



**EXA Group**  
Energy and Environmental  
Simulation



**PPGCIS**

Programa de Pós-Graduação em  
Cidades Inteligentes e Sustentáveis

**PPGEM**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica



UNIVERSITÉ  
SAVOIE  
MONT BLANC



LOCIE

## IEA-EBC Anexo 86

### Ventilação Inteligente para Ambientes Saudáveis e Eficientes

Participação brasileira no  
Anexo 86 da Agência  
Internacional de Energia (IEA)  
2020-2025

Daniela Mortari  
Denner Ribeiro Machado  
Marcos Batistella Lopes  
Nathan Mendes (coordenador)

Curitiba, 6 de Agosto de 2025



**FUNDAÇÃO  
ARAUCÁRIA**

**ENBPar**

Empresa Brasileira  
de Participações  
em Energia Nuclear  
e Binacional

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

**PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

# Conteúdo

- Contextualização
- Panorama do Anexo 86
- Anexo 86 / ST4 - Brasil
- Publicações
- Perspectivas

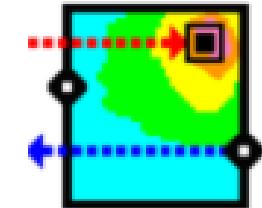
PPGCIS



PPGEM



Domus



Contam

# Contextualização

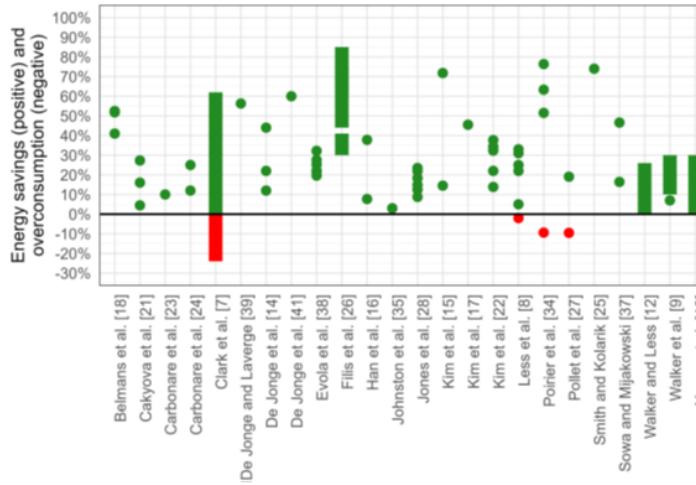
- A crise do petróleo da década de 1970 levou ao foco na vedação das edificações, o que contribuiu para a degradação da Qualidade do Ar Interno (**QAI**).
- Necessidade de **aumentar a eficiência energética sem comprometer a QAI**.
- Passamos entre **60% e 90% do nosso tempo** em ambientes internos e respiramos, em média, **10 mil litros de ar** por dia.
- O ar interno pode estar até **5 vezes mais poluído** que o ar externo e, segundo a OMS, **7 milhões de pessoas** morrem por ano devido à poluição do ar.
- **Doenças respiratórias** e **eventos climáticos extremos** estão associadas à degradação da QAI.
- **Ventilação inteligente = Energia + QAI**

# Contextualização

Ventilação inteligente = Energia + QAI

## Energia

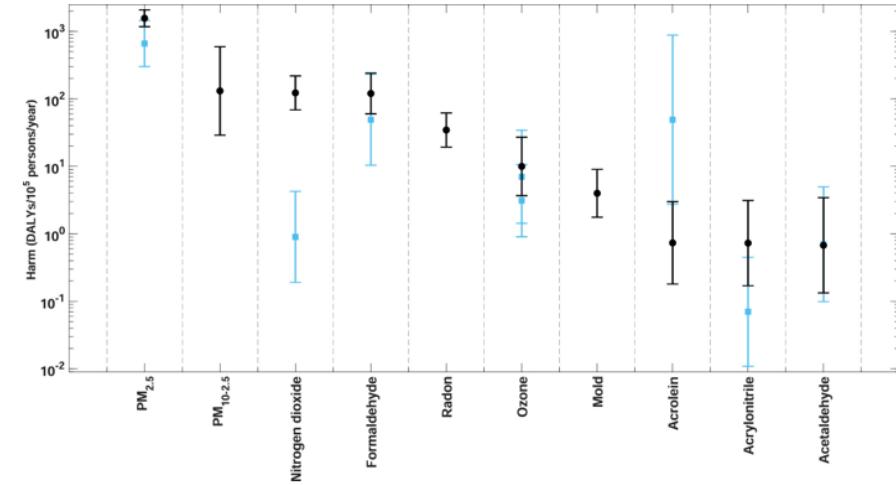
Consumo energético de simulações de sistemas de ventilação inteligente em edificações residenciais:



[Mortari et al. \(2025\)](#)

## QAI

10 contaminantes internos de maior potencial nocivo em residências:



[Morantes et al. \(2024\)](#)

# Panorama do Anexo 86

## Ventilação inteligente em edificações residenciais

Grupo	Subtarefa (ST)
Metodologia	ST1 - Métricas e Desenvolvimento de um Método de Classificação de Estratégias de Gestão da Qualidade do Ar Interno
	ST2 - Caracterização de Fontes Emissoras e Padrões de Exposição em Edificações Residenciais ( <a href="https://db-pandora.univ-lr.fr/">https://db-pandora.univ-lr.fr/</a> )
Aplicação	ST3 - Materiais Inteligentes como Estratégia de Gestão da Qualidade do Ar Interno ( <a href="https://annex92.iea-ebc.org/">https://annex92.iea-ebc.org/</a> )
	<b>ST4 - Assegurando o Desempenho de Sistemas de Ventilação Inteligente</b>
Tecnologia	ST5 - Economia de Energia e Melhoria da Qualidade do Ar Interno com Validação por Meio de Dados em Nuvem e Dispositivos Conectados à Internet das Coisas (IoT)
Disseminação	ST6 - Disseminação, Gerenciamento e Engajamento

<https://annex86.iea-ebc.org/>

# Panorama do Anexo 86

## Equipe



Nathan Mendes  
Coordenador  
[nathan.mendes@pucpr.br](mailto:nathan.mendes@pucpr.br)



Daniela Mortari  
Pesquisadora de Pós-doutorado  
[danielamortari@yahoo.com.br](mailto:danielamortari@yahoo.com.br)



Denner R. Machado  
Pesquisador de Doutorado  
[denner\\_ribeiro@yahoo.com.br](mailto:denner_ribeiro@yahoo.com.br)



Gaëlle Guyot  
Líder da ST4 do Anexo 86  
[gaelle.guyot@cerema.fr](mailto:gaelle.guyot@cerema.fr)



Marcos B. Lopes  
Professor assistente  
[batistella.marcos@pucpr.br](mailto:batistella.marcos@pucpr.br)

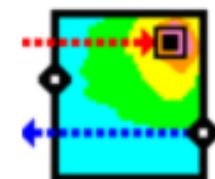
# Anexo 86 / ST4 - Brasil

- Objetivos:

- mostrar abordagens usando indicadores para avaliar o desempenho de estratégias de ventilação inteligente em diferentes países.
- comparar as estratégias inteligentes com as estratégias tradicionais.

- Caso de simulação para:

- análise de desempenho das estratégias de ventilação.
- utilizar os indicadores de desempenho e os métodos.



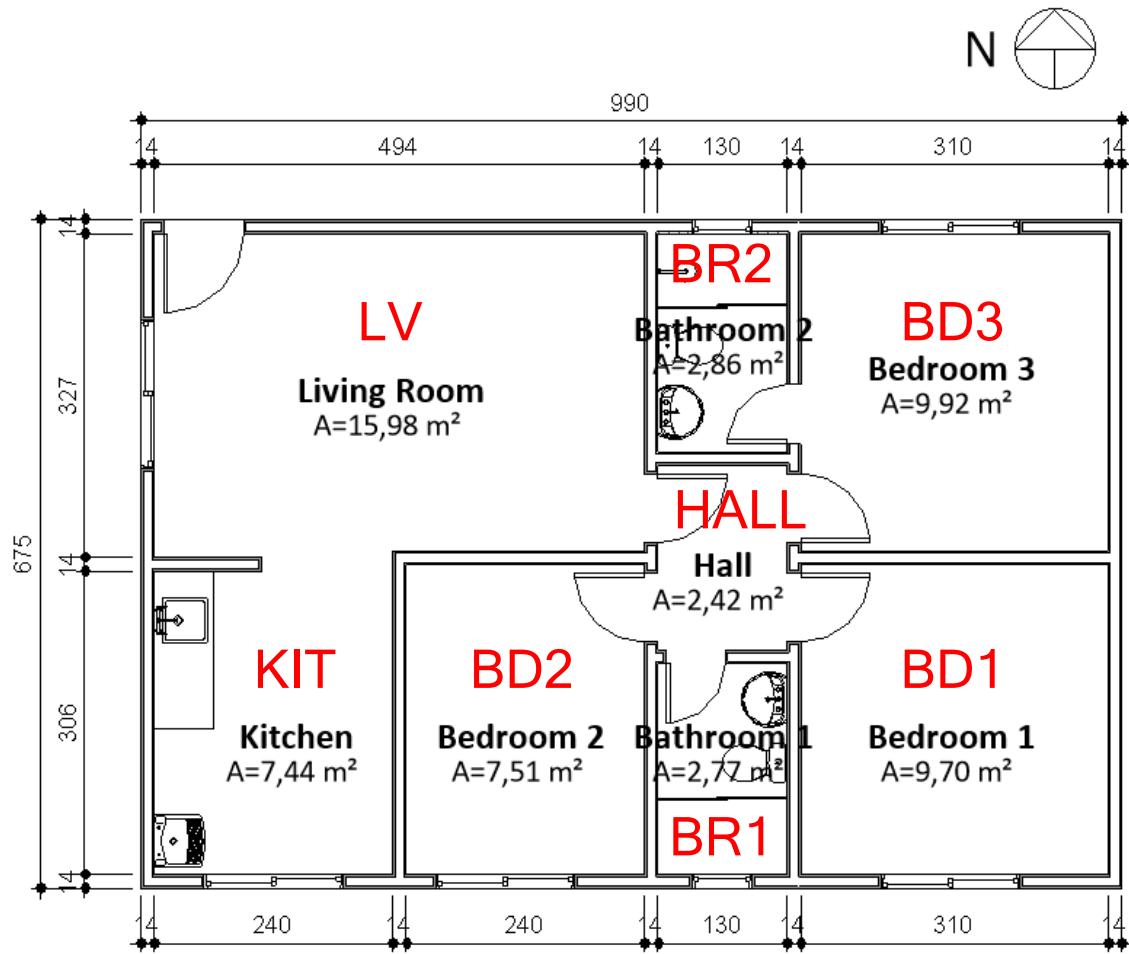
# Anexo 86 / ST4 - Brasil

- Indicadores de desempenho:

1. DALYs (Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade)
2. Porcentagem de tempo fora da faixa entre 25% e 60% de umidade relativa
3. Exposição acumulada do ocupante
4. Exposição aguda máxima do ocupante em 1h
5. Taxa de ventilação
6. Consumo energético

QAI		Energia	
1.	$E_{RH} = \frac{100}{d} \sum_{t=0}^{t=d} \Delta t \begin{cases} \text{se } \phi(t) > 60\% \\ \text{se } \phi(t) < 25\% \end{cases}$	5.	$ACR = \frac{Q}{V}$
2.	$DALYs = \sum_{i=0}^{i=n} EF_i \times V_{br} \times \int_{t_0}^t C_i(t) dt$	6.	
3.	$E_{poluente} = \sum_{t=0}^{t=d} C_{poluente} \Delta t$		$\dot{W}_{fan}(t) = \dot{W}_{fan} \dot{W}_{nominal}$
4.	$E_{poluente, agudo} = \max \left( \sum_{t=0}^{t=1h} C_{poluente} \Delta t \right)$		$q_{heat\_loss} = C_{pm} \ln(1 - \epsilon_{heat\_exchanger})(T_{in} - T_{out})$

# Anexo 86 / ST4 - Brasil

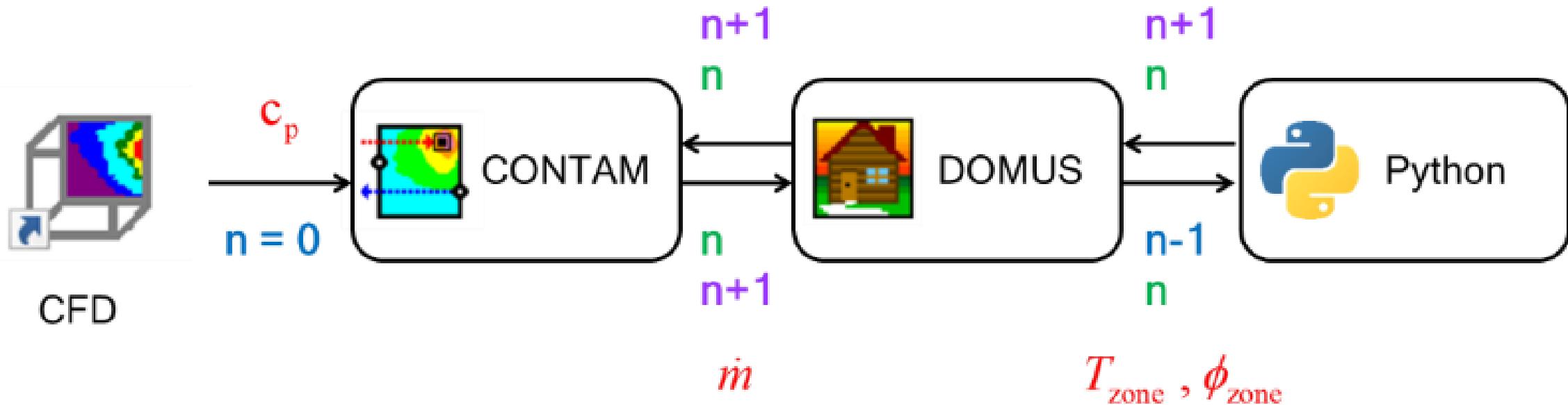


- Estudo de caso brasileiro:  
“Minha Casa, Minha Vida”  
(Morishita, 2020)
  - Software: Domus-Contam



# Anexo 86 / ST4 - Brasil

## Co-simulação Domus-Contam



# Anexo 86 / ST4 - Brasil

# Formulário com Condições Iniciais & Condições de Contorno das simulações:

## [a] Dados de entrada

## [b] Modelagem

<a href="https://www.easa-ebec.org">www.easa-ebec.org</a> <a href="https://www.easa-ebec.org/">https://www.easa-ebec.org/</a>	 Energy Performance and Sustainable Planning
<b>[b] Admissible data</b>	
<b>WALLS</b> absorption (WALLS)	<b>NUK</b>
<b>PER</b> deposition/deposition Penetration factor	<b>NUK</b>
<b>PER</b> penetration factor pertaining to TC and RH	<b>NUK</b>
<b>Position of doors and associated models</b>	<b>See floor plan in table (x)</b>
<b>Position of windows and associated models</b>	<b>See floor plan in table (x)</b>
<b>Wind pressure / wind coordinate around the building</b>	<b>Previous and latest: EU M1000-2019 including an example for residential facilities and -0.5 on the download (Excel)</b>
<b>Actions through natural ventilation components</b>	<b>NUK</b>
<b>[c] Description of the ventilation strategies and components</b>	
<b>Type of ventilation (whole house, 1; mechanical exhaust-only/balanced/Supply and extract, windows-based, etc.)</b>	<b>Mechanical exhaust-only ventilation and CO2 and humidity control air the room level (HEV-04)</b>
<b>Types of ventilation components (fans, CO2, VOC, outdoor conditioners, a combination, etc.)</b>	<b>NUK</b>
<b>Amount of sensors</b>	<b>4 (2 CO2 sensors for CO2 recovery and relative humidity and 2 CO2 sensors in each included room)</b>
<b>Location of sensors (room - which rooms?, etc.)</b>	<b>Kitchen, bathroom 1 and bathroom 2</b>
<b>Types of measuring technology for sensors (1: CO2 - NDIR, 2: reference and name of producer, and associated accuracy and range of measurement)</b>	<b>NUK</b>
<b>Types of valves and components that are controlled (mechanical or electronic) of valves and outlets cross-sectional area, direct control of fan speed, of dampers, ...)</b>	<b>NUK</b>
<b>Control algorithm (value of set points + associated airflow, value of set points - associated airflow, ...)</b>	<b>NUK</b> - Lower limit: CO2 = 600 ppm or RH = 40% - Upper limit: CO2 = 1200 ppm or RH = 60% - Fan control: CO2 = 400-1200 ppm or RH = 20-60% - Fan control: CO2 = 400-1200 ppm or RH = 20-60%

## [c] Estratégia de ventilação

<a href="http://www.ebc.org">www.ebc.org</a> <a href="https://zenodo.4362664/Annex2_E-new-ebc.org/">https://zenodo.4362664/Annex2_E-new-ebc.org/</a>	 Energy Efficient Building Council															
<b>Airflow through mechanical exhaust vents</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Building</th> <th>Lower</th> <th>Upper</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kitchen</td> <td>100</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Bathroom 1</td> <td>7</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>Bathroom 2</td> <td>33</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>102</td> <td>277</td> </tr> </tbody> </table>	Building	Lower	Upper	Kitchen	100	200	Bathroom 1	7	37	Bathroom 2	33	33	Total	102	277
Building	Lower	Upper														
Kitchen	100	200														
Bathroom 1	7	37														
Bathroom 2	33	33														
Total	102	277														
<b>Airflow through mechanical supplies</b>	102															
<b>[d] Qualitative Feedbacks</b>																
<b>Feedback on proposed metrics</b>																
<ul style="list-style-type: none"> <li>What did you like, what didn't you like and why?</li> <li>Are these metrics relevant metrics used in your country? Which ones? Are they required/recommended in the building codes?</li> <li>To what extent are these metrics relevant given the context of your country?</li> <li>Are these metrics relevant for practice in your country? Will there be expertise and tools available to support the practitioners?</li> <li>Suggestions for expanding the framework? (other and more metrics)</li> <li>Suggestion for simplification?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>We like the description of the performance indicators of the Annex 2. We think that would be better to have a common base example case with two conditioned indicators (AQ3/Energy) only.</li> <li>The Brazilian residential building codes do not use any of these metrics.</li> <li>These metrics are important to develop our working, however we must focus on which of them are more important in our context.</li> <li>Yes, the metrics are important. No, we're trying to develop these tools.</li> <li>No suggestions.</li> <li>Working with fewer indicators.</li> </ul>															
<b>List of barriers and problems met during the exercise</b>	<b>Lack of information for the Brazilian dwelling's units.</b>															
<b>List of strengths</b>	<b>Better knowledge of the toolboxes.</b>															
<b>List of advantages</b>	<b>One-stop, light-for-light low-income housing.</b>															
<b>Comments on the applicability of the metrics</b>	<b>Comments on how to increase the accuracy of the numerical reading.</b>															
<b>Major needs</b>	<b>Better local regulations.</b>															

## [d] Feedback qualitativo

# Publicações



LOPES, M. B. et al. Avaliação da qualidade do ar interno de residências brasileiras com sistemas de ventilação inteligente. **Revista Brasindoor**, v. VI, n. 1, p. 28-40, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.29327/2410885.6.1-3>



LOPES, M. B. et al. A numerical and experimental study to compare different IAQ-based smart ventilation techniques. **Buildings**, 14, 3555, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113555>



MORTARI, D. et al. Smart ventilation in residential buildings: a systematic review of control strategies and their effectiveness. **Journal of Building Engineering**, 112584, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112584>

ANNEX 86



ST4 Report - Ensuring performance of smart ventilation

IEA-EBC Annex 86  
January 2025

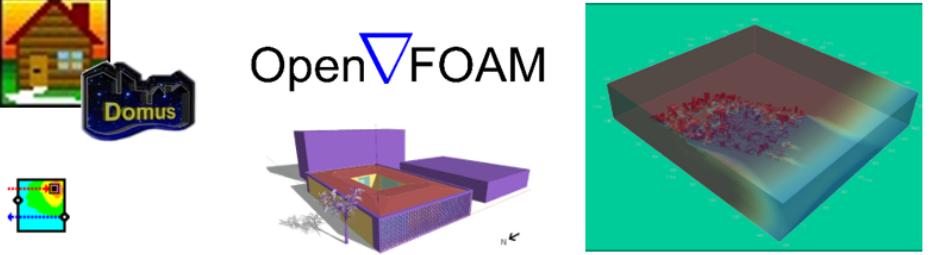
Version 0.1 (2024)

GUYOT, G. et al. **ST4 Report - Ensuring performance of smart ventilation**, IEA-EBC Annex 86, 2025.

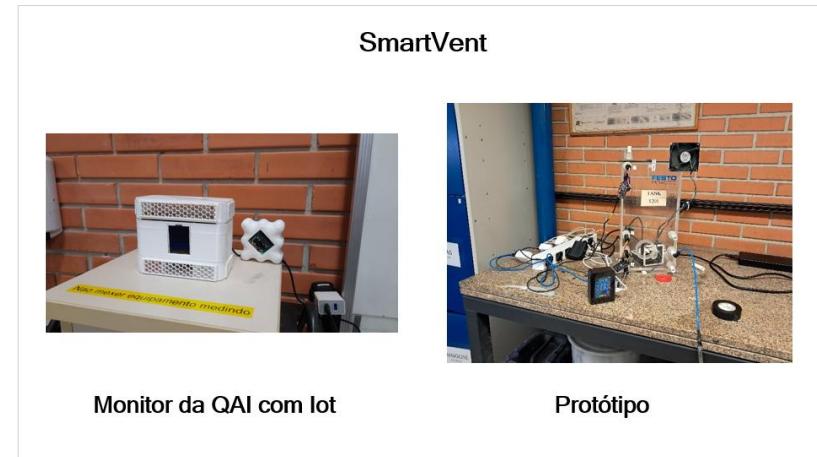
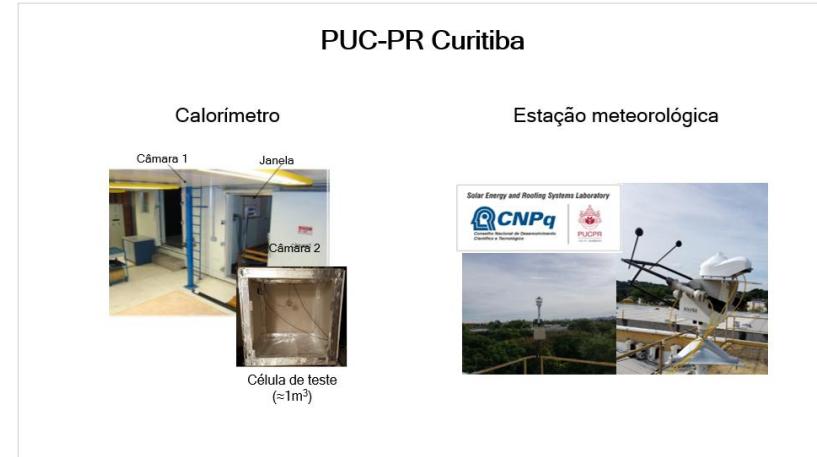
# Perspectivas

**Co-simulação**

Anexo 97: Soluções Sustentáveis de Resfriamento em Ambientes Urbanos



**ENBPar: A importância da eficiência energética em edificações para mitigação de riscos relacionados a problemas de ilhas de calor urbano**



# Muito obrigado



## PPGCIS

Programa de Pós-Graduação em  
Cidades Inteligentes e Sustentáveis

## PPGEM

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica



## EXA Group

Energy and Environmental  
Simulation



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



Empresa Brasileira  
de Participações  
em Energia Nuclear  
e Binacional

## Dúvidas?

EXA Group  
[exa@pucpr.br](mailto:exa@pucpr.br)