types of material could result in a tougher product, with low density, good toughness and good thermal properties. Infrared thermography, employed in this research, is a technique of non-destructive testing of wide applicability since it measures the temperature field of a surface from the image generated by the thermal radiation. The inspection process is done by using equipment with detectors sensitive to infrared that capture the thermal radiation and convert it into thermal imaging. In this research was developed a polymer composite based in thermoplastic starch (TPS), low density polyethylene (LDPE) and curaua fiber in the proportion of 10%, 20% and 30% m/m (mass/mass). The developed composite was applied on ceramic blocks and subjected to natural sunlight. Its thermal behavior was monitored using infrared thermography. The results show that the composites manufactured have potential for use as thermal insulated element in buildings. Thermography was effective for identifying*

temperature differences in samples of polymer composites with different percentages of fiber allowing to monitor its thermal behavior.

Keywords: Thermal comfort, Infrared thermography, Curaua fiber

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas têm sido expressivos os esforços dos pesquisadores na busca por alternativas e soluções que promovam o desenvolvimento sustentável, sem que isso ocorra de forma agressiva ao meio ambiente. Os parâmetros de sustentabilidade mais discutidos, sobretudo a partir da Conferência de Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como a Rio 92, estão relacionados ao controle do consumo de energia elétrica e à substituição de materiais tradicionais por materiais alternativos. Uma preocupação atual está relacionada ao aumento da temperatura média do planeta, uma vez que ela impacta o consumo de energia elétrica e os sistemas de isolamentos térmicos. Dados fornecidos pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAAM, 2011) mostram que em um período de 140 anos (1860/2000) houve aumento da temperatura média do planeta em 1,7°C. Na última década, o aumento registrado foi de 0,7°C e a previsão é de que até o ano de 2080 a elevação seja de até 4,0°C.

Atualmente, a utilização de aparelhos de ar-condicionado para aclimação dos ambientes tornou-se uma prática comum, porque ele apresenta uma forma prática e moderna de manter o conforto térmico de ambientes comerciais, industriais e residenciais. Os dados das Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS, 2013) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013) demonstram que um aparelho de ar-condicionado de 14.000 *Btus* em funcionamento (8 horas/30 dias) gera um custo extra na conta de energia elétrica de R\$ 101,50 (de uma cidade como Manaus). Em Belo Horizonte esse custo pode chegar a R\$ 129,78.

A busca por medidas de eficiência energética associadas a novos materiais impulsionou as pesquisas também na área de compósitos poliméricos. A substituição de materiais tradicionais por novos materiais intensificou-se, principalmente nos últimos 20 anos. Esse desenvolvimento está ligado à possibilidade de produção de compósitos com boas propriedades mecânicas e baixas densidades, sendo possível substituir até mesmo materiais como a madeira e o aço. Diversas fibras naturais vegetais são produzidas em praticamente todos os países do mundo, designadas por materiais lignocelulósicos.

Para o presente trabalho utilizou-se a fibra de curauá *in natura* para produzir compósitos poliméricos baseados em amido puro ou misturados com polietileno de baixa densidade (PEBD) contendo diferentes teores de fibra (10/20/30% m/m). Nos compósitos com adição de poliolefinas, foi introduzido polietileno grafitizado com anidrido maleico (PE-g-AM) como agente compatibilizante. Os materiais produzidos foram caracterizados em relação às suas propriedades térmicas, utilizando a termografia infravermelha, uma técnica de ensaio não destrutivo de grande aplicabilidade, uma vez que mede o campo de temperatura de uma superfície a partir da imagem gerada pela radiação térmica. O processo de inspeção é feito por meio de equipamentos dotados de detectores sensíveis ao infravermelho, que captam a radiação térmica e a convertem em imagens térmicas. O material resultante foi

aplicado sobre blocos de cerâmica e submetido à insolação natural. Seu comportamento térmico foi estudado utilizando-se a termografia infravermelha. Os resultados mostram que termografia foi eficiente para identificar diferenças de temperatura nas amostras dos compósitos poliméricos fabricados com 10, 20 e 30% m/m de fibras.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

O conforto térmico é uma condição psicológica e está relacionada à satisfação com as condições térmicas de um ambiente, sendo julgado como processo cognitivo que envolve parâmetros que são influenciados por processos físicos, fisiológicos, psicológicos, entre outros (ASHRAE, 1992). As sensações de conforto e desconforto térmico são analisadas diretamente com base na temperatura e umidade detectada pela pele, na temperatura sentida no interior do corpo e nos esforços necessários para obter a regulamentação da temperatura corporal. Segundo Lamberts *et al.* (2007), um ambiente termicamente neutro é aquele em que a pessoa se sinta termicamente confortável (sem calor ou frio) em relação ao ambiente em que se encontra. Os primeiros estudos referentes às condições combinadas de temperatura e umidade do ar (termo-higrometria) e suas influências no rendimento operacional em ambientes de produção industrial foram registrados em 1916 (FROTA; SCHIFFER, 2007). Essas pesquisas tiveram a participação da Comissão Americana de Ventilação (CAV), cujo objetivo foi avaliar o rendimento do trabalho dos operários que desempenhavam atividades físicas em diferentes temperaturas. Também foram investigadas as condições às quais soldados em guerra são submetidos. Os estudos comprovam que, para esforços físicos, o aumento da temperatura de 20 para 24°C diminui o rendimento em 15%. Em ambientes cuja temperatura seja de 30°C e a umidade relativa do ar em torno de 80%, o rendimento diminui por volta de 28% (FROTA; SCHIFFER, 2007).

Áreas como engenharia, arquitetura, medicina e atualmente o *Design* vêm se dedicando ao estudo do conforto humano, buscando melhorar o conforto pessoal onde se vive, trabalha, estuda, diverte, etc. No século XVIII, quando a Revolução Industrial apresentou ao mundo o atual sistema de produção, não se imaginava que ela seria responsável por mais outra revolução. O conceito de lar que temos nos dias de hoje foi formado em consequência dessa revolução. A partir do momento em que as atividades produtivas e de comercialização foram desvincilhadas das residências e transferidas para as fábricas, lojas e escritórios, as casas assumiram o caráter exclusivo de um espaço doméstico de desfrute do tempo ocioso. Com todas essas mudanças, as casas passaram a adquirir caráter novo e diferenciado, a preocupação agora passou a ser deixar mais harmoniosos o ambiente doméstico, a decoração e o *design* dos objetos que passam a compor o ambiente. Toda essa evolução que ocorreu para que as residências fossem transformadas em lar é visível até nos dias atuais. Exemplo disso é a importância que a cozinha adquiriu como cômodo de maior relevância nas residências, um posto anteriormente mantido pelas salas de visitas. Essa mudança se deve ao fato de que não se possuía mais uma grande quantidade de empregados e os

trabalhos domésticos acabaram sendo absorvidos pelos membros da família (FORTY, 2007).

O ambiente doméstico é o seu local de refúgio, um espaço criado para se manter afastado do caos do cotidiano e lhe proporcionar conforto, funcionalidade e prazer, um conjunto com espaços e objetos que o compõem em uma disposição harmoniosa. Essas informações foram disponibilizadas pela *Reader's Digest* para publicação no "O Grande Livro da Decoração", em 1976. Contudo, Forty (2007) realça o fato de que o lar se torna uma fonte de bem-estar físico, uma transformação de ambiente visível quando passou de um espaço de beleza para se tornar um espaço eficiente. Dessa forma, a criação de novos materiais que permitam criar ambientes termicamente confortáveis e busquem satisfazer as necessidades de conforto de forma sustentável passa a ser compromisso ético entre os profissionais e pesquisadores (BARBOSA; LAMBERTS, 2002).

Uns dos materiais utilizados são os compósitos poliméricos, que são a combinação macroscópica entre dois ou mais materiais com características superiores e também inferiores aos dos seus constituintes originais. Esses materiais são produzidos pela mistura (seja ela física ou química) de duas fases, uma contínua e outra descontínua (elemento de reforço e matriz), podendo ser na forma de partículas, fibras ou mantas. Uma definição mais teórica diz que um compósito é um material multifásico que apresenta propriedades diferentes de cada componente individual, de modo a produzir a combinação dessas propriedades. E de acordo com esse princípio da ação combinada, melhores propriedades são criadas a partir de adequada escolha de materiais (CALLISTER JR., 2007). Tecnicamente, os compósitos mais importantes são os que na fase dispersa encontram-se na forma de uma fibra. Resistência e/ou rigidez alta são as características perseguidas frequentemente, sendo expressas em termos de resistência específica e módulo específico. A maioria dos compósitos é desenvolvida visando à melhoria das propriedades mecânicas, como rigidez, resistência e tenacidade, sendo às vezes exploradas combinadamente outras propriedades, como resistência às condições ambientais e às altas temperaturas (CALLISTER, 2005). Satyanarayana, Arizaga e Wypych (2009) analisam em sua pesquisa os pontos que se destacam como favoráveis para a utilização de fibras naturais de origem vegetal como reforço em compósitos. Destacam-se a abundância de suas fontes renováveis e o aumento de interesse das questões sustentáveis.

As fibras vegetais vêm sendo utilizadas por diversas culturas e sua aplicação é das mais variadas. Inicialmente, as fibras eram utilizadas para fabricação de artefatos rústicos como bolsas, mantas, cordas, redes, pincéis, cestos, entre outros produtos que eram comercializados no mundo há centenas de anos. Mais recentemente, estudiosos começaram a investigar as fibras vegetais como reforço em materiais compósitos poliméricos, destacando-se os compósitos de matriz termorrígida (SINGH *et al.*, 1994). Por se tratar de um produto de grande apelo ambiental e baixo custo, as fibras vegetais tornam-se excelentes matrizes para aplicação em materiais compósitos. Suas vantagens são amplas e estão normalmente associadas a baixo custo de produção e processamento, além de ser biodegradável, atóxico, passível de reciclagem, baixa densidade, boas propriedades mecânicas, baixa abrasividade se comparado às fibras sintéticas.

Entre as fibras utilizadas atualmente, destacam-se a fibras extraída do curauá, uma planta que é conhecida cientificamente como *ananas erectfolius*. O curauá é uma é

uma planta amazônica conhecida desde os tempos pré-colombianos, pela qualidade de suas fibras que são extraídas das folhas da planta. O crescente interesse pela fibra natural de curauá impulsionou seu cultivo em larga escala na região Amazônica. É uma planta com boas propriedades mecânica e térmica, de fácil manejo, resistente a pragas, podendo ser cultivada em consórcio com outras culturas ou em áreas de reflorestamento e produção de madeira, tornando-se fonte de renda e diversificação de culturas para pequenos agricultores, podendo também ser cultivada em grandes plantações. A planta vem atraindo a atenção dos pesquisadores, particularmente a partir de 1993, quando sua fibra foi reconhecida comercialmente pela indústria automotiva brasileira (ZAH *et al.*, 2007). O espécime apresenta duas variedades: curauá roxo-avermelhado e curauá verde-claro, denominado de curauá branco (LEDO, 1967) (FIGURA 1). A resistência à tração da fibra de curauá é cinco a nove vezes maior que a do sisal ou da juta. As folhas de onde são extraídas as fibras medem aproximadamente 1,0 a 1,5 m de comprimento e 4,0 a 7,0 cm de largura e 5 mm de espessura, dependendo da sua variedade. Com aproximadamente oito meses as folhas rendem 5-8% de fibras (MONTEIRO; AQUINO; LOPES, 2008).



FIGURA 1 - Cuauá roxo e curauá verde.

Os compósitos poliméricos que utilizam fibras naturais como reforço, permitem o seu processamento e aplicação. Satyanarayana, Arizaga e Wypych (2009) analisam em sua pesquisa os pontos que se destacam como favoráveis para a utilização de fibras naturais de origem vegetal como reforço em compósitos. Destacam-se a abundância de suas fontes renováveis e o aumento de interesse das questões sustentáveis. Outros dados de análises comparativas foram reunidos pelos autores e encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparação de algumas propriedades, entre fibras sintéticas e fibras vegetais

Fibras	Peso	Resistência	Módulo	Conteúdo
Fibras Vegetais	0,6 – 1,2	1,60 – 2,95	10 – 130	4
Vidro	2,6	1,35	30	30
Kevlar	1,4	2,71	90	25
Carbono	1,8	1,71	130	130

Fonte: adaptado de Satyanarayana, Arizaga e Wypych (2009).

Dessa forma, a criação de novos materiais que permitam criar ambientes termicamente confortáveis e busquem satisfazer as necessidades do conforto, de forma sustentável passa a ser compromisso ético entre os profissionais e pesquisadores. Nesse sentido, diferentes estudos estão sendo desenvolvidos para avaliar as questões pós-ocupação de edifícios, mostrando a influência das condições de conforto térmico sobre a qualidade do ambiente e sua influência sobre o desempenho dos usuários e do seu conforto pessoal (BARBOSA; LAMBERTS, 2002; BATIZ *et al.*, 2009; CONCEIÇÃO; LÚCIO, 2011).

Uma das formas de analisar esses materiais e a sua eficiência relacionada ao conforto térmico, é através da termografia infravermelha, que é uma técnica que utiliza um equipamento (visor térmico) que capta a radiação térmica emitida pela superfície em estudo sem a necessidade de contato. Esse equipamento converte a radiação térmica emitida pela superfície do objeto, que é invisível ao olho humano, devido ao seu comprimento de onda em imagens visíveis e detalhadas do perfil de temperaturas da sua superfície. Sua história tem início em 1800, quando Willian Herschel descobriu os raios infravermelhos. Ele tentava conhecer quais cores do espectro eram responsáveis pelo aquecimento dos objetos. Chegou então à conclusão que a temperatura subia à medida que se passava da cor violeta para o vermelho e que a maior temperatura ocorria para além do vermelho, para além do visível. Contudo, a termografia teve o seu nascimento mais especificamente no pós-guerra, quando foi amplamente aplicada no rastreamento e localização noturna de alvos.

O método de captação da energia térmica dos materiais utilizando a termografia infravermelha é feito por meio de um equipamento que mede, calcula e reproduz a radiação a partir de detectores sensíveis ao infravermelho (atualmente em torno de 307.200 *pixels*) e a converte em sinais elétricos. Esses sinais normalmente são baixos e proporcionais ao fluxo de radiação, por isso são amplificados, lidos e processados em *softwares* e são transformados em imagens térmicas, os termogramas (FIGURA 2).

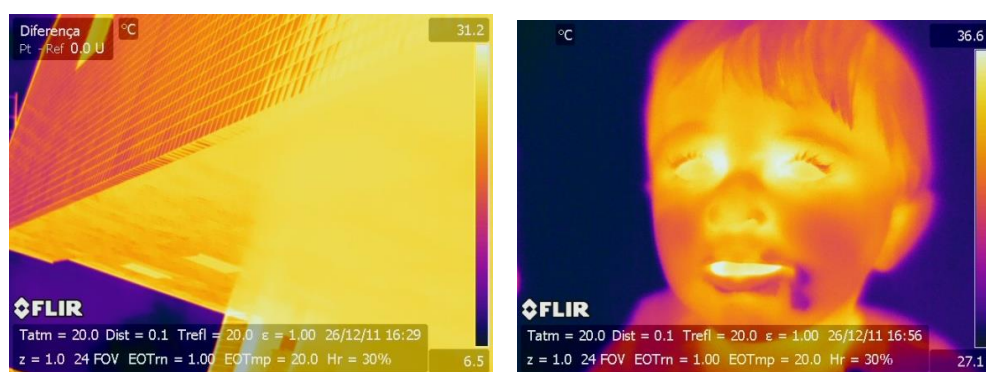


FIGURA 2 – Imagens térmicas de uma fachada de edifício e de uma criança
Fonte: cedidas por Sales (2011).

Dependendo do tipo de análise desejado, as câmaras termográficas são capazes de detectar variações de temperatura de forma qualitativa ou quantitativa (VERATTI, 2007). Na termografia qualitativa a imagem térmica é feita a partir de uma análise simples, em que são registradas apenas as diferenças de temperatura na superfície do material, indicando a existência ou não de uma anomalia. Pesquisa apresentada por Oliveira (2012) mostra o uso da termografia qualitativa para investigar zonas com deficiência de isolamento térmico em edifícios, como fuga de ar pelos fechamentos e umidade. Já na termografia quantitativa, a análise da imagem considera, além das

variações de temperatura superficiais existentes, também outros parâmetros, como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, distância da superfície, emissividade, temperatura refletida, entre outras. As imagens térmicas podem ser analisadas por meio de *softwares* específicos do fabricante, nos quais são selecionados valores de dados capazes de traduzir quantitativamente os pontos de interesse. A partir desses dados é possível gerar gráficos e tabelas com auxílio do *Excel* e programas matemáticos como o *Matlab*, o que possibilita construir gráficos, mapas de temperatura e/ou mapas de superfície 3D.

2.2 Materiais

As fibras naturais de curauá utilizadas foram adquiridas da produção do sítio “Tucuxi”, que fica no município de Nova Olinda do Norte, no estado do Amazonas. As etapas de coleta e beneficiamento foram orientadas e acompanhadas de um engenheiro florestal do CBA.

Para a preparação dos compósitos baseados em amido e fibras foram utilizados amido de mandioca (*Manihot esculenta*) - fornecido pela Amidos Navirai, Glicerol (Synth), água deionizada e a fibra de curauá.

Para a confecção das amostras baseadas em PEBD/amido e fibra curauá, foi utilizado o PEBD (*Quattor*), PE-g-AM da Aldrich e PE-g-AM peletizado *Fusabond* MB 226D da DuPont.

Além disso, foram utilizados blocos de cerâmica (tijolo furado comum) fabricados no mercado de Belo Horizonte, MG, com dimensões de 14 x 19 x 29 cm e cola branca (acetato de polivinila) para aderência da fibra ao bloco de cerâmica. Os materiais utilizados foram adquiridos no comércio de Belo Horizonte. Depois de prontas, as amostras permaneceram por 24 horas em temperatura ambiente para climatização com o ambiente de teste. Esses blocos foram utilizados para o ensaio de termografia.

2.3 Método

Para a preparação dos compósitos baseados em amido e fibras de curauá, foram utilizadas as proporções de 90% m/m de água deionizada, 7% m/m de amido de mandioca e 3% m/m de glicerol. A mistura foi depositada em balão de 500 mL, que foi tampado com uma rolha, a qual foi fixada à haste do agitador mecânico (modelo Fisaton 713D). O balão foi aquecido usando-se uma manta térmica a 80°C por um período de aproximadamente 20 minutos. O sistema foi mantido sob agitação constante (180 rpm), usando um agitador mecânico. O processo de gelificação do amido ocorre quando a mistura aproxima-se de 80°C e sua coloração passa de branco para transparente. A próxima etapa foi a adição das fibras de curauá, que foram cortadas com uma tesoura em um comprimento de aproximadamente 5 mm e foram misturadas manualmente ao polímero de amido de mandioca. As proporções de fibra de curauá utilizadas na mistura foram de (A 10% m/m), (B 20% m/m) e (C 30% m/m) em relação à quantidade de amido de mandioca e glicerol da composição (somatório dessas quantidades). Após serem misturados, o conteúdo foi depositado em formas circulares de polipropileno e alocados em estufa marca Imaco, à temperatura de aproximadamente 60°C durante 48h para que ocorresse a evaporação da água das amostras.

O compósito amido/fibra de curauá foi misturado ao PEBD e PE-g-AM nas proporções de 50, 47 e 3% m/m, respectivamente, usando um misturador *Thermo-Haake*, modelo *Polylab*, pelo período de cinco minutos à temperatura de 120°C. O compósito resultante foi, então, moldado por compressão em prensa térmica (SAGEC), também a 120°C, dando origem a placas retangulares de 20x20 cm e 1 mm de espessura. Para facilitar a interpretação dos resultados, as amostras foram classificadas em: **A** (PEBD + PE-g-AM), **B** (PEBD + PE-g-AM + amido com 10% m/m de fibra), **C** (PEBD + PE-g-AM + amido com 20% m/m de fibra) e **D** (PEBD + PE-g-AM amido com 30% m/m de fibra). Também foram preparadas amostras de PEBD e PE-g-AM sem fibra, de forma a se ter um referencial para estudo da influência das fibras.

As amostras foram recortadas em dimensão favorável ao ensaio (7 x 10 cm) e foram aplicadas sobre o bloco cerâmico utilizando-se cola branca. Após secagem de 24 horas os ensaios de termografia foram realizados. Os pontos A, B, C e D foram estabelecidos como área de estudo (placa de compósito), sendo a amostra A de controle (sem adição de fibra), B com 10% m/m, C com 20% m/m e D com 30% m/m de fibra de curauá. A montagem do experimento contou com a ajuda de dois blocos laterais para garantir que o calor do aquecedor permanecesse na parte posterior do modelo, conforme mostrado na Figura 3. A câmera termográfica foi posicionada a 150cm de distância das amostras e a temperatura ambiente registrada foi de 24°C. O teste consistiu no aquecimento na parte posterior do bloco, até que a face oposta atingisse temperaturas que permitissem a coleta das imagens. As medidas foram registradas aos 20, 40, 50 e 65 minutos de aquecimento. Foi avaliada a temperatura da superfície da face oposta ao aquecimento do bloco de cerâmica e das amostras.



Figura 3 -PEBD, (B) Amido/PEBD/10% m/m Fibra, (C) amido/PEBD/20% m/m fibra, (D) Amido/PEBD/30% m/m fibra.

Para a realização do ensaio termográfico desta pesquisa foram utilizados os parâmetros e a câmera termográfica *Thermacam Flir* modelo P640, *high definition*, com detector de 640 x 480, 307.000 *pixels* de resolução, escala de temperatura de -40°C a 500°C e precisão de 2° ou 2% (ou seja, a cada 100°C pode haver uma diferença para mais ou para menos de 2°) da leitura de medição, operando na faixa espectral entre 7,5 e 13 μm , calibrada para captar a energia térmica correspondente à emissividade de 0,95, valor indicado pelo ITC (2013) próximo do recomendado por Incropera e DeWitt (2003), que é de 0,93. O equipamento foi disponibilizado pelo Centro de Estudos em *Design* e Tecnologia (CEDtec) da Universidade do Estado de

Minas Gerais. Como fonte de calor utilizou-se um aquecedor elétrico portátil de giro, modelo *DCH2590ER Delonghi* (FIGURA 4).



FIGURA 4 – Câmera termográfica infravermelha e aquecedor elétrico

2.4 Análise de Resultados

Percebe-se que aos 40 minutos de teste, apesar do aquecimento elétrico na face oposta dos materiais, foi registrada queda da temperatura ambiente (a temperatura máxima caiu de 27,2 para 24,9°C). Essa queda de temperatura não afetou a área de teste, pois o calor do aquecedor elétrico já pode ser percebido por condução na face frontal do experimento. Os blocos utilizados para vedação lateral apresentaram temperatura ligeiramente mais elevada no início dos testes. Essa temperatura também foi monitorada para verificar sua interferência nos ensaios. A Figura 5 mostra os termogramas obtidos após 20, 40, 50 e 65 minutos.

A amostra de referência (PEBD) exibiu temperatura bem próxima da do bloco (24°C) e a quantidade de fibra presente (PEDB/PE-g-AM/fibras curauá na proporção de 10, 20 e 30% m/m) também foi perceptível. Quanto mais alto o percentual de fibra, maior a resistência térmica da amostra. Aos 50 minutos de teste a amostra de referência (PEBD) praticamente igualou a temperatura do bloco (24.5/24.8°C) e o percentual de fibra ficou ainda mais evidente. Quanto maior o número de fibras na amostra, maior a resistência térmica. Aos 65 minutos o termograma mostrou que o calor aplicado na parte posterior do modelo e transmitido através do material começou a saturar as amostras com baixo percentual de fibra. No entanto, ainda ficou perceptível a interferência da fibra com adição de 30% m/m.

A termografia foi capaz de perceber que a quantidade de fibras influenciou nos resultados e que o material com mais teor de fibras (30% m/m) se manteve mais estável que os outros, com 10 e 20% m/m de fibras. O PEBD ficou visivelmente mais aquecido que os compósitos PEBD/PE-g-AM/fibras curauá. Knupp *et al.* (2012) apresentam trabalho no qual um dos parâmetros de estudo foi os efeitos da posição do aquecimento sobre o procedimento experimental em placa de nanocompósito fino, feito de resina de poliéster e de nanopartículas de alumina, mostrando que melhorias significativas podem ser conseguidas a partir da adequada localização do aquecimento ao longo da região de estudo e das propriedades a serem estimadas.

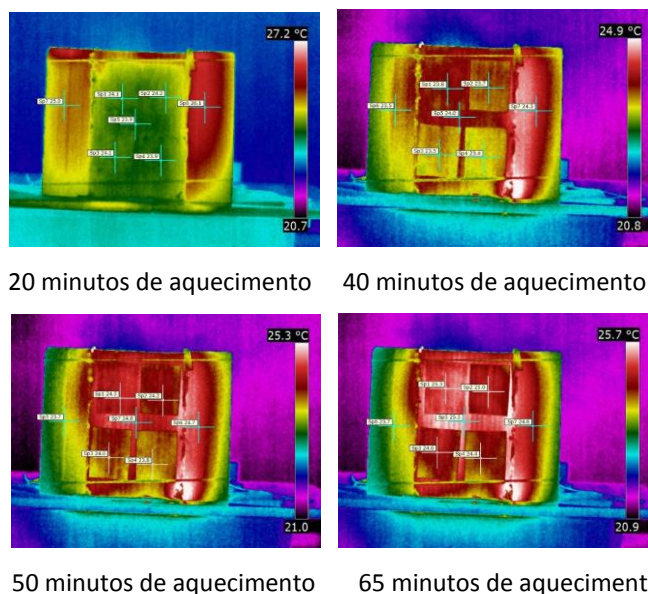


FIGURA 5 - Termograma realizado aos 20, 40, 50 e 65 minutos de aquecimento
Fonte: do autor.

O Quadro 2 informa o horário das medições, o tempo de aquecimento dos materiais, as temperaturas dos blocos laterais esquerdas e direitas (máximas) e da área em estudo.

Quadro 2 – Relação dos horários de medição da área em estudo e das amostras

Hora	Tempo Aquec.	Área em estudo Medidas máximas			Amostra Medida pontal			
		Lateral Esq. (°C)	Lateral Dir. (°C)	Área central do modelo (°C)	A (°C)	B (°C)	C (°C)	D (°C)
10:40	00:20	25,0	26,1	23,9	24,1	24,2	24,1	23,9
11:00	00:40	23,5	24,3	24,0	23,8	23,7	23,5	23,4
11:10	00:50	23,7	24,7	24,8	24,5	24,2	24,0	23,8
11:15	00:65	23,7	24,6	25,5	25,3	25,0	24,6	24,4

2.5 Conclusão

Os resultados confirmam a análise visual. Os blocos laterais não afetaram o ensaio, o monitoramento realizado ao longo do teste confirma que a temperatura na face do bloco evoluiu, enquanto nos blocos laterais foi identificada a regressão das temperaturas. A temperatura no centro do modelo aumentou progressivamente. O calor que passou por condução pelo bloco mostrou que a amostra com mais alto percentual de fibra teve resistência térmica melhor se comparado às outras amostras. O material apresenta um grande potencial, devido ao seu comportamento no teste, onde o material com maior concentração de fibras apresentou maior resistência a influência térmica do aquecimento que os demais materiais.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idarea=493>. Acesso em: 24/05/2013.
- ASHRAE. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1994. Disponível em: www.ashrae.org. Acesso em: 26/05/11.
- BARBOSA, M.J.; LAMBERTS, R. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina – PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, p. 15-18, 2002.
- BATIZ, E.C. *et al.* Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 477-488, set./dez. 2009.
- CALLISTER JR., W.D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. Belo Horizonte: LTC, 2007.
- CONCEIÇÃO, Z.E.; LÚCIO, M.M.J.R. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom equipped with radiant cooling systems and subjected to uniform convective environment. **Applied Mathematical Modelling**, v. 35, p. 1292-1305, 2011.
- ELETOBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras. Disponível em: <http://www.eletobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7B32B00ABC-E2F7-46E6-A325-1C929B14269F%7D>. Acesso em: 24/05/13.
- FORTY, A. **Objetos de desejo**: design e sociedade desde 1750. Cosac 2007.
- FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual do conforto térmico**. 8. ed., São Paulo: Studio Nobel, 2007. 43 p.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.
- IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em: <http://www.ipam.org.br>. Acesso em: 25/05/11.
- LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br>. Acesso em: julho de 2012.
- LEDO, I.A.M. **O cultivo do curauá no Lago Grande de Franca**. Banco da Amazônia, Belém, 1967.
- MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D. Performance of curauá fibers in pullout tests. **Journal of Materials Science**, v. 43, pp. 489-493, 2008.
- MONTGOMERY, D.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5. ed., São Paulo: LTC, 2012.
- OLIVEIRA, C.A. **Termografia**: exame sem dor e não invasivo. Disponível em: <http://www.mundosemdor.com.br/termografia-%E2%80%93-exame-100-seguro-nao-tem-dor-e-nao-e-invasiva/>. Acesso em: 2012.
- SALES, R.B.C. **Estudo de compostos de cimento Portland utilizando o ensaio de frequência ressonante forçada e termografia**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- SATYANARAYANA, K.G.; ARIZAGA, G.G.C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers: an overview. **Progress in Polymer Science**, v. 34, p. 982-1021, 2009.
- SINGH, B. *et al.* Studies on polymer composites based on sisal polyester and glass modified sisal fibers, filler and unsaturated polyester resin. **Research and Industry**, v. 39, n. 1, pp. 38-42, 1994.

VERATTI, A.B. **A revolução infravermelha**. Disponível em:

www.termonautas.com.br/art21.asp. Acesso em: maio 2007.

ZAH, R. *et al.* Curaua fibers in the automobile industry - A sustainability assessment.

Journal of Cleaner Production, v. 15, n. 11-12, p. 1032-1040, 2007.