

## **PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE CÂMARA CLIMÁTICA MÓVEL DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDOS DE AMBIÊNCIA TÉRMICA NO BRASIL**

**Livia Yu Iwamura Trevisan (1); Eduardo L. Krüger (2); Leandro Carlos Fernandes (3);  
Cintia Akemi Tamura (4)**

- (1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, livia.iwamura@gmail.com  
(2) Doutor, Professor do Departamento de Construção Civil, ekruger@utfpr.edu.br  
(3) Arquiteto, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, fernandes.ufpr@gmail.com  
(4) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, cintiatamura@gmail.com  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville, Curitiba-PR,  
CEP 81280-340, Tel.: (41) 3279 4521

### **RESUMO**

A crescente importância da questão climática e da sustentabilidade do ambiente construído são estímulos ao estudo do conforto ambiental e da arquitetura bioclimática. Embora tais pesquisas já estejam difundidas em países desenvolvidos, a complexidade dos experimentos de campo inibe sua replicação em localidades onde há restrições orçamentárias. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor a construção de uma câmara climática móvel de baixo custo, voltada a estudos de ambiência térmica no Brasil. Inicialmente, realizou-se um levantamento de estruturas correlatas instaladas em âmbito nacional. A constatação da carência de equipamentos brasileiros dedicados ao estudo do conforto ambiental fomentou a concepção da câmara climática, a partir da simplificação conceitual de uma sofisticada câmara climática alemã. O projeto preliminar considerou a transformação de um container em duas câmaras com cerca de 7 m<sup>2</sup>, móveis e rotacionáveis. A adoção de mão-de-obra local e materiais regionais garante a viabilidade técnico-financeira da câmara e incentiva sua respectiva execução e replicação no Brasil e em outros países em desenvolvimento. Levando em conta o estágio inicial de desenvolvimento da câmara, o resultado preliminar da pesquisa corresponde à própria concepção arquitetônica do equipamento. Por fim, é importante mencionar que a câmara ainda não foi construída, e que experimentos futuros serão divulgados oportunamente.

Palavras-chave: câmara climática, conforto ambiental, arquitetura bioclimática, desempenho térmico.

### **ABSTRACT**

The increasing importance of climate-related and sustainability issues concerning the built environment are strong motivators to study environmental comfort and bioclimatic architecture. Although related research is already widespread in developed countries, the complexity involved in field experiments inhibits their replication in locations with budget constraints. In this context, the objective of the present work is to propose the construction of a low-cost, movable climate chamber, devoted to thermal comfort studies in Brazil. Firstly, it was carried out a survey of related structures installed nationwide. The lack of Brazilian equipment devoted to indoor comfort research encouraged the climate chamber conceiving, based on the conceptual simplification of a sophisticated German climate chamber. The preliminary project considered the transformation of a container into two chambers of approximately 7m<sup>2</sup>, with independent rotation and movement. The intended use of local labor and regional materials guarantees technical and financial feasibility of the chamber and encourage its implementation and replication in Brazil and other developing countries. Taking into account the initial stage of chamber's development, the preliminary result of this research corresponds to the equipment's architectonic conception itself. Finally, it is worth mentioning the chamber has not yet been built. Future experiments will be published in due course.

Keywords: climate chamber, indoor comfort, bioclimatic architecture, thermal performance.

## 1. INTRODUÇÃO

A interferência antrópica no meio ambiente tem sido pautada pela intensificação e recorrência de desastres ambientais. Nos centros urbanos, o adensamento populacional compromete ainda mais o meio ambiente e a qualidade de vida, ao invés de motivar a oferta de condições plenas à sociedade, inclusive no que tange ao conforto ambiental (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009). Ademais, o impacto sobre o clima e o meio urbano é impulsionado pela industrialização e crescente frota de veículos, devido à queima de combustíveis fósseis e respectiva emissão de gases de efeito estufa. Tal fenômeno provém da interação entre a atmosfera e a energia emitida pelo resfriamento terrestre, regulando a temperatura (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Outra manifestação climática típica de centros urbanos são as ilhas de calor, um “oásis inverso” no qual o calor absorvido aquece a área urbanizada em relação às áreas circundantes. A retenção de energia solar se dá pelo emprego de materiais escuros e/ou impermeáveis em edifícios e pavimentação, diminuição da velocidade dos ventos e aumento do calor antropogênico e da poluição do ar (GARTLAND, 2010).

Quanto à investigação da percepção humana do clima, uma câmara climática permite controlar variáveis ambientais e pessoais, além de simular a exposição humana a situações de conforto ou stress térmico (CARVALHAIS, 2011). Um exemplo da aplicação de câmaras climáticas em investigações relativas à ambiência térmica é a análise de desempenho térmico de materiais e técnicas construtivas. Nesse contexto, cumpre destacar a importância do estudo de sistemas de condicionamento passivo, visando à otimização do desempenho térmico e lumínico de edificações (KRÜGER *et al.*, 2010).

No final da década de 1960, a primeira câmara climática dedicada a experimentos com seres humanos foi construída na *Technical University of Denmark* (DTU, 2017). Os fundamentos do conforto térmico foram balizados em resultados obtidos nessas câmaras climáticas pioneiras (FANGER, 1972), apesar da dificuldade de avaliar o processo adaptativo ao ambiente. Nesse sentido, a versatilidade de regulação das condições ambientais em câmaras climáticas mais recentes possibilitou configurar uma combinação ideal de variáveis para cada experimento, como por exemplo ao simular determinada situação de conforto (DE DEAR *et al.*, 1997, HUMPHREYS; NICOL, 1998). Pesquisas relacionadas ao conforto ambiental na DTU evoluíram significativamente com a fundação do *International Centre for Indoor Environment and Energy* (ICIEE), cuja estrutura conta com seis câmaras climáticas e outros seis espaços dedicados ao estudo do conforto humano, saúde, produtividade e eficiência energética (TOFTUM; LANGKILDE; FANGER, 2004).

No Brasil, a indisponibilidade orçamentária é um fator limitante à realização de pesquisas científicas. No que concerne à aquisição de câmaras climáticas de grande porte, tanto equipamentos pré-fabricados (MECALOR, 2017) quanto ambientes construídos sob medida costumam ser dispendiosos, demandando investimentos da ordem de R\$1,2 milhão (ME, 2015) a R\$ 6 milhões (IPT, 2013). Assim, a escassez de recursos financeiros usualmente viabiliza a aquisição de câmaras econômicas de pequeno porte, disseminando seu respectivo emprego em áreas de pesquisa diversas (JORGE, 2002; NUNES *et al.*, 2007).

Todavia, para estudar a percepção de conforto humano, é imprescindível que a câmara climática tenha dimensões mínimas que permitam a permanência e circulação do usuário. Desta forma, visando conciliar o estudo do conforto ambiental e do desempenho térmico de materiais e edificações, propõe-se a confecção de uma câmara climática customizada de baixo custo, de modo a fomentar a pesquisa experimental auxiliada por câmaras climáticas no Brasil e exterior.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é propor a construção de uma câmara climática móvel de baixo custo, para exposição ao ambiente externo, dedicada a estudos de ambiência térmica no Brasil.

## 3. MÉTODO

A metodologia adotada neste artigo pode ser dividida em três etapas principais:

1. Levantamento de estruturas correlatas existentes no Brasil;
2. Elaboração do estudo preliminar da câmara climática proposta; e
3. Análise de viabilidade técnica e econômica da confecção e reprodução do protótipo.

Cumpre informar que este trabalho é parte integrante do Projeto “Construção de câmara climática para experimentos nas áreas de conforto ambiental e arquitetura bioclimática”, submetido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) ao Edital Universal MCTI/CNPq nº 01/2016, com orçamento pré-aprovado de R\$ 117.595,84 (KRÜGER, 2016). Por esse motivo, propõe-se a instalação do protótipo nas dependências da UTFPR, conforme descrito a seguir.

### 3.1. Caracterização da área de estudo

A câmara climática será implementada em uma área externa da UTFPR, *Campus Curitiba*, Sede Ecoville, onde estão situados o Departamento de Construção Civil (DACOC) e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) desta universidade. A Sede Ecoville localiza-se na região Leste do município de Curitiba. A partir da análise da infraestrutura existente nesta sede, foram estudadas duas alternativas de locação da câmara climática, conforme indicado na Figura 1:

- A. No bolsão principal de estacionamento; ou
- B. Próximo aos protótipos de edificações desenvolvidos pelo DACOC.



Figura 1 - Opções de locais para a instalação da câmara climática na UTFPR: (A) área do estacionamento; (B) próximo aos protótipos do DACOC (adaptado de GOOGLE, 2017; acervo dos autores, 2017).

Considerando a facilidade de acesso e a praticidade de operação da câmara climática, a opção A seria ideal para a instalação do protótipo. Nesse sentido, a opção B é menos favorável, uma vez que as edificações existentes e a vegetação do entorno podem obstruir parcialmente a incidência de irradiação e o fluxo natural da ventilação no local. Independente da localização inicialmente definida, propõe-se que a câmara climática seja móvel, de modo a viabilizar relocações posteriores.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

A relevância da questão climática reforça a demanda por proposições relativas à arquitetura bioclimática e ao conforto ambiental. Considerando o uso preponderante de ambientes internos no meio urbano, a definição e otimização de padrões de ocupação pode configurar uma estratégia de mitigação do impacto das mudanças climáticas. Neste contexto, propõe-se que a câmara climática seja utilizada em experimentos relacionados à ambiência térmica, lumínica e comportamental.

Para subsidiar a pesquisa em questão, apresenta-se a seguir uma breve revisão bibliográfica sobre câmaras climáticas e um levantamento dos protótipos existentes no Brasil, especialmente aqueles instalados em instituições de ensino e pesquisa.

Detalha-se também a câmara climática *Laboratory for Occupant's Behaviour, Satisfaction, Thermal comfort, and Environmental Research* (LOBSTER), do Karlsruhe Institute of Technology (KIT), situada na Alemanha. A escolha deste equipamento como referência foi determinada pela experiência dos autores em sua operação ao longo de 12 meses, em período de estágio sanduíche e estágio docência. Algumas pesquisas resultantes desta parceria entre instituições são descritas em Krüger *et al.* (2016), Krüger *et al.* (2017) e Tamura e Krüger, (2016).

### 4.1. Câmaras climáticas

O termo “câmara climática” refere-se a uma instalação que permite simular determinadas condições de temperatura e umidade, sendo amplamente utilizada em instituições de pesquisa, indústria farmacêutica e alimentícia (BRIONIZIO; MAINIER, 2006). Por analogia à definição de câmara térmica determinada pelo

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), uma câmara climática é um volume fechado, cujos parâmetros internos de temperatura e umidade podem ser controlados, dentro de uma faixa pré-definida (INMETRO, 2013).

Cada câmara climática possui dimensões e características específicas, de acordo com sua finalidade e funcionamento. Quanto ao porte, o termo “câmara climática” pode se referir a um equipamento instalado no interior de um laboratório ou a um ambiente construído sob medida. A primeira classificação corresponde aos aparelhos industrializados de pequenas dimensões, instalados sobre bancadas (ex.: autoclave, estufa, incubadora) ou diretamente apoiados no chão (ex.: armário condicionado). Já as câmaras *walk-in* são grandes o suficiente para viabilizar o acesso e a utilização do espaço por usuários. A construção sob medida permite configurar o equipamento de forma personalizada, conforme a finalidade pretendida, possibilitando inclusive sua exposição ao ambiente externo.

Uma câmara climática pode ser utilizada para diversos fins: reprodução e desenvolvimento de seres vivos; preparação de amostras; esterilização de materiais e equipamentos; calibração de instrumentos; etc. Boa parte das câmaras climáticas instaladas no Brasil é voltada ao controle de processos e produção nos setores da indústria, agricultura e pecuária. Normalmente, essas instalações são concebidas e fabricadas sob medida, de acordo com a aplicação requerida, com parâmetros personalizados de dimensionamento, faixas de temperatura e umidade relativa, além da previsão de dispositivos de testes especiais. Considerando as câmaras industrializadas atualmente instaladas no Brasil, destacam-se as seguintes aplicações:

1. Agricultura: estudo da interferência de variáveis climáticas no crescimento e desenvolvimento das plantas, através da variação da temperatura e da concentração de CO<sub>2</sub> (EMBRAPA, 2007).
2. Pecuária: zona de conforto térmico na produção animal (EUSTÁQUIO FILHO *et al.*, 2011).
3. Saúde: esterilização e desinfecção de materiais e equipamentos (JORGE, 2002).
4. Indústria automotiva: ensaios de veículos automotores e autopeças (MECALOR, 2017).
5. Indústria farmacêutica: comportamento e estabilidade de medicamentos (NUNES *et al.*, 2007).

No que concerne à investigação do conforto ambiental em si, um estudo de campo é uma análise de atividades habituais desenvolvidas pelo indivíduo, condicionada às condições ambientais reais do meio. Por outro lado, um estudo realizado em ambiente controlado permite ajustar variáveis ambientais, de modo a simular a exposição do indivíduo a inúmeras situações. Um exemplo dessa aplicação é a análise da percepção humana em ambientes extremos, por meio de testes de isolamento térmico do vestuário e monitoramento das reações fisiológicas do indivíduo (CARVALHAIS, 2011).

Uma câmara climática pode ser usada em diversos experimentos, desde ensaios de materiais e técnicas construtivas a estudos de conformação arquitetônica e orientação geográfica. No que concerne à percepção humana, o controle das variáveis climáticas e pessoais possibilita o desenvolvimento de índices de aferição de conforto ou stress térmico. Apesar da vasta aplicabilidade dessa instalação, não foram localizadas câmaras climáticas destinadas exclusivamente ao estudo de ambiência térmica no Brasil, quer sejam aquelas construídas no interior de laboratórios ou ao ar livre.

Devido à inexistência de estruturas equivalentes à câmara climática proposta, realizou-se um levantamento de dados com foco em três tipos de câmaras instaladas em estabelecimentos nacionais de ensino e pesquisa: câmaras utilizadas em experimentos acadêmicos; destinadas à metrologia; e aquelas voltadas à análise de desempenho e fisiologia do praticante de atividade física, conforme descrito a seguir.

#### 4.1.1. Câmaras destinadas a experimentos acadêmicos

Ao realizar um levantamento de dados em escala nacional, no Diretório de Grupos de Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), não foram encontrados registros de câmaras climáticas dedicadas ao estudo da ambiência térmica (CNPq, 2017). Adicionalmente, constatou-se que o tema “conforto ambiental e eficiência energética” é interdisciplinar, permeando diversas áreas de pesquisa. Embora as pesquisas de conforto ambiental e eficiência energética sejam usualmente vinculadas às Ciências Sociais Aplicadas (Arquitetura e Urbanismo), há também grupos de pesquisa nas áreas das Ciências Exatas e da Terra (Física, Geociências) e das Engenharias (Civil, Elétrica, Mecânica).

Em relação ao uso de câmaras climáticas em experimentos acadêmicos, destacam-se duas entidades sediadas na Universidade de São Paulo (USP): o Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) e o Grupo de Pesquisa em Refrigeração, Ar Condicionado e Conforto Térmico (GREAC).

Na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, o LABAUT atua nas áreas do conforto térmico, acústico e luminoso em edificações e no meio urbano, dentre outros. Um dos projetos do LABAUT é ampliar o laboratório de pesquisas para edifícios, por meio da construção de uma câmara climática dedicada ao estudo de componentes construtivos e configuração de fachadas (DUARTE, 2004). No entanto, não há registros da efetiva construção dessa instalação até o presente momento.



Já no Departamento de Engenharia Mecânica da USP, o GREAC estuda a qualidade do ar, o conforto e o desempenho térmico em ambiente climatizado, além de sistemas de refrigeração e condicionamento do ar (USP, 2017). Dentre os experimentos desenvolvidos no GREAC, Celline *et al.* (2016) analisaram a influência do sistema de ventilação personalizado na dispersão de partículas expiratórias em uma cabine de aeronave. O experimento foi realizado em um *mock-up* de 12 lugares (Figura 2), instalado no Laboratório de Conforto Térmico e de Qualidade do Ar. Como o sistema de climatização permite controlar temperatura e umidade no interior da cabine, esta pode ser considerada equivalente a uma câmara climática.

#### 4.1.2. Câmaras destinadas à metrologia

No Brasil, todos os padrões de medida ficam sob a guarda do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), sendo atribuídos a 37 Laboratórios Metrológicos situados no Campus de Xerém, em Duque de Caxias/RJ. Na Metrologia Térmica, as atividades são distribuídas entre três laboratórios:

1. Laboratório de Termometria (LATER): responsável por padronizar a Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) para aferir termômetros de contato, na faixa de  $-190^{\circ}\text{C}$  a  $1084^{\circ}\text{C}$ .
2. Laboratório de Pirometria (LAPIR): responsável por padronizar a alta EIT-90 para lâmpadas pirométricas, pirômetros padrão e termômetros de radiação, na faixa de  $800^{\circ}\text{C}$  a  $2200^{\circ}\text{C}$ .
3. Laboratório de Higrometria (LAHIG): responsável por padronizar as grandezas “umidade” e “ponto de orvalho” para a calibração de higrômetros, psicrômetros e sensores relacionados.

O LAHIG dispõe uma câmara climática para configurar uma atmosfera ideal à calibração dos sensores de temperatura e umidade relativa (Figura 3), que permite controlar a temperatura no intervalo de  $10^{\circ}\text{C}$  a  $95^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa na faixa de 10% a 98%. Há ainda um gerador de ar com umidade controlada, cuja temperatura do ponto de orvalho varia de  $-75^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$  (INMETRO, 2017).



Figura 2 - *Mock-up* de cabine de aeronave (adaptado de CELLINE; FABICHAK JR.; TRIBESS, 2016).



Figura 3 - Câmara climática do Laboratório de Higrometria (INMETRO, 2017).

No processo de calibração de instrumentos, a avaliação da câmara climática em si é fundamental para assegurar a estabilidade de seus respectivos parâmetros, de modo a minimizar incertezas de medição (BRIONIZIO; MAINIER, 2006). Nesse sentido, cumpre destacar que os serviços de calibração e medição acreditados pelo laboratórios do INMETRO abrangem os seguintes parâmetros de controle em câmaras climáticas: estabilidade, uniformidade e desvio da temperatura e da umidade (INMETRO, 2016).

Outra entidade certificada que realiza ensaios e medições é o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), situado em São José dos Campos/SP. Com uma área total de  $4.5000\text{m}^2$ , o Laboratório de Estruturas Leves do IPT é responsável por testar componentes utilizados pelos setores da energia eólica, gás, petróleo, indústria aeroespacial e automotiva, entre outros. Alguns desses testes são realizados em câmaras térmicas ou climáticas, sob condições específicas de temperatura, pressão e umidade (IPT, 2017).

Todas as câmaras existentes no INMETRO e no IPT são de exposição interna, isto é, situam-se no interior de um laboratório. Suas demais características estão organizadas de modo esquemático na Tabela 1. Além das câmaras apresentadas nesta tabela, o Laboratório de Estruturas Leves do IPT conta com uma “Sala Limpa”, um ambiente de aproximadamente  $1600\text{m}^2$ , equipado com controles de umidade, temperatura e quantidade máxima de partículas/ $\text{m}^3$ . O controle dessas variáveis ambientais configura um pré-requisito ao processamento de materiais compósitos para aplicações aeronáuticas (IPT, 2013). Tomando-se por base essas características, a Sala Limpa pode ser considerada uma câmara climática de grandes proporções.

Tabela 1 - Instituições certificadas do Brasil e respectivas câmaras destinadas à metrologia (INMETRO, 2017; IPT, 2017).

Laboratório / Instituição	Localização	Tipologia e porte da câmara (bancada / walk-in)	Finalidade
LAHIG/INMETRO	Duque de Caxias, RJ	Câmara climática de bancada	Padronização das grandezas umidade e ponto de orvalho; calibração de sensores
LEL/IPT	São José dos Campos, SP	Câmara fria <i>walk-in</i> (4,85m x 3,7m x 2,7m; -18°C)	Armazenamento de compósitos pré-impregnados e resinas
		Câmara térmica de bancada (-150°C a 350°C)	Ensaio estáticos (Máquinas Instron de 100kN)
		Câmara térmica de bancada (até 315°C)	Ensaio dinâmicos (Máquinas MTS de 100 kN)
		Câmara climática de bancada (1,1m x 0,95m x 0,95m; -75°C a 180°C; 10% a 98% UR)	Condição climática de corpos de prova

#### 4.1.2. Câmaras destinadas à avaliação e aperfeiçoamento de atletas

Na área da educação física e da fisiologia do exercício, câmaras climáticas podem ser empregadas no acompanhamento e aprimoramento do desempenho de atletas. Um exemplo é a análise da zona de conforto térmico ideal para o desenvolvimento de determinado exercício físico. No Brasil, são escassas as câmaras dessa tipologia. A seguir, são apresentados três laboratórios equipados com câmaras ambientais internas, *walk-in*, as quais foram concebidas para o uso específico em atividades de educação física.

Na Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) tem como objetivo incentivar pesquisas de natureza pura e aplicada, na Educação Física e áreas afins (UFRGS, 2017). A Figura 4 apresenta uma vista externa da câmara ambiental instalada no LAPEX e a Figura 5, seu respectivo sistema de controle de temperatura e umidade relativa.



Figura 4 - Vista externa da câmara do LAPEX (OLIVEIRA, 2017).



Figura 5- Sistema de controle da câmara do LAPEX (OLIVEIRA, 2017).

Na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a câmara ambiental do Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFISE) permite controlar a temperatura e umidade relativa com precisão, bem como monitorar o consumo de oxigênio e as variáveis termorregulatórias do indivíduo (EEFFTO, 2017). O interior dessa câmara é ilustrado na Figura 6.

Por fim, o terceiro exemplo corresponde à câmara ambiental instalada no Laboratório de Performance em Ambiente Simulado (LAPAS), no Centro de Educação Física da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A vista interna dessa câmara é apresentada na Figura 7. Inaugurado em dezembro de 2015, o LAPAS objetiva disponibilizar modernos equipamentos e infraestrutura aos atletas de ponta, com foco no treinamento para os Jogos Olímpicos de 2016. O laboratório possui a única câmara da América Latina com controle de temperatura (de -40°C a 50°C) e umidade (de 14% a 90%), além de simular a concentração de oxigênio equivalente à altitude máxima de 9.000m (ME, 2015).

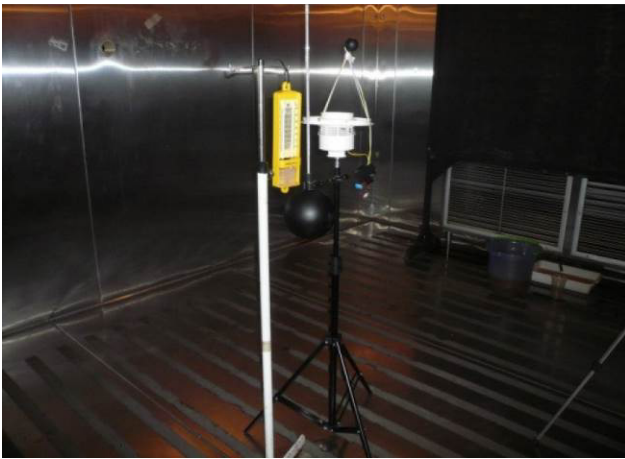


Figura 6 - Vista interna da câmara do LAFISE (HIRASHIMA, 2014).



Figura 7 - Vista interna da câmara do LAPAS (ME, 2015).

## 5. RESULTADOS

Com base na bibliografia consultada e visando preencher as lacunas operacionais observadas nas câmaras atualmente operantes no Brasil, a proposta em questão foi estruturada da seguinte forma: partido arquitetônico a ser adotado na elaboração do projeto arquitetônico; estudo preliminar da câmara climática proposta; e orçamento submetido ao Edital Universal MCTI/CNPq nº 01/2016.

Não obstante, cumpre salientar que esses são os resultados existentes até o momento de submissão deste artigo, uma vez que a câmara climática ainda não foi construída.

### 5.1. Partido arquitetônico da câmara climática proposta

Ao conceber o estudo preliminar, adotou-se como partido arquitetônico a simplificação conceitual do LOBSTER, uma sofisticada câmara climática situada na cidade de Karlsruhe, Alemanha. O sistema de controle das variáveis ambientais do LOBSTER provê subsídios à verificação do conforto adaptativo e do comportamento do usuário (SCHWEIKER *et al.*, 2014). A vista interna do LOBSTER é apresentada na Figura 8 e o respectivo *layout*, na Figura 9.



Figura 8 - Vista interna do LOBSTER (Os autores, 2015).

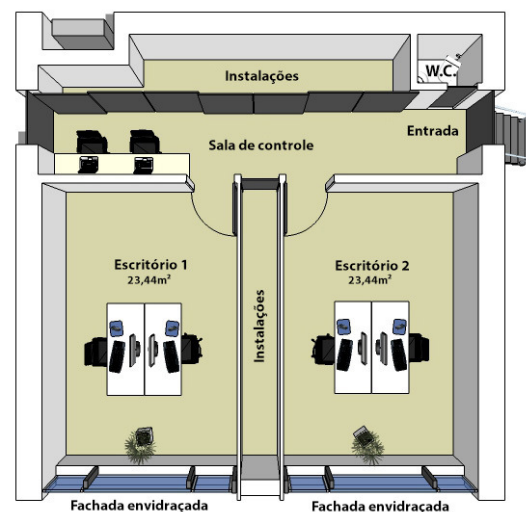


Figura 9 - *Layout* do LOBSTER (Os autores, 2015).

Conforme apresentado na Figura 9, o LOBSTER é uma câmara climática de configuração simétrica. O protótipo é composto por dois ambientes de simulação (Escritórios 1 e 2), uma antecâmara onde ocorre o monitoramento dos experimentos (Entrada / Sala de controle) e um ambiente de apoio técnico (Instalações).

A proposta de baixo custo, por sua vez, considera a adaptação de um container do tipo *dry*, de 20 pés, com paredes e cobertura em casca de aço com acabamento trapezoidal e piso em compensado naval, para a



construção de duas câmaras de 2,44m de comprimento por 3,00m de largura e 2,89m de altura (Figura 10). Cada câmara terá aproximadamente 7m<sup>2</sup> de área útil e será mobiliada como um ambiente de escritório (Figura 11), para facilitar o acompanhamento e a realização dos experimentos. O equipamento será apoiado sobre um reboque, para viabilizar sua rotação e movimentação tracionada independente (Figura 12).



Figura 10 – Vista frontal (entrada)

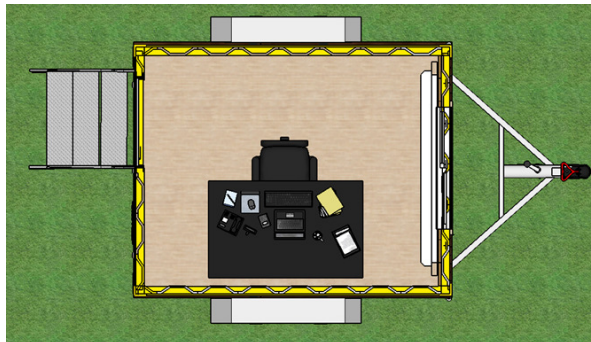


Figura 11 - Layout proposto para a câmara climática



Figura 12 – Vista posterior (reboque)

A câmara terá uma única porta de acesso (Figura 10) e uma janela na face oposta à porta (Figura 12). Internamente, será prevista uma estrutura metálica complementar, para a fixação de materiais de isolamento térmico e de revestimento nas paredes e sob o teto. Aberturas e vedações serão dimensionadas para atender aos parâmetros da Zona Bioclimática 1, correspondente à Curitiba, seguindo a NBR 15220 (ABNT, 2003). Também com base nesta norma, as estratégias de condicionamento térmico passivo levarão em conta a zona de aquecimento solar da edificação e o emprego de vedações internas pesadas, visando aumentar a inércia térmica da câmara climática, especialmente durante o inverno. Uma câmara servirá de controle, enquanto a outra poderá sofrer adaptações construtivas, adequando-se à pesquisa que estiver em andamento e sendo avaliada em comparação à câmara *default*.

Os valores correspondentes às variáveis ambientais monitoradas nos Escritórios 1 e 2 serão registrados em *data loggers* e transmitidos a um computador externo às câmaras, via conexão remota de sensores. A partir dessa plataforma de dados, os valores obtidos serão processados por um *software* específico. A opção pelo uso de um único computador externo às câmaras visa minimizar interferências do pesquisador no acompanhamento de experimentos, além de favorecer a economicidade da proposta como um todo.

Nesse contexto, para enquadrar a confecção das câmaras às restrições orçamentárias iniciais, a infraestrutura básica de cada escritório se restringirá ao monitoramento interno de três variáveis ambientais: Temperatura de globo ( $T_g$ ), Temperatura do ar ( $T_a$ ) e Umidade Relativa (UR). As variáveis serão controladas por meio de um sistema de ventilação e condicionamento de ar, com regulagem de temperatura e umidade relativa. Numa próxima etapa, para atender às necessidades particulares de cada experimento, a câmara poderá monitorar outras variáveis ambientais, tais como:

1. Ar: velocidade ( $v_a$ ), qualidade ( $q_a$ ), concentração de CO<sub>2</sub>, dispersão de poluentes.
2. Luz: iluminância (E), Temperatura Correlata de Cor (CCT), Índice de Reprodução de Cor (CRI), Fator de Ação Circadiano (CAF), Comprimento de Onda Dominante (DWI).
3. Percepção humana: Atividade Eletrodermal (EDA), Temperatura superficial da derme ( $T_{sk}$ ), Temperatura corporal ( $T_{bc}$ ).

Além de termômetros e higrômetros previamente instalados, confortímetros e luxímetros poderão ser utilizados como instrumentos complementares de medição, dentre outros. Já as variações climáticas externas (temperatura, umidade, ventilação, radiação, etc.) serão monitoradas por estação meteorológica, já adquirida.

O comportamento original da estrutura será aferido a partir do monitoramento das variáveis ambientais do meio interno e externo. O desempenho das câmaras também poderá ser analisado por meio da comparação com outros equipamentos existentes. Além das variações experimentais do meio externo (insolação, ventilação, umidade, intempéries), a concepção multiuso da câmara climática deverá considerar futuras adaptações de sua estrutura construtiva (parede, piso, cobertura), bem como de elementos de sombreamento e/ou distribuição da luz natural nos ambientes (prateleiras de luz, uso de persianas, *brises*).

No que diz respeito à concepção da proposta, assim que o estudo preliminar for concluído, será elaborado o projeto executivo das câmaras climáticas, o qual será composto pelos seguintes elementos mínimos: projetos de arquitetura, estrutura e instalações, memorial descritivo dos materiais, especificação de técnicas construtivas e planilha orçamentária de referência.

Em complemento, para ampliar o alcance dessa pesquisa e oportunizar a replicação do protótipo em outras localidades, propõe-se a elaboração de um manual prático de execução da câmara climática, contendo



diretrizes gerais de construção da câmara. Ao adotar uma linguagem acessível, o manual será um incentivo à divulgação da viabilidade técnica e econômica da câmara climática, além de difundir essa tecnologia no Brasil e em outros países com recursos financeiros limitados.

## 5.2. Previsão orçamentária

O investimento necessário à construção da câmara climática foi previsto no Projeto “Construção de câmara climática para experimentos nas áreas de conforto ambiental e arquitetura bioclimática”, submetido ao Edital Universal MCTI/CNPq nº 01/2016 em fevereiro de 2016. Na ocasião, o orçamento preliminar foi estimado em R\$ 117.595,84, entre despesas de capital e custeio. Em contrapartida, a fundação dos protótipos será financiada pela UTFPR (KRÜGER, 2016). Embora o projeto tenha sido aprovado em dezembro de 2016, até a ocasião em que este artigo foi submetido (março de 2017), o CNPq informou estar aguardando disponibilidade financeira para realizar os empenhos do Edital Universal.

Mesmo com a desvalorização do Real, o valor orçado no início de 2016 é considerado suficiente para o cumprimento da proposta, graças à flutuação do câmbio. No momento da elaboração do orçamento, o dólar estava cotado em R\$ 4,0217; atualmente, a taxa de compra do dólar é de R\$ 3,1179, conforme cotação do Banco Central do Brasil (BCB) para o dia 07 de março de 2017.

## 6. CONCLUSÕES

A partir do referencial teórico pesquisado, concluiu-se que câmaras ambientais podem ser utilizadas para diversos fins, nos campos do ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico. A configuração da câmara, por sua vez, varia conforme a finalidade pretendida. Quanto ao dimensionamento, uma câmara de pequeno porte pode ser instalada no interior de um laboratório, sobre uma bancada ou diretamente apoiada no chão. Este tipo de equipamento *standard* normalmente é pré-fabricado e está disponível no mercado brasileiro. No caso da câmara de grande porte (*walk-in*), o usual é confeccionar um ambiente *built to suit*, atendendo às necessidades específicas para determinado fim.

No âmbito das investigações brasileiras que fazem uso de câmaras ambientais, identificou-se que seu emprego é mais difundido em determinadas áreas. Um exemplo são as pesquisas relacionadas à Educação Física e à fisiologia do esporte, motivadas pela recente realização da Copa do Mundo (2014) e dos Jogos Olímpicos (2016) no Brasil.

Em contrapartida, no país não há registro de câmaras climáticas destinadas exclusivamente ao estudo do conforto ambiental no meio construído. Esse equipamento será útil a pesquisas de múltiplas abrangências, a saber: adaptação construtiva à variabilidade bioclimática brasileira; eficiência energética de edificações; sistemas de condicionamento passivo; uso de materiais locais e práticas vernaculares construtivas; interações fisiológicas e subjetivas entre indivíduo e ambiente.

Cumprido salientar que a câmara climática proposta será adaptada à realidade brasileira, por meio da adoção de recursos locais, redução da área construída e consideração de limitações orçamentárias. O baixo custo e fácil execução da câmara climática projetada favorecem sua replicação em outras regiões do Brasil e exterior. Por fim, ao encampar o estudo de ambiência térmica, a proposta inédita de construção de uma câmara climática permitirá a inserção do Brasil no âmbito internacional das pesquisas de ambiência térmica, lumínica e comportamental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. ABNT: Rio de Janeiro, 2003.
- BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Dólar americano**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br>> Acesso em: 08.mar.2017.
- BRIONIZIO, J. D.; MAINIER, F. B. Avaliação de Temperatura e Umidade de uma Câmara Climática. In: ENQUALAB – Congresso e Feira da Qualidade em Metrologia Rede Metrológica do Estado de São Paulo. **Anais...** São Paulo: REMESP, 2006.
- CARVALHAIS, C. A. A. **Contribuição para o estudo da tolerância humana a ambientes térmicos extremos: ensaios de validação de câmara climática**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- CELLINE, P., R.; FABICHAK JR., D.; TRIBESS, A. Influência de sistema de ventilação personalizada instalado na poltrona na dispersão de partículas em cabines de aeronave. In: XXIV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva. **Anais...** São Paulo: SIMEA, 2016.
- CNPq – CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **DGP - Diretório de Grupos de Pesquisa**. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp>> Acesso em: 15.mar.2017.
- CT11 – COMISSÃO TÉCNICA DE TEMPERATURA E UMIDADE DO INMETRO. **Ata da reunião de 27.mai.2014**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/atas/AtaReuniaoCT11-Maio2014.pdf>> Acesso em: 07.mar.2017.

- DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. Final Report ASHRAE RP-884. Sydney: Macquarie Research Ltd., 1997.
- DTU - TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK. **ICIEE - International Centre for Indoor Environment and Energy**. Disponível em: <<http://www.iciee.byg.dtu.dk>> Acesso em: 17.mai.2017.
- DUARTE, D. LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**. n. 15, p. 132-141, 2004.
- EEFFTO – ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL. **LAFISE - Laboratório de Fisiologia do Exercício**. Disponível em: <<http://150.164.124.6/eeffto/pesquisa/laboratorios/>> Acesso em: 22.mar.2017.
- EUSTÁQUIO FILHO, A.; TEODORO, S. M.; CHAVES, M. A.; SANTOS, P. E. F.; SILVA, M. W. R.; MURTA, R. M.; CARVALHO, G. G. P.; SOUZA, L. E. B. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1807–1814, 2011.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cenários agrícolas futuros para fruteiras temperadas e tropicais**. Edital 06/2007. Disponível em: <[https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/scaf/download-de-documentos/projeto-1/SCAF\\_PC5\\_Fruteiras\\_doc.pdf/at\\_download/file](https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/scaf/download-de-documentos/projeto-1/SCAF_PC5_Fruteiras_doc.pdf/at_download/file)> Acesso em: 13.mar.2017.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort analysis and applications in environment engineering**. McGraw Hill, New York, 1972.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<http://www.google.com/maps>> Acesso em: 02.mar.2017.
- HIRASHIMA, S. Q. S. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos de Belo Horizonte - MG**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2014.
- HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. **ASHRAE**, v. 104, p. 991, 1998.
- INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E METROLOGIA. **DOQ-CGCRE-028: Orientação para calibração de câmaras térmicas sem carga**. Revisão 01, Mar/2013. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NIT-DICLA-012: Relação padronizada de serviços acreditados para laboratórios de calibração**. Revisão 17, Mar/2016. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>> Acesso em: 07.mar.2017.
- \_\_\_\_\_. **LAHIG - Laboratório de Higrometria**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/termica/Lahig.asp>> Acesso em: 06.mar.2017.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Sala limpa em construção: obras da instalação no Laboratório de Estruturas Leves de São José dos Campos começaram esta semana**. 25.abr.2013. Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=671](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=671)> Acesso em: 22.mar.2017.
- \_\_\_\_\_. **Núcleo de Estruturas Leves**. Disponível em: <[http://www.ipt.br/centros\\_tecnologicos/LEL](http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/LEL)> Acesso em: 13.mar.2017.
- JORGE, A. O. C. Princípios de Biossegurança em Odontologia. **Revista Biotécnicas**, v. 8, n. 1, p. 7–17, 2002.
- KRÜGER, E. L.; GONZALEZ, E. G.; GIVONI, B. Effectiveness of indirect evaporative cooling and thermal mass in a hot arid climate. **Building and Environment**, v. 45, p. 1422-1433, 2010.
- KRÜGER, E. L.; TAMURA, C. A. ; BRÖDE, P. Seasonal influence on the dynamics of thermal sensation during transition from indoors to outdoors. In: Windsor Conference: Making Comfort Relevant, 9. **Proceedings...** Windsor: Windsor Conference, 2016.
- KRÜGER, E. L. **Construção de câmara climática para experimentos nas áreas de conforto ambiental e arquitetura bioclimática**. Submissão ao Edital Universal MCTI/CNPq nº 01/2016, processo nº 431153/2016-7. Curitiba: UTFPR, 2016.
- KRÜGER, E. L.; TAMURA, C. A.; BRÖDE, P.; SCHWEIKER, M.; WAGNER, A. Short- and long-term acclimatization in outdoor spaces: Exposure time, seasonal and heatwave adaptation effects. **Building and Environment**, v. 116, p. 17-29, 2017.
- MECALOR. **Câmaras climáticas para ensaios em veículos**. Disponível em: <<http://mecalor.com.br/ensaios-climaticos-veiculos>> Acesso em: 09.mar.2017.
- MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- ME – MINISTÉRIO DO ESPORTE. **Laboratório de Performance em Ambiente Simulado é inaugurado em Santa Maria**. 01.dez.2015. Disponível em: <<http://www.esporte.gov.br/index.php/ultimas-noticias/209-ultimas-noticias/54216-laboratorio-de-performance-em-ambiente-simulado-e-inaugurado-em-santa-maria>> Acesso em: 22.mar.2017.
- NUNES, L. C. C.; SOBRINHO, J. L. S.; LIMA, Á. A. N.; SILVA, J. L.; NETO, P. J. R. Câmara Climática: estudo de caso. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 88, n. 3, p. 137–140, 2007.
- OLIVEIRA, A. R. **Laboratório de Fisiologia e Bioquímica do Exercício**. Disponível em: <<http://fisiorex.tripod.com/webalbum/laboratorio/index.htm>>. Acesso em: 22.mar.2017.
- SCHWEIKER, M.; HAWIGHORST, M.; WAGNER, A. Presenting LOBSTER, an innovative climate chamber, and the analysis of the effect of a ceiling fan on the thermal sensation and performance under summer conditions in an office-like setting. In: 8<sup>th</sup> Windsor Conference: counting the cost of comfort in a changing World. **Proceedings...** Windsor, 2014.
- SOUTO, P. R. L.; MILAGRES, J. C.; SILVA, J. F. C. Consumo, digestibilidade, reações fisiológicas e componentes sanguíneos de ovinos submetidos a diferentes temperaturas e a dietas com diferentes níveis de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 25, n. 9, p. 1253-1259, set.1990.
- ROAF, S.; CRICHTON D.; FERGUS N. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o séc. XXI**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- TAMURA, C. A.; KRUGER, E. L. Estudo piloto em câmara climática: efeito da luz natural em aspectos de saúde e bem-estar não relacionados à visão. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 149-168, abr-jun.2016.
- TOFTUM, J.; LANGKILDE, G.; FANGER, P. O. New indoor environment chambers and field experiment offices for research on human comfort, health and productivity at moderate energy expenditure. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 899-903, 2004.
- UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **LAPEX – Laboratório de Pesquisa do Exercício**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/esefid/site/pesquisa/lapex>> Acesso em: 22.mar.2017.
- USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **GREAC - Grupo de Pesquisa em Refrigeração, Ar Condicionado e Conforto Térmico**. Disponível em: <<http://www.mecanica-poliusp.org.br/pme/05pesq/cont/greac.pdf>> Acesso em: 21.mar.2017.