

Nº 177808

Umidade em edifício

**Fernanda Belizário Silva
Adriana Camargo Brito**

*Palestra apresentada na GT da ABNT, 23 de
maio, 2022*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **REPRODUÇÃO PROIBIDA**



Seu desafio é nosso

Umidade em edificações

Habitação e Edificações

Umidade em edificações

Contexto atual

NBR 15575-1

- **Item 10: Estanqueidade**
 - Item 10.2. Estanqueidade a **fontes de umidade externas** à edificação
 - Item 10.2.1. Estanqueidade à **água de chuva** e à **umidade do solo** e do **lençol freático**
 - Projeto: implantação, detalhes construtivos, impermeabilização
 - Ensaios: estanqueidade à água de chuva de esquadrias, paredes e pisos
 - Item 10.3. Estanqueidade a **fontes de umidade internas** à edificação
 - Item 10.3.1. Estanqueidade à água utilizada na **operação, uso e manutenção** do imóvel
 - Projeto: impermeabilização, revestimentos, detalhes construtivos
 - Ensaios: permeabilidade à água de revestimentos, impermeabilidade de pisos sob lâmina d'água

Umidade em edificações

Ensaio realizados no IPT

Laboratório de Tecnologia e Desempenho de Sistemas Construtivos



Estanqueidade à água
de paredes



Permeabilidade à água
de revestimentos



Estanqueidade à água
de coberturas

Umidade em edificações

Contexto atual

NBR 15575-1

- **Item 15: Saúde, higiene e qualidade do ar**
 - Item 15.2. Proliferação de **microorganismos**
 - Propiciar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as **condições de umidade** e temperatura no interior da unidade habitacional, aliadas ao tipo dos sistemas utilizados na construção
 - Critério e método: “legislação vigente”

Normas técnicas de materiais

- Muitos materiais apresentam **alterações em suas características** quando estão úmidos e alguns podem **degradar pela exposição à umidade**
- Muitas normas preveem a realização de **ensaios de exposição à umidade**, por imersão ou coluna d'água aplicada sobre o material

Umidade em edificações

Contexto atual

- Preocupação com infiltração de **água** no estado líquido
- **Não considera** transporte de **vapor d'água**
- **Não considera** fenômenos de **condensação**

“Suficiente” para edificações construídas com sistemas construtivos convencionais – vedações em alvenaria, coberturas com telhas cerâmicas ou de fibrocimento – com boas condições de ventilação, pois esses materiais não se degradam com a umidade

Umidade em edificações

Novas preocupações

- Desenvolvimento de **fungos** em edificações construídas com paredes de concreto devido à **condensação superficial** (Diretriz SiNAT 001 revisão 03)
 - Método de avaliação de condensação superficial: incompleto, necessário aprimoramento.
- Uso de **materiais suscetíveis à degradação por umidade**
 - **Corrosão** em perfis de *light steel frame*
 - **Biodeterioração** de elementos de madeira
- Especificação de “**barreiras de vapor**” em sistemas construtivos inovadores
- **Eficiência energética:** efeito da umidade na condutividade térmica dos materiais

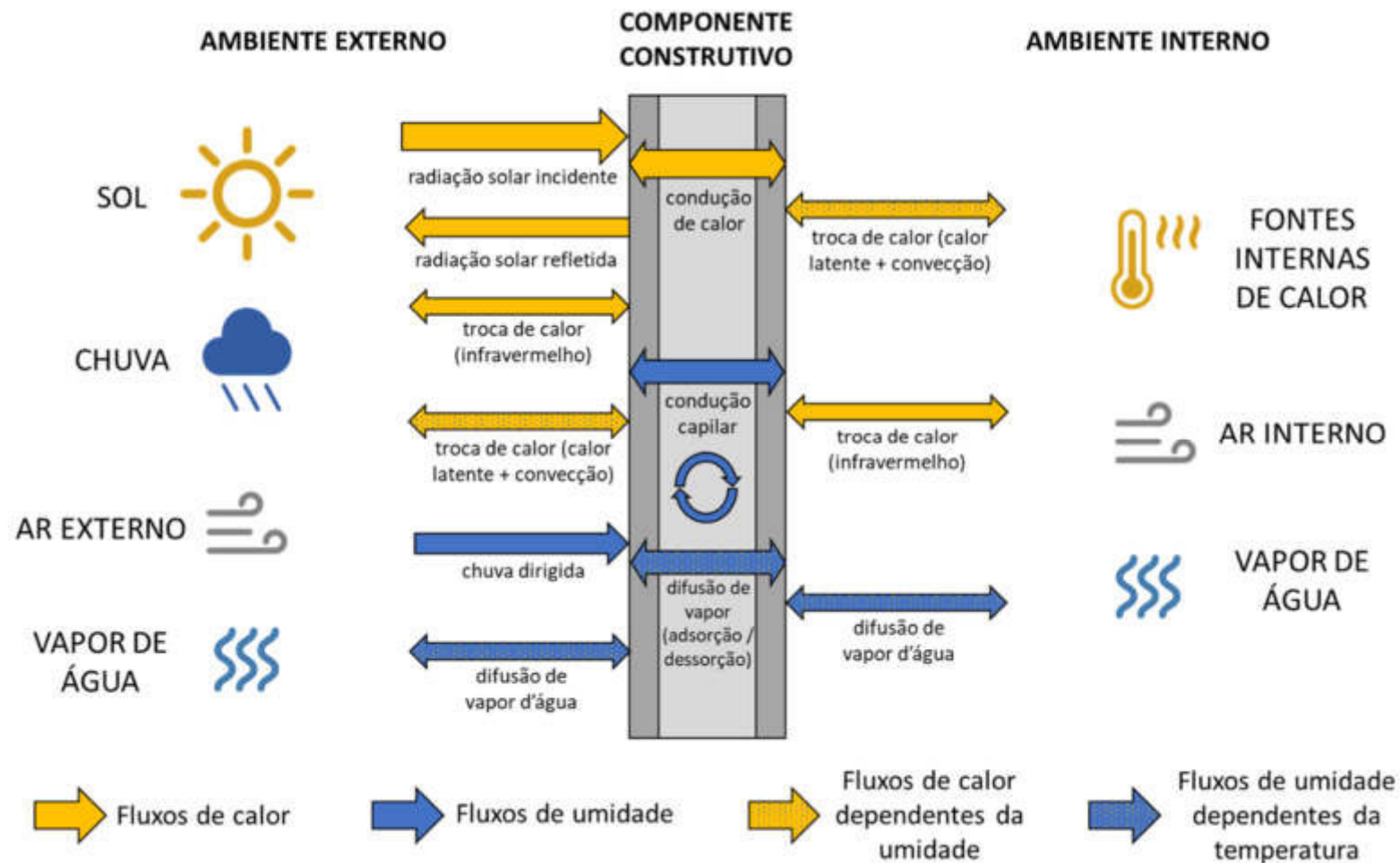
Umidade em edificações

Novas preocupações

- Necessário considerar transporte de vapor d'água (não só água líquida)
- Necessário avaliar ocorrência de condensação
 - Superficial
 - Dentro da parede (ex.: perfis steel frame)
- Necessário avaliar teor de umidade dos materiais
- Métodos estáticos (ex.: Glaser) não são adequados para edificações não climatizadas e não consideram todos os mecanismos de transporte de calor e umidade

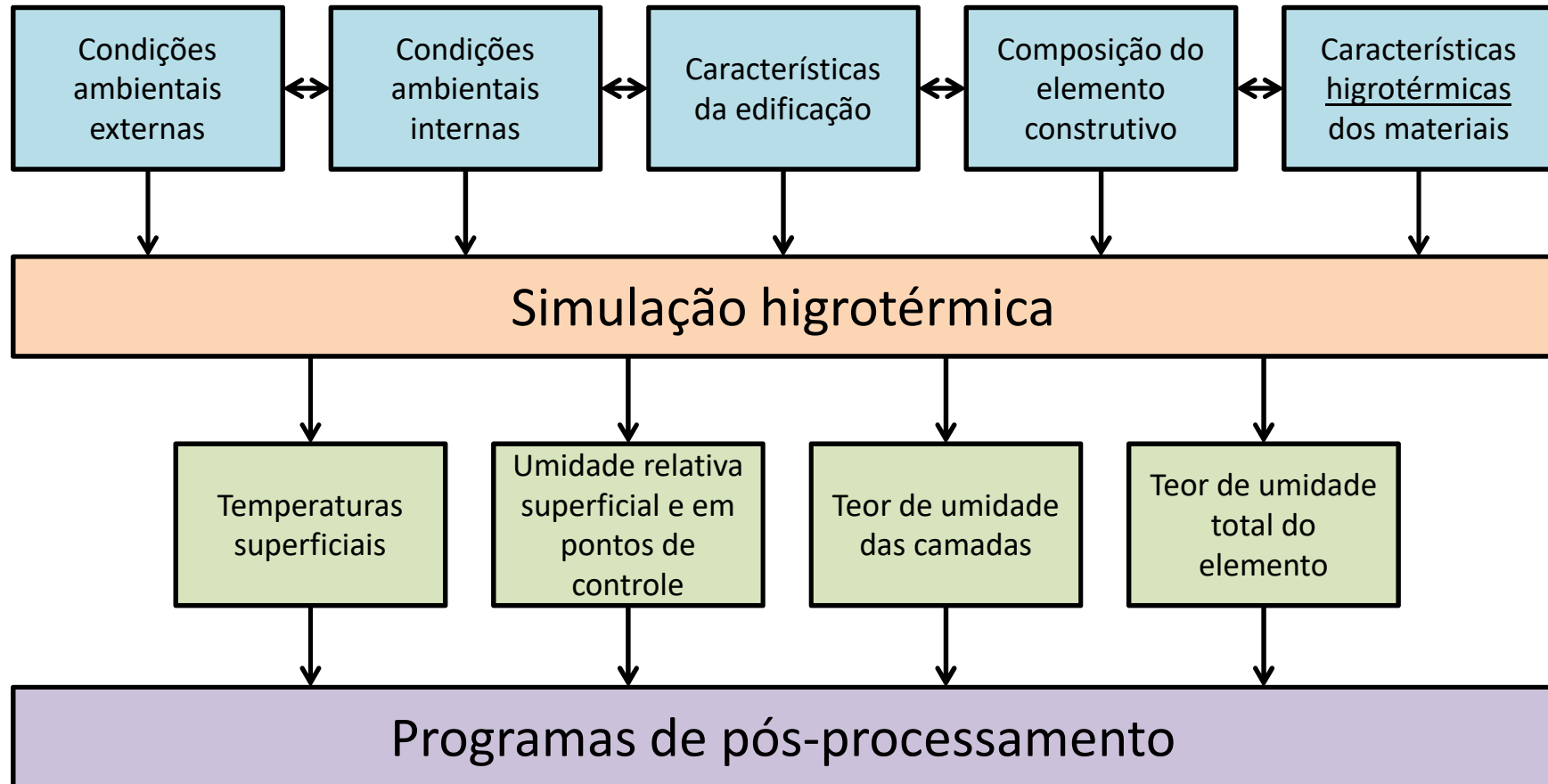
Simulação higrotérmica seria uma possibilidade

Simulação higrotérmica

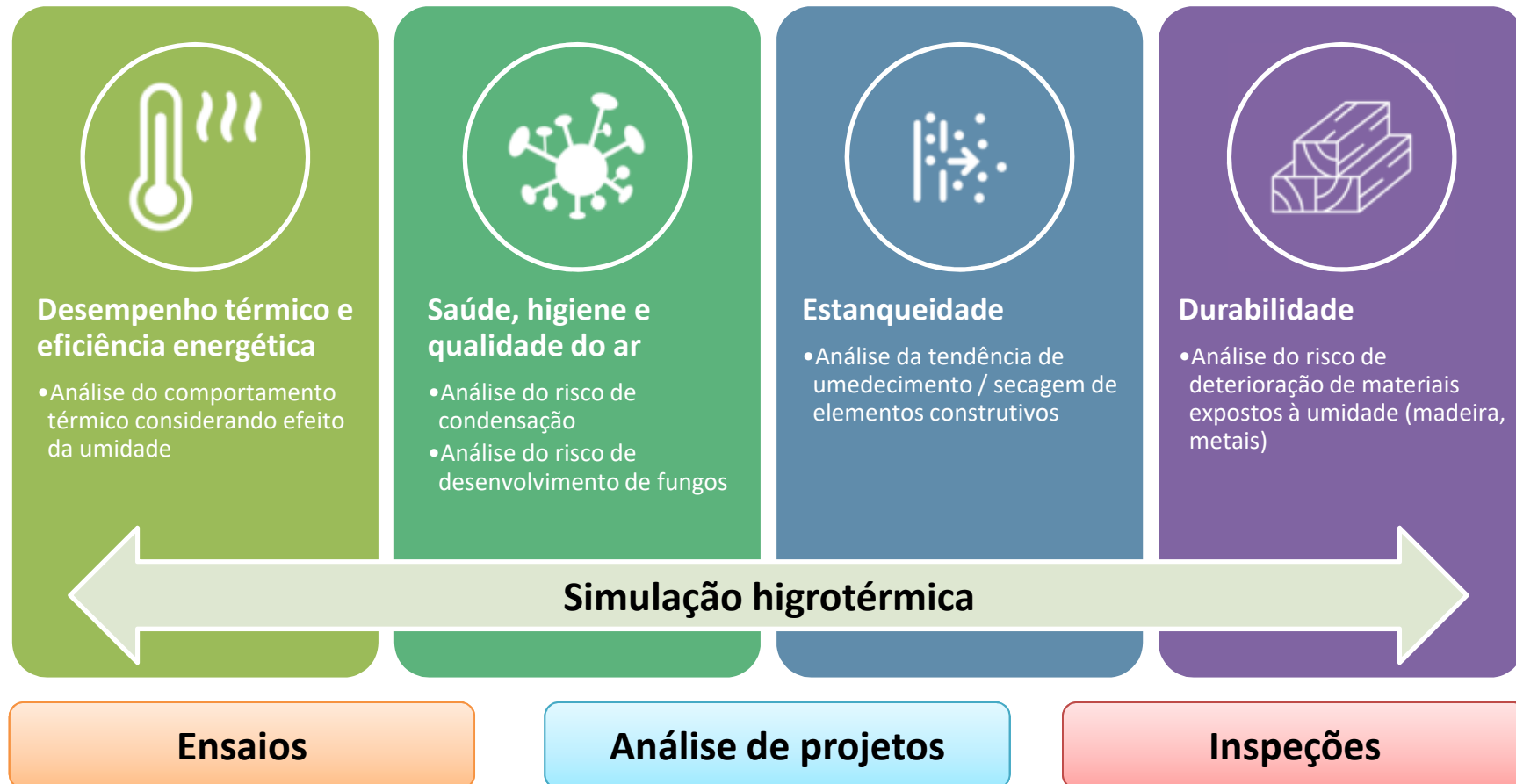


Simulação higrotérmica

Entradas e saídas



Usos da simulação higrotérmica



Normas Internacionais

(apresentadas na reunião do dia 16.03.22)

- ASHRAE 160 é a que mais poderia nos ajudar em termos de referências para simulações higrotérmicas
 - ISO 13788 – regime estacionário ☹️
 - EN 15026 – foco nas equações
 - DIN 4108 – nível de detalhe excessivo e específica p/ Alemanha
- Particularidades para o Brasil:
 - **Condições ambientais internas (sem climatização)**

Simulação higrotérmica

Histórico de atividades recentes do IPT

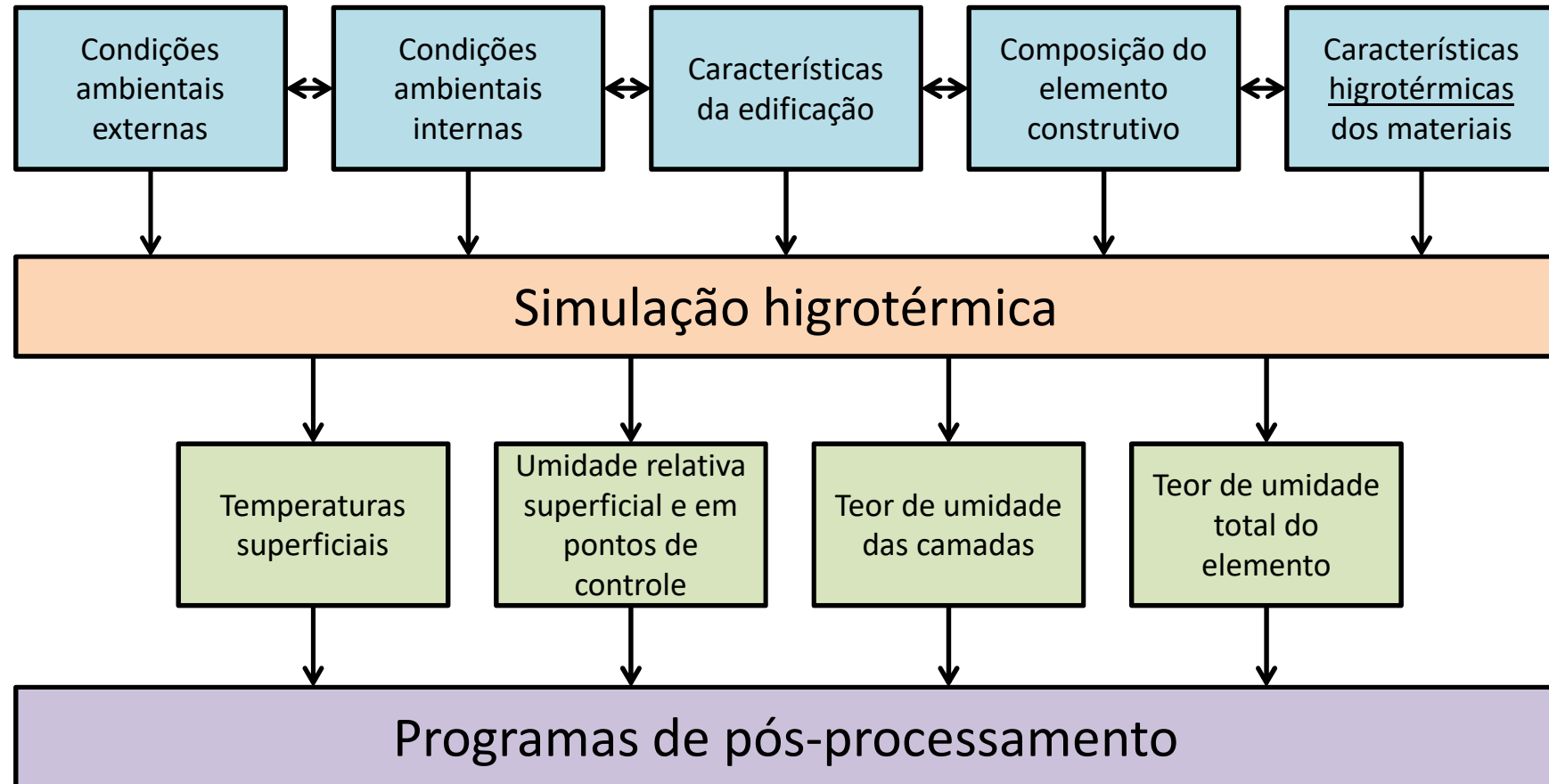
- **2016 a 2019: Mestrado e Intercâmbio (FEUP) – Alexandre Cordeiro dos Santos:** “Avaliação do desempenho potencial de duas soluções de revestimentos argamassados em função do risco de formação de fungos emboloradores no interior de edificações na cidade de São Paulo”
- **2015 a 2018: Mestrado – Thiago Martin Afonso:** “Desempenho higrotérmico de edificações e procedimentos para previsão de ocorrência de bolores em ambientes internos: estudo de caso em habitações construídas com paredes de concreto”
- **2019: Intercâmbio Fernanda Belizario:** treinamento no software WUFI e reunião com pesquisadores do Fraunhofer IBP

Simulação higrotérmica

Projeto interno de pesquisa – em andamento

- Treinamento da equipe para utilizar ferramentas de simulação higrotérmica
- Sistematização dos dados necessários para a simulação
 - Condições ambientais externas (quais arquivos climáticos usar)
 - Condições ambientais internas (regime transiente)
 - Características dos materiais (dados existentes e a obter)
- Procedimentos gerais para realizar simulações
- Análise das respostas dos programas
- Identificação dos possíveis usos da simulação higrotérmica
- Estruturação de forma de atuação multidisciplinar do IPT

Confiabilidade dos **resultados** da simulação higrotérmica depende da confiabilidade dos **dados de entrada** e da execução correta dos procedimentos de **simulação** e de **pós-processamento**



Simulação higrotérmica

Projeto interno de pesquisa – resultados parciais

- Necessário desenvolver **anos de referência de umidade** (*Moisture Reference Year*) e **Zoneamento Higrotérmico** para o Brasil
- Necessário sistematizar **banco de dados** de características higrotérmicas de materiais de construção brasileiros
- Necessário detalhar **procedimentos** para realização correta de simulação higrotérmica:
 - Quais fontes de calor e umidade considerar na simulação e em que quantidade
 - Quais condições de ventilação utilizar na simulação
 - Configurações para simulação (ex.: período a ser considerado)
 - Como avaliar os resultados / como usar

Ações necessárias para viabilizar uso de simulações higrotérmicas de forma confiável no Brasil, para futuramente inseri-la em normas técnicas brasileiras

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- EnergyPlus:
 - Regime transiente, algoritmo poderoso para cálculos de desempenho térmico e energético, também possui módulos detalhados que levam em conta a umidade.
- WUFI Pro:
 - Regime transiente, algoritmos simplificados de trocas térmicas das condições internas, algoritmo complexo de trocas de umidade, cálculos considerando uma direção (seção transversal do elemento construtivo).

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

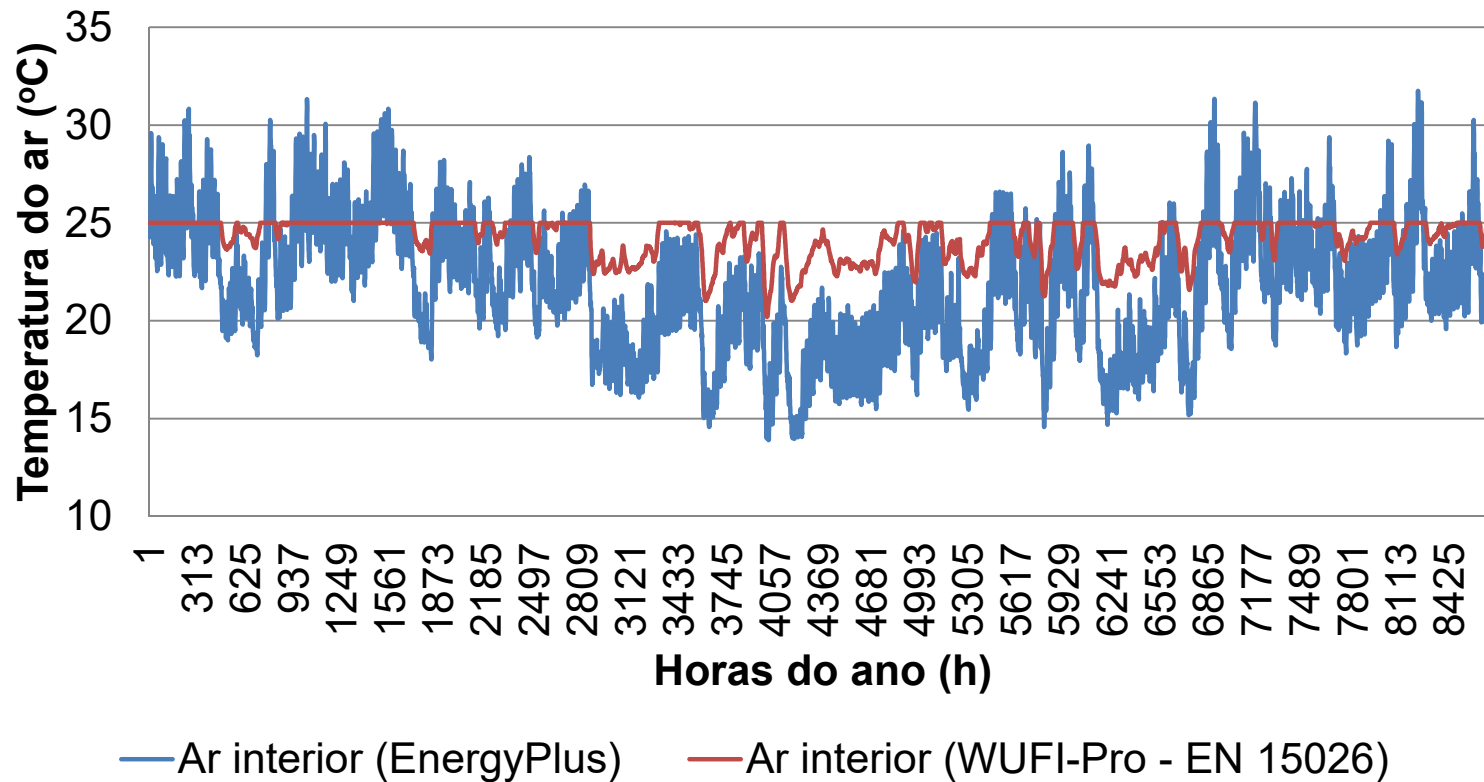


Figura 1 - Temperaturas do ar interior do dormitório de uma habitação obtida nos programas EnergyPlus e WUFI-Pro, com o uso de arquivo climático da cidade de São Paulo (INMET)

Projeto de Pesquisa IPT

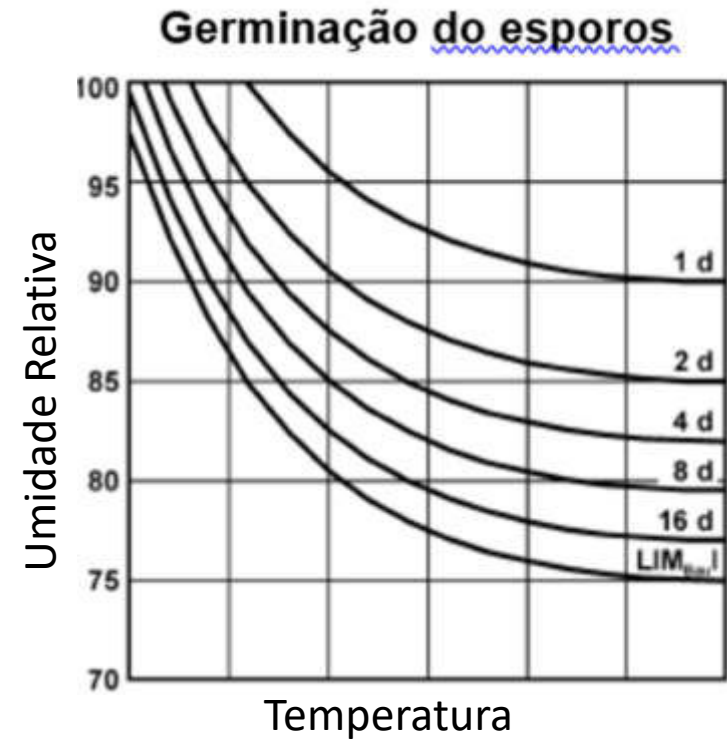
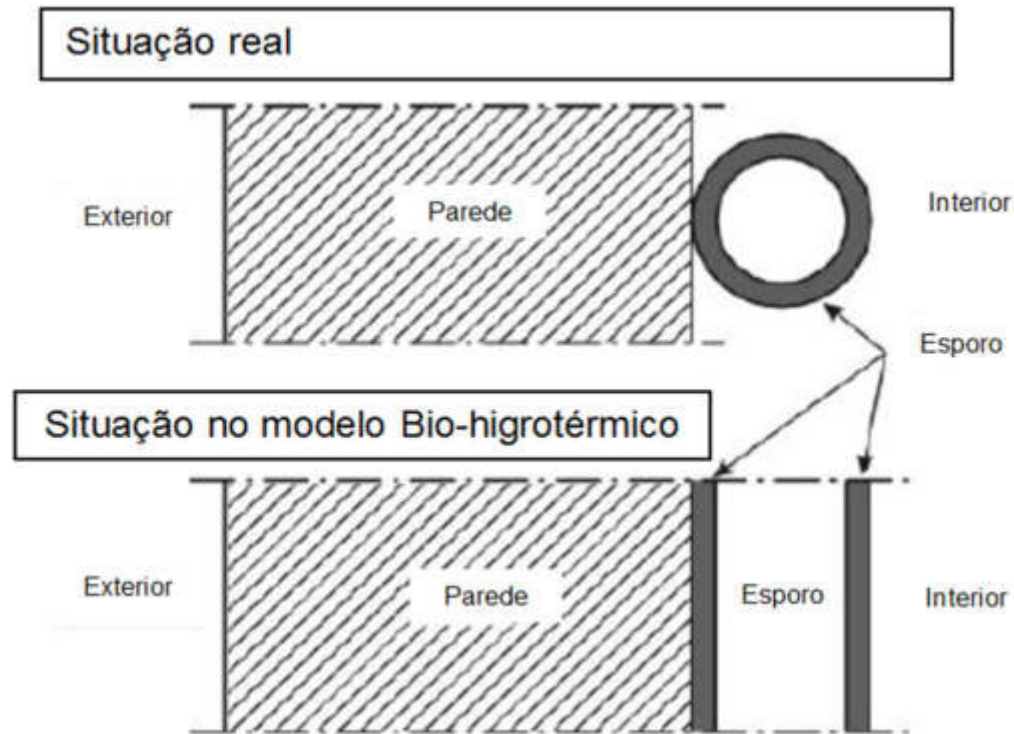
Método utilizado

- WUFI Bio:
 - O modelo Bio-higrotérmico proporciona o cálculo do balanço de umidade no interior dos esporos, levando em conta a resistência à difusão da parede do esporo
 - Considera dados de temperatura superficial da parede, umidade relativa, teor de umidade inicial nos esporos e a classe do substrato
 - Usa modelo de isopletras (SEDLBAUER, 2001)
 -

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- WUFI Bio:



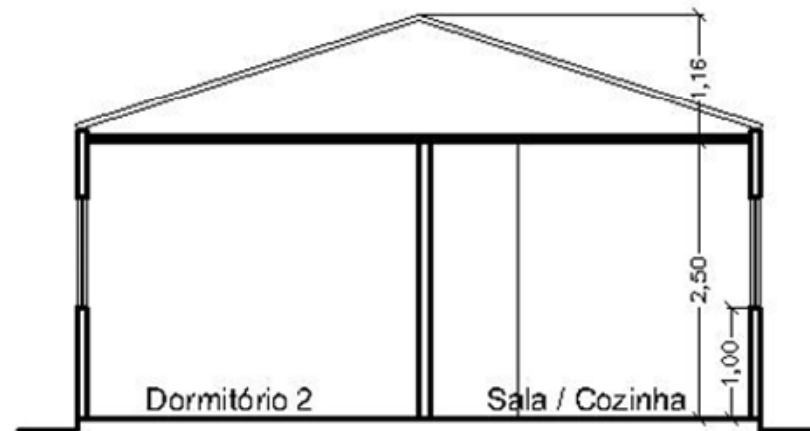
Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- Etapas de simulação:
 - Simulações anuais do comportamento térmico de uma habitação, análises do dormitório com janela para direção Sul (situação crítica)
 - São Paulo
 - EnergyPlus (regime transiente) em 1 ano – 1 ano TMY INMET
 - Resposta térmica de um dormitório da habitação
 - Temperatura e Umidade Relativa do ar
 - WUFI-Pro - 3 anos;
 - Verificação da ocorrência de bolor na superfície interna da fachada do dormitório
 - Pós-Processamento
 - WUFI-Bio - 1º ano.

Projeto de Pesquisa IPT

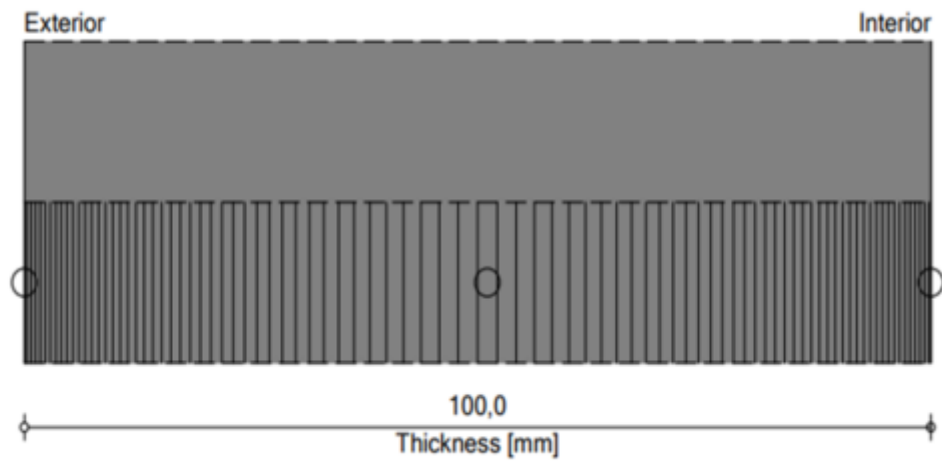
Método utilizado



Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- Lajes de piso e de cobertura de concreto armado;
- Telhado com telhas de fibrocimento, com ático;
- Quatro opções de paredes externas (escolhidas com base em sistemas avaliados pelo IPT):
 - Concreto
 - Cerâmica
 - Placas cimentícias, OSB e Drywall
 - Gesso

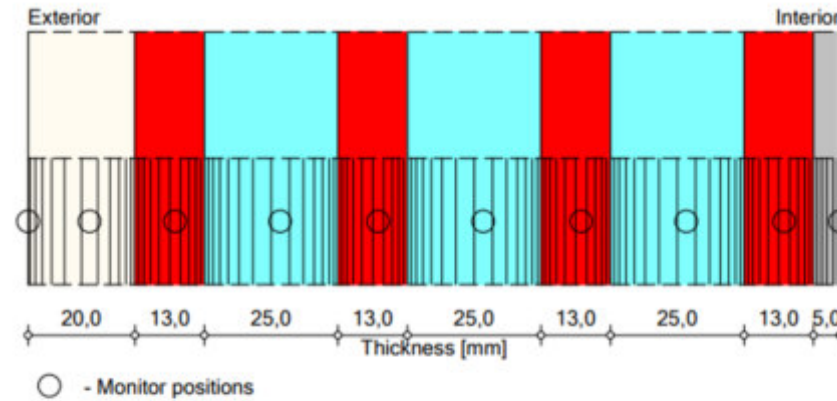


○ - Monitor positions

Materials :

 - Cimento, C35/45

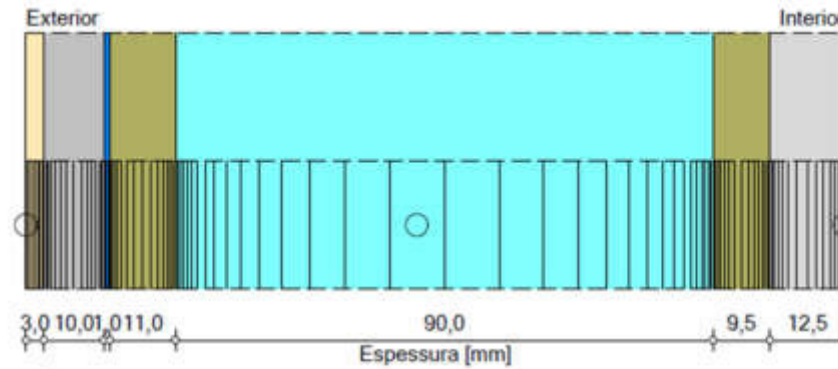
Total Thickness: 0,1 m
R-Value: 0,05 m²K/W
U-Value: 4,292 W/m²K



Materials :




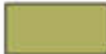


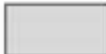
- Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 2.0 kg/m²h^{0.5})
- Solid Brick Masonry
- Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity
- Solid Brick Masonry
- Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity
- Solid Brick Masonry
- Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity
- Solid Brick Masonry
- Interior Plaster (Gypsum Plaster)

Total Thickness: 0,15 m
 R-Value: 0,6 m²K/W
 U-Value: 1,269 W/m²K

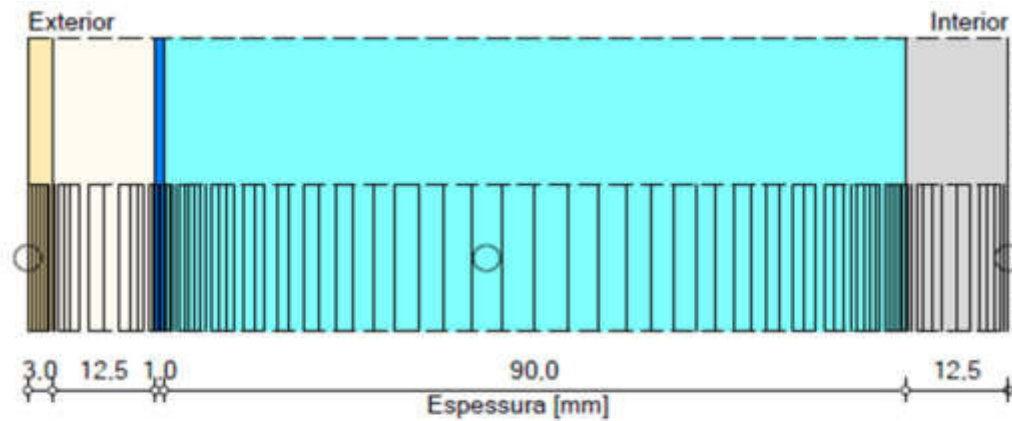


○ - Monitor positions

Materials :



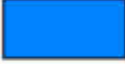


-  - Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m²h^{0.5})
-  - Fibrecementboard
-  - weather resistive barrier (sd=0,2m)
-  - Oriented Strand Board
-  - Air Layer 90 mm; without additional moisture capacity
-  - Oriented Strand Board
-  - Interior Gypsum Board

Valor de sd Int. [m]: 0,1
 Espeçsura Total: 0,14 m
 Valor de R: 0,55 m²K/W
 Valor de U: 1,356 W/m²K



○ - Monitor positions

Materials :

-  - Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m²h^{0.5})
-  - Gypsum Board
-  - weather resistive barrier (sd=0.2m)
-  - Air Layer 90 mm; without additional moisture capacity
-  - Interior Gypsum Board

Valor de sd Int. [m]: 0.1

Espessura Total: 0.12 m

Valor de R: 0.31 m²K/W

Valor de U: 2.014 W/m²K

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- EnergyPlus: fontes internas de calor e aberturas para ventilação
 - Dados de entrada:
 - Desocupada, com renovação do ar através de frestas (efeito do clima)
 - Com fontes internas de calor e umidade (pessoas, panelas com água fervente na cozinha e chuveiro em uso) e duas opções de ventilação natural (efeito do uso):
 - 50% da área das janelas aberta
 - 100% da área das janelas aberta
 - A ventilação natural que ocorre nos horários ocupados por pessoas, quando a temperatura de bulbo seco interior é maior ou igual a 19 oC e superior à temperatura de bulbo seco externa.

Recinto	Pessoas	Equipamentos em geral	Equipamentos de aquecimento de água	Regime de ocupação diário em todos os dias do ano
Sala	Quatro pessoas (taxa metabólica individual de 130 W ^a e fração radiante de 0,5)	Iluminação com Densidade de Potência Instalada (DPI) ^b de 5 W/m ² Televisor com potência ^b de 120 W e fração radiante de 0,3	-	13h às 22h
Dormitórios	Duas pessoas dormindo (taxa metabólica individual ^a de 80 W e fração radiante de 0,5)	-	-	22h às 8h
	-	Iluminação com Densidade de Potência Instalada (DPI) ^b de 5 W/m ²	-	7h às 8h
Área de cozinhar (integrada à sala)	-	-	Quatro painéis com raio de 14 cm com água em ebulição gerando 456 g/h de vapor d'água ^c	13h às 14h 19h às 20h
Banheiro	Uma pessoa (taxa metabólica individual ^a de 130 W e fração radiante de 0,5)	Iluminação com Densidade de Potência Instalada (DPI) ^b de 5 W/m ²	Um chuveiro em funcionamento com água aquecida gerando 450 g/h de vapor d'água ^c .	18h às 19h

^a Fonte: ASHRAE, 2017

^b Fonte: ABNT, 2021.

^c Fonte: Canada Mortgage and Housing Corporation, 1979.

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- Wufi-Pro
 - Dados de entrada:
 - Cálculo: malha fina, dependência da umidade e temperatura para cálculos da condutividade térmica dos materiais, além da opção de aumento da precisão de cálculos e adaptação de convergência;
 - Chuva Dirigida: ASHRAE 160 (mais crítico)
 - Fator de exposição à chuva (FE) igual a 1, para edifícios com altura menor que dez metros e categoria de exposição média;
 - Fator de deposição de chuva (FD) igual a 0,5, que indica paredes embaixo de beiral;
 - Condições iniciais de obra para cada tipo de material

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- Wufi-Bio (SEDLBAUER, 2001)
 - Dados de entrada:
 - Valores horários anuais da temperatura e umidade relativa das paredes obtidos do programa WUFI-Pro, considerando materiais Classes I e II.
 - Classe I são biodegradáveis, como papel e gesso ou superfícies fortemente contaminadas.
 - Classe II são substratos porosos, como materiais minerais de construção, gesso, alguns tipos de madeiras.
 - Adotou-se umidade inicial do esporo de 0,5 (manual).

Projeto de Pesquisa IPT

Método utilizado

- Wufi-Bio (SEDLBAUER, 2001)
 - Dados de saída:
 - Teor de umidade crítico nos esporos, índice de crescimento de micélios e taxa de crescimento de micélios.
 - Há germinação de esporos e o crescimento de micélios sempre que o teor de umidade no interior do esporo for superior ao teor de umidade crítico.



Projeto de Pesquisa IPT

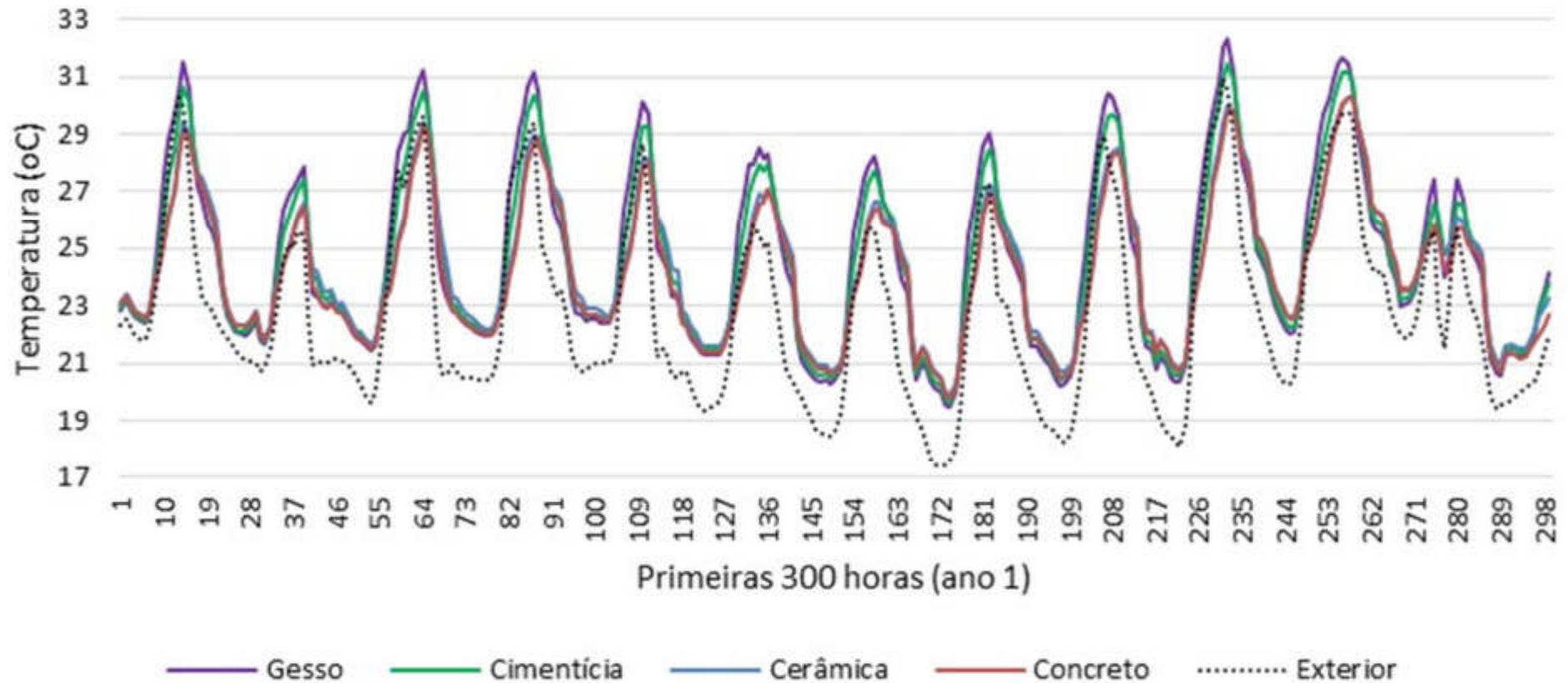
Método utilizado

- Wufi-Bio (SEDLBAUER, 2001)
 - Dados de saída:
 - Índice de crescimento de micélios e taxa de crescimento de micélios.

Índice de crescimento de bolor	Descrição da taxa de crescimento do bolor
0	Sem crescimento
1	Pequena quantidade de bolor na superfície visível com microscópio
2	Quantidade moderada de bolor na superfície visível com microscópio em até 10% da superfície
3	Fungos visíveis a olho nu, hifas vistas em microscópio
4	Fungos visíveis a olho nu em porcentagem da superfície maior que 10%
5	Fungos visíveis a olho nu em mais de 50% da superfície
6	Fungos visíveis a olho nu em 100% da superfície

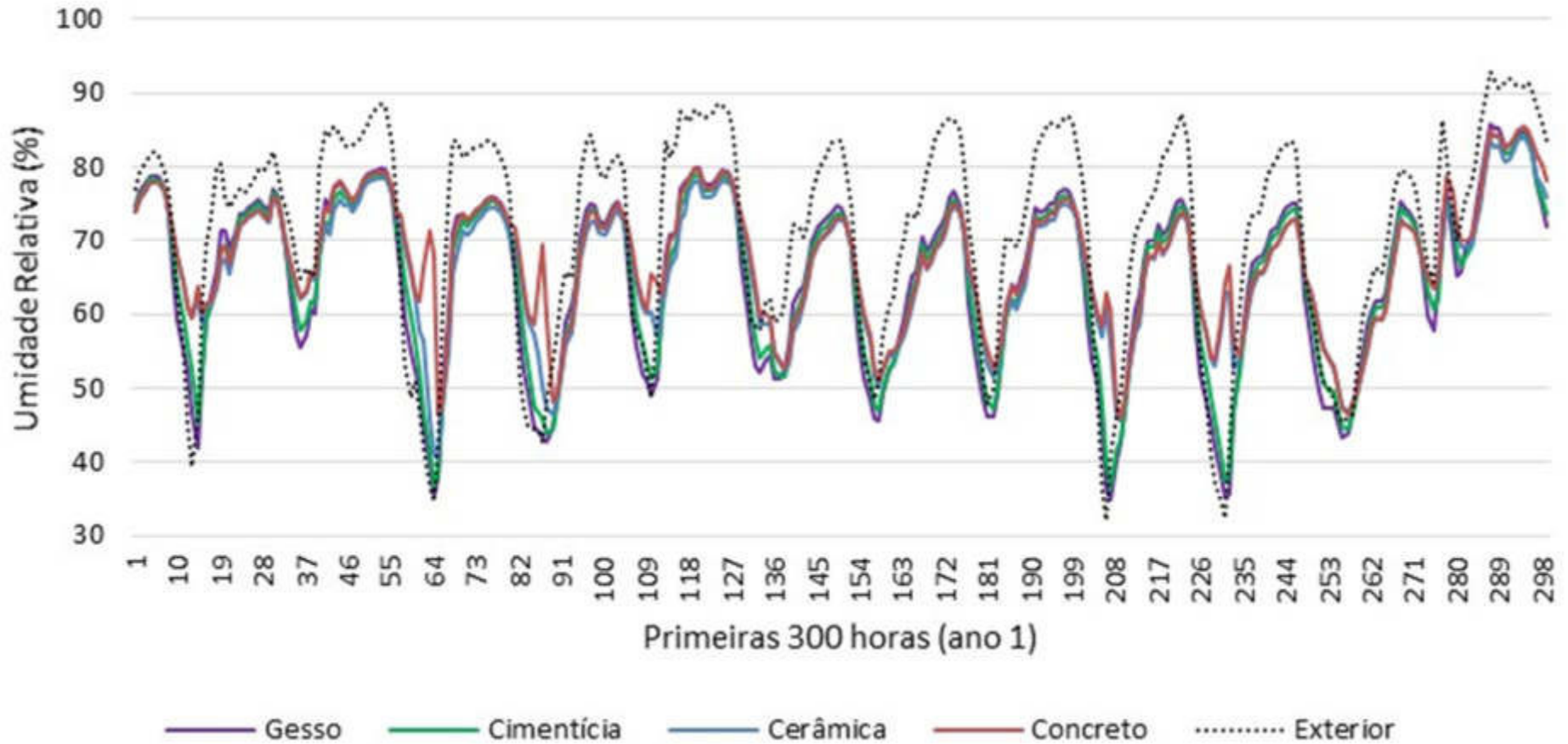
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais – ambiente



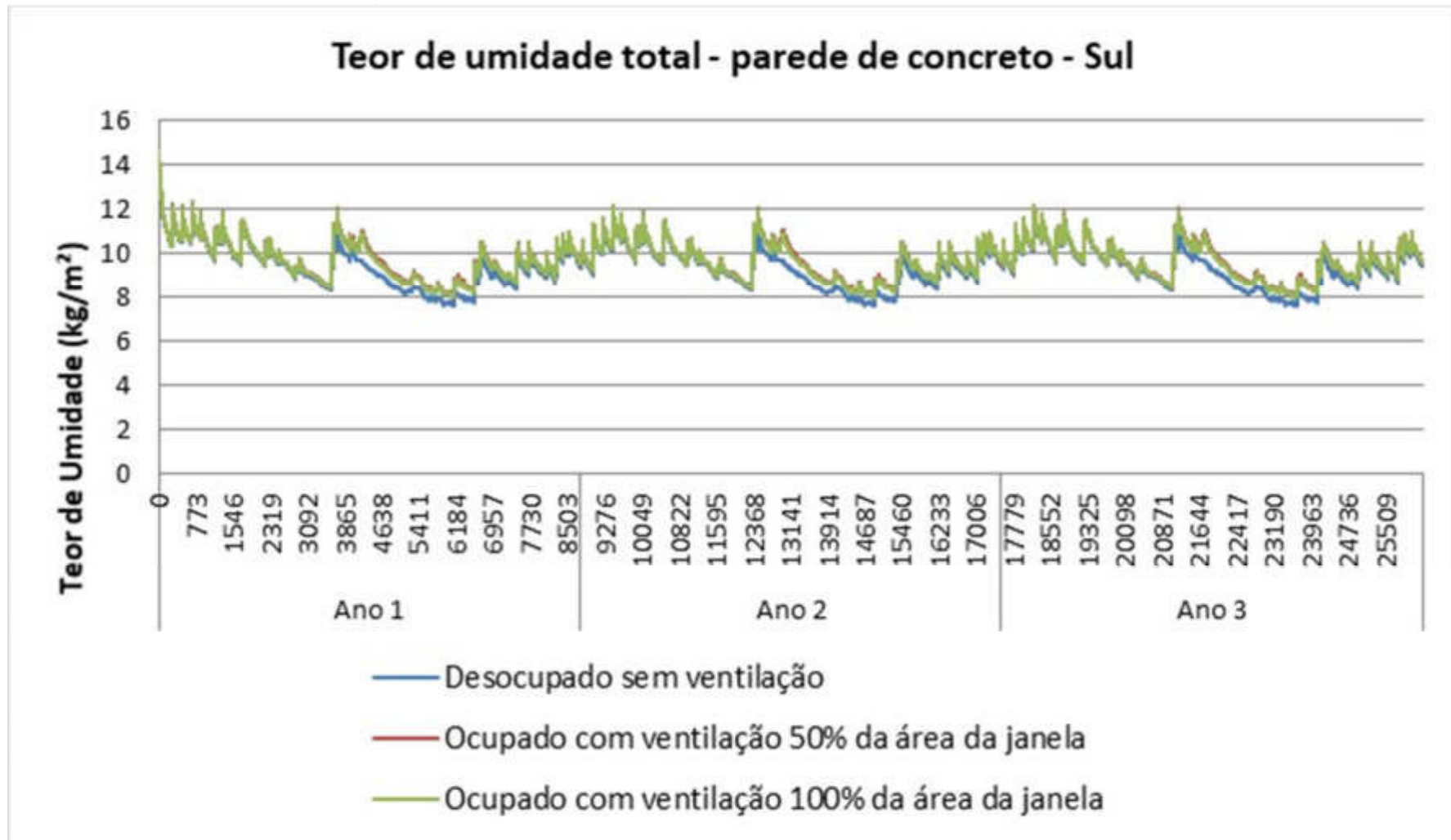
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais - ambiente



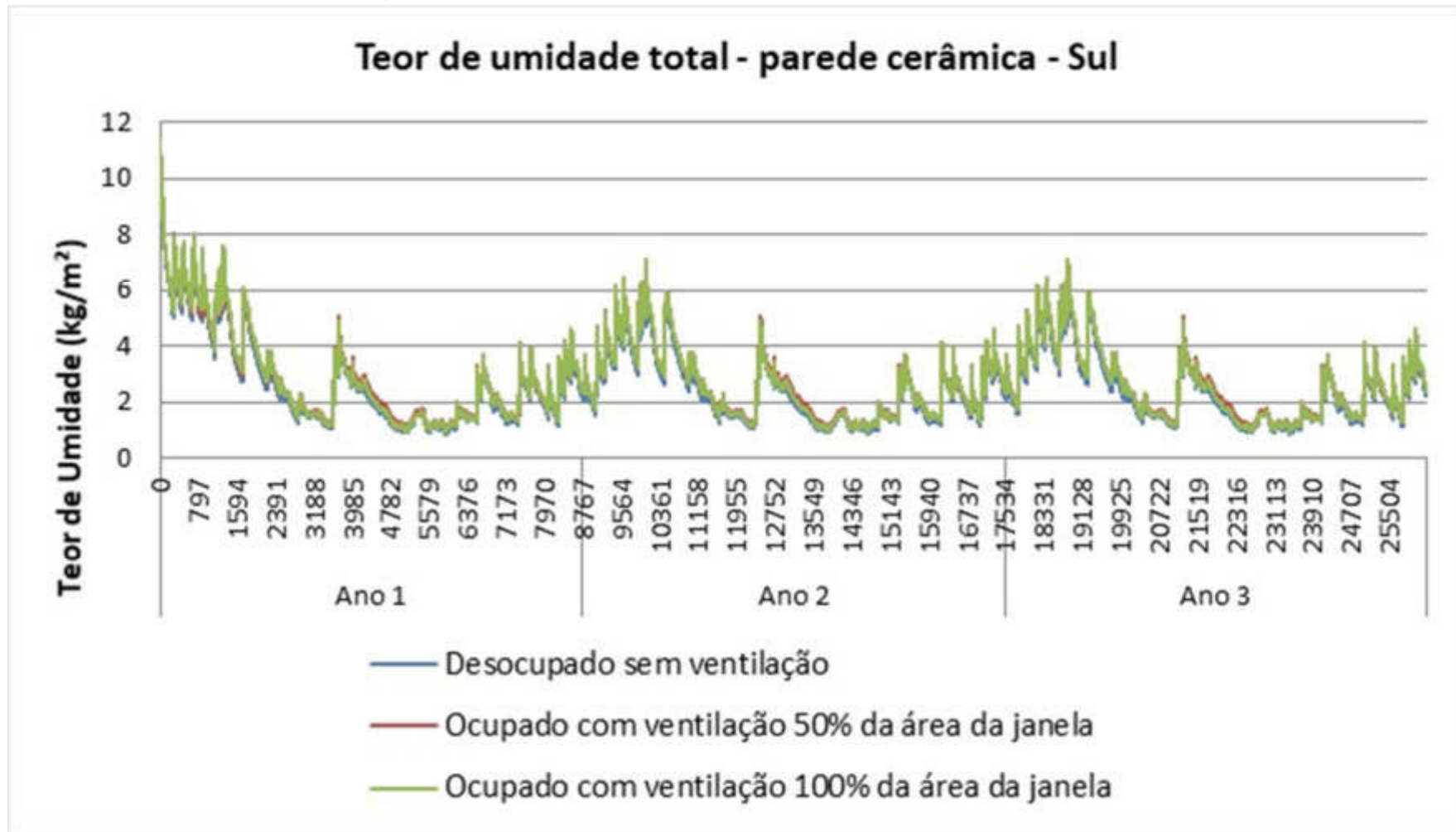
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



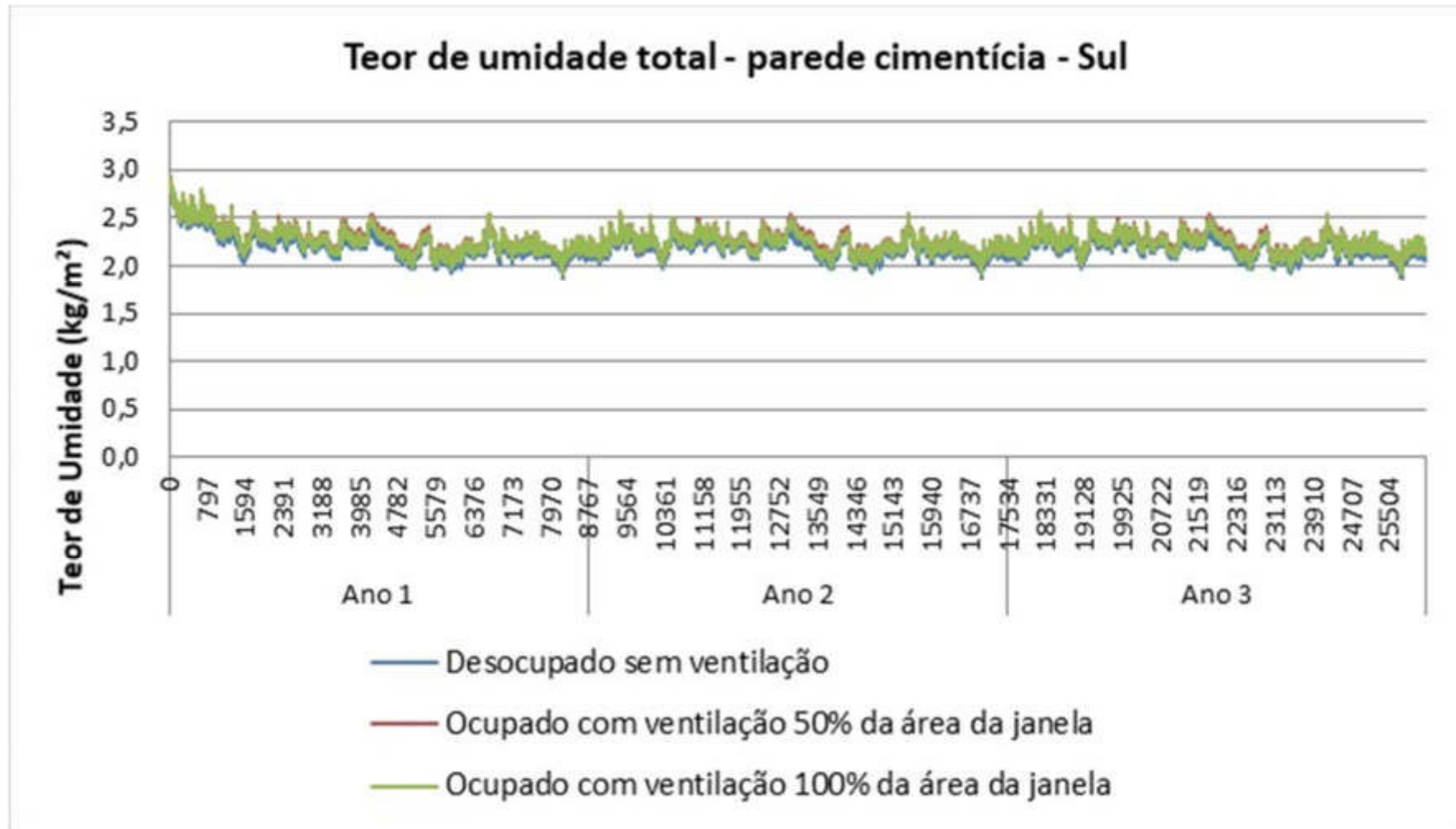
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



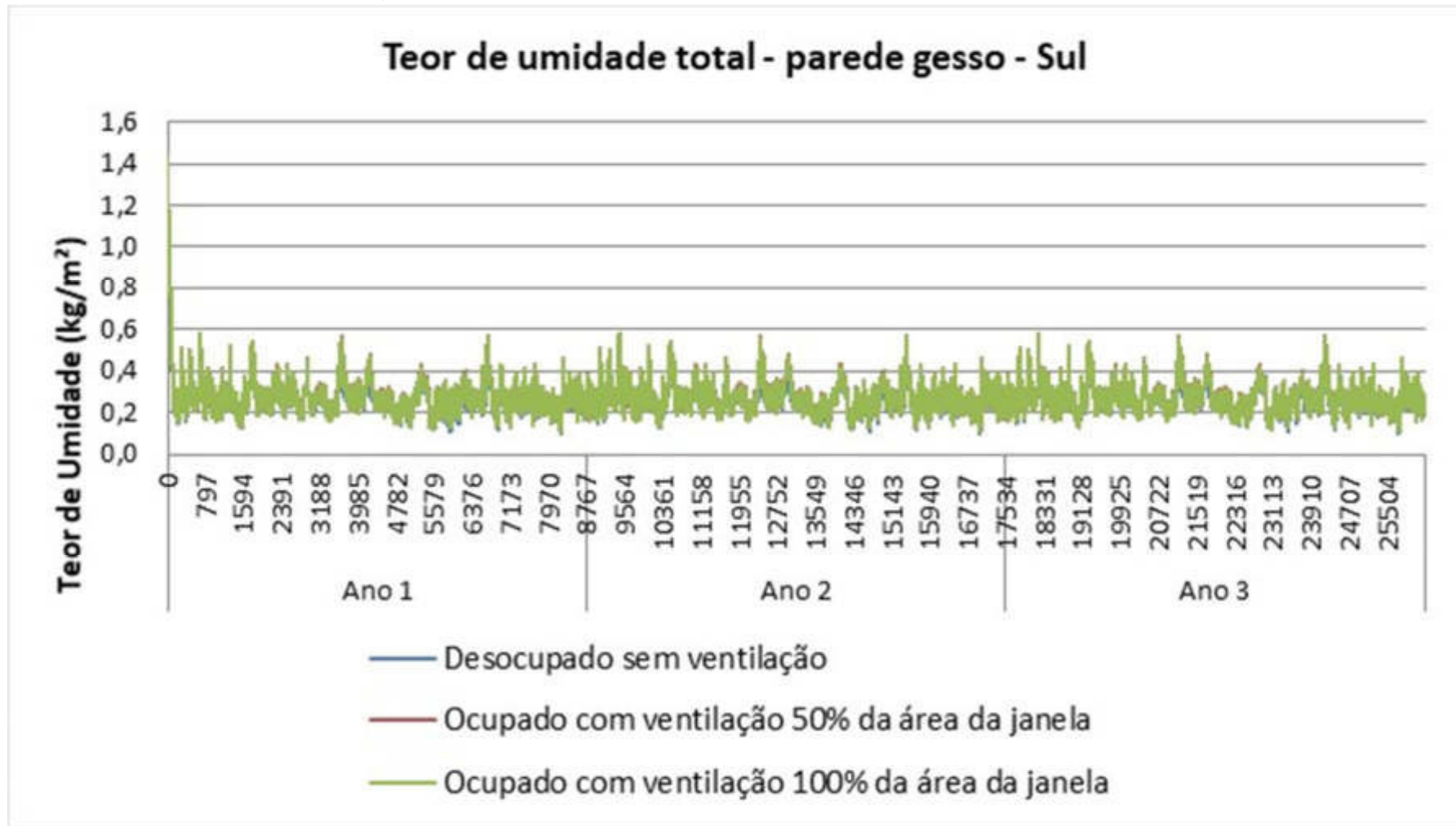
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



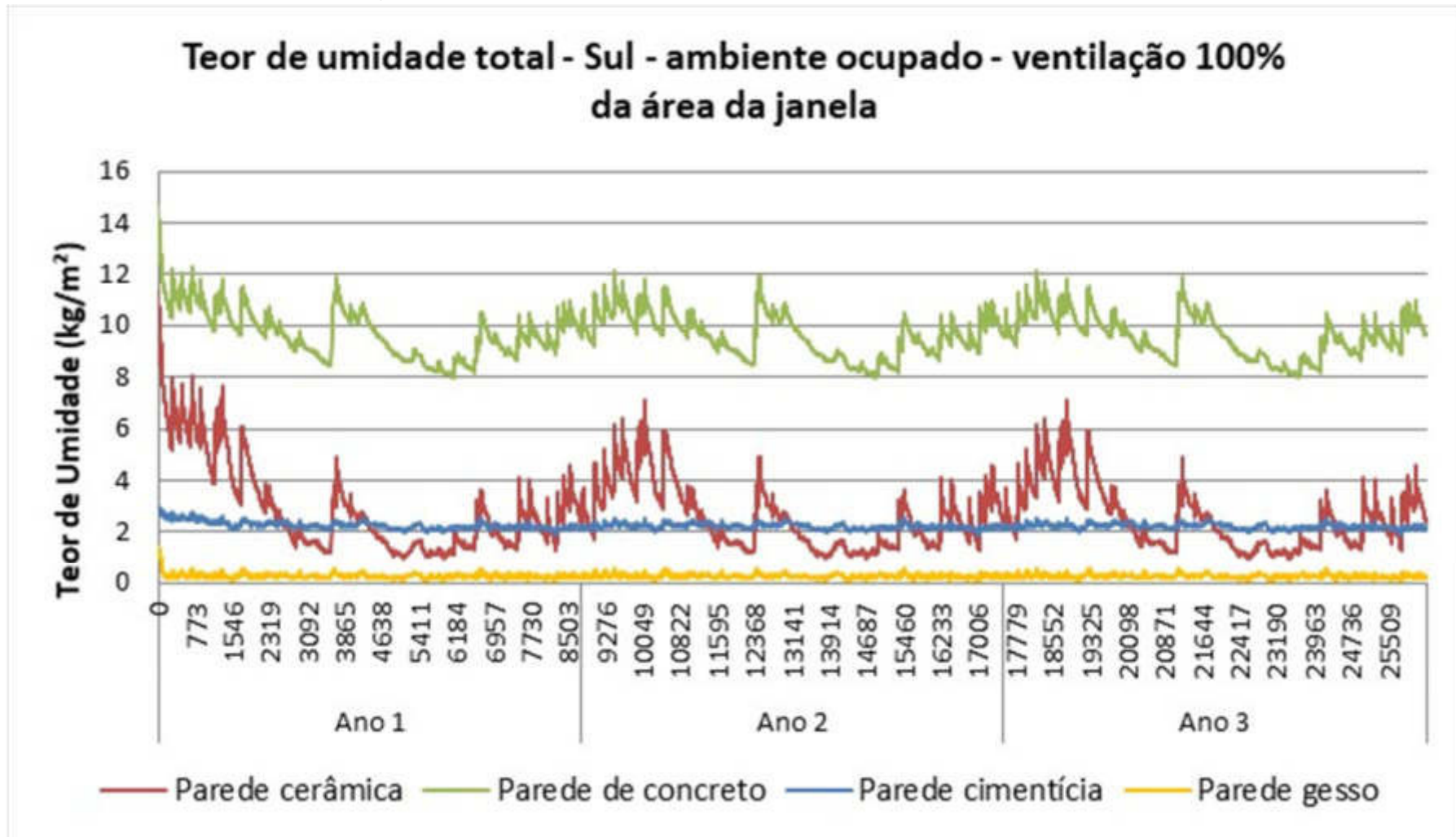
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



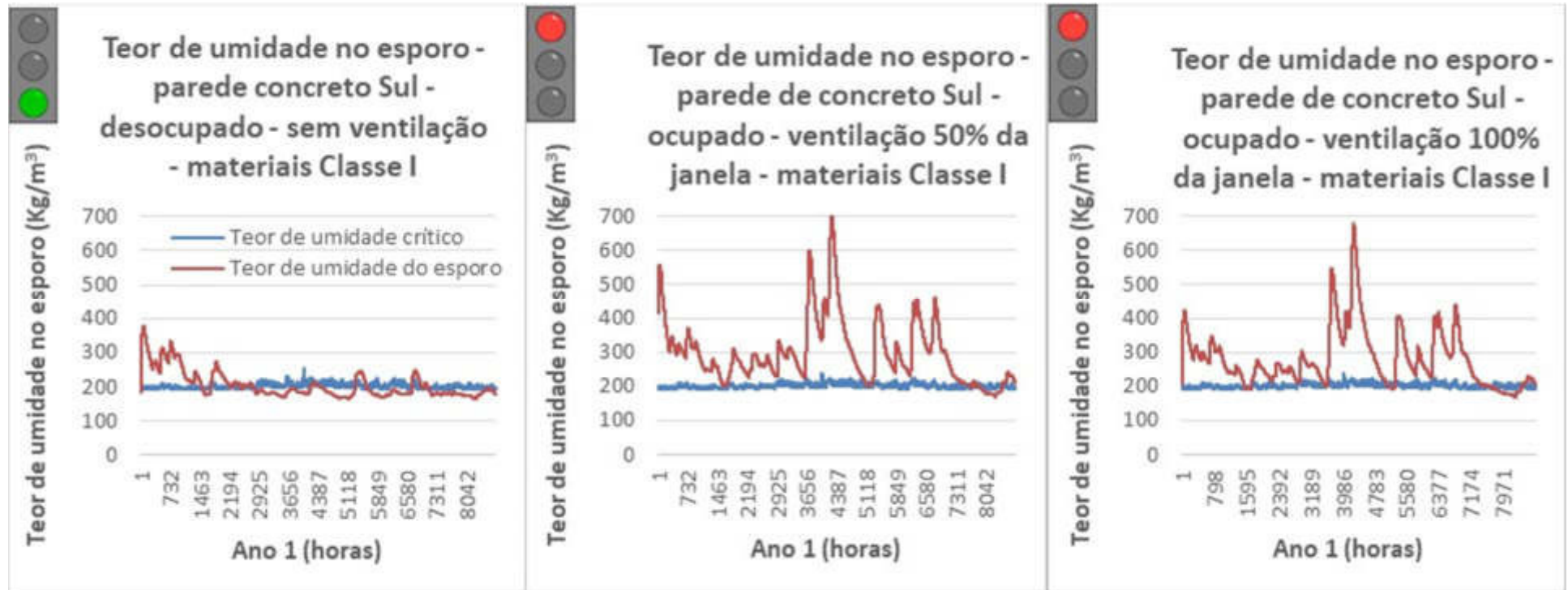
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



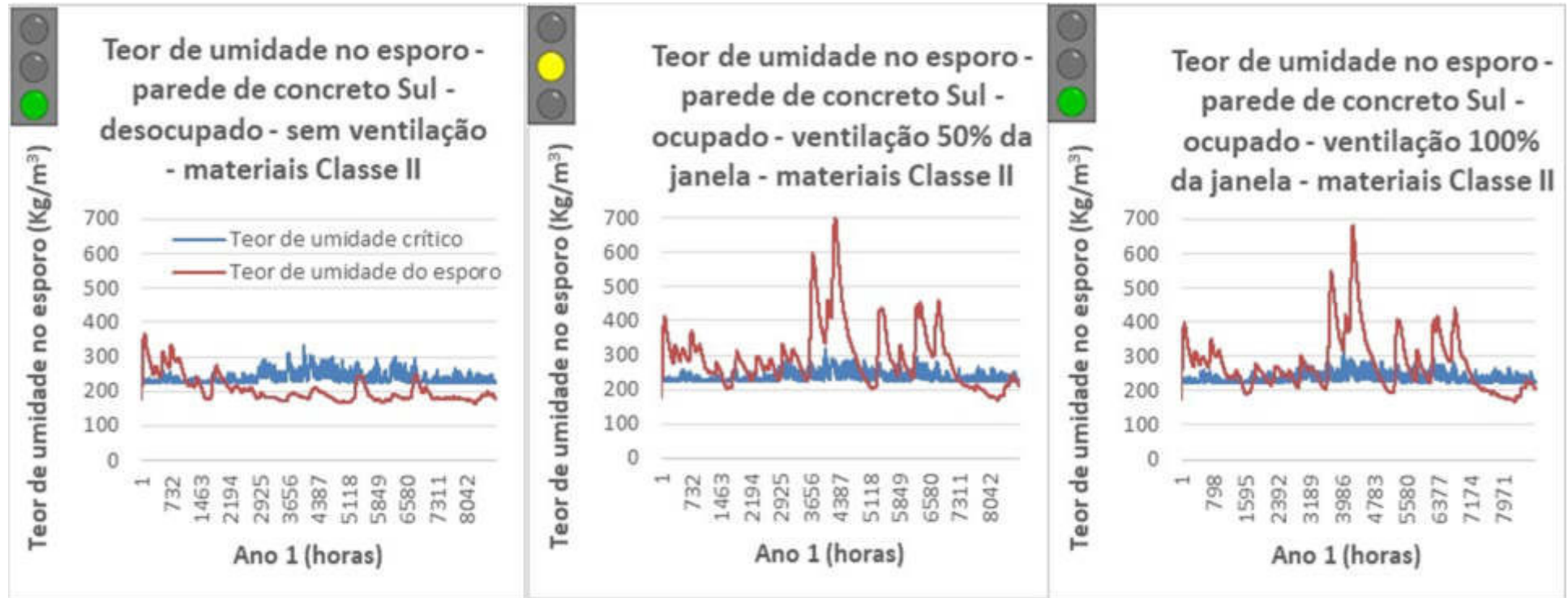
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



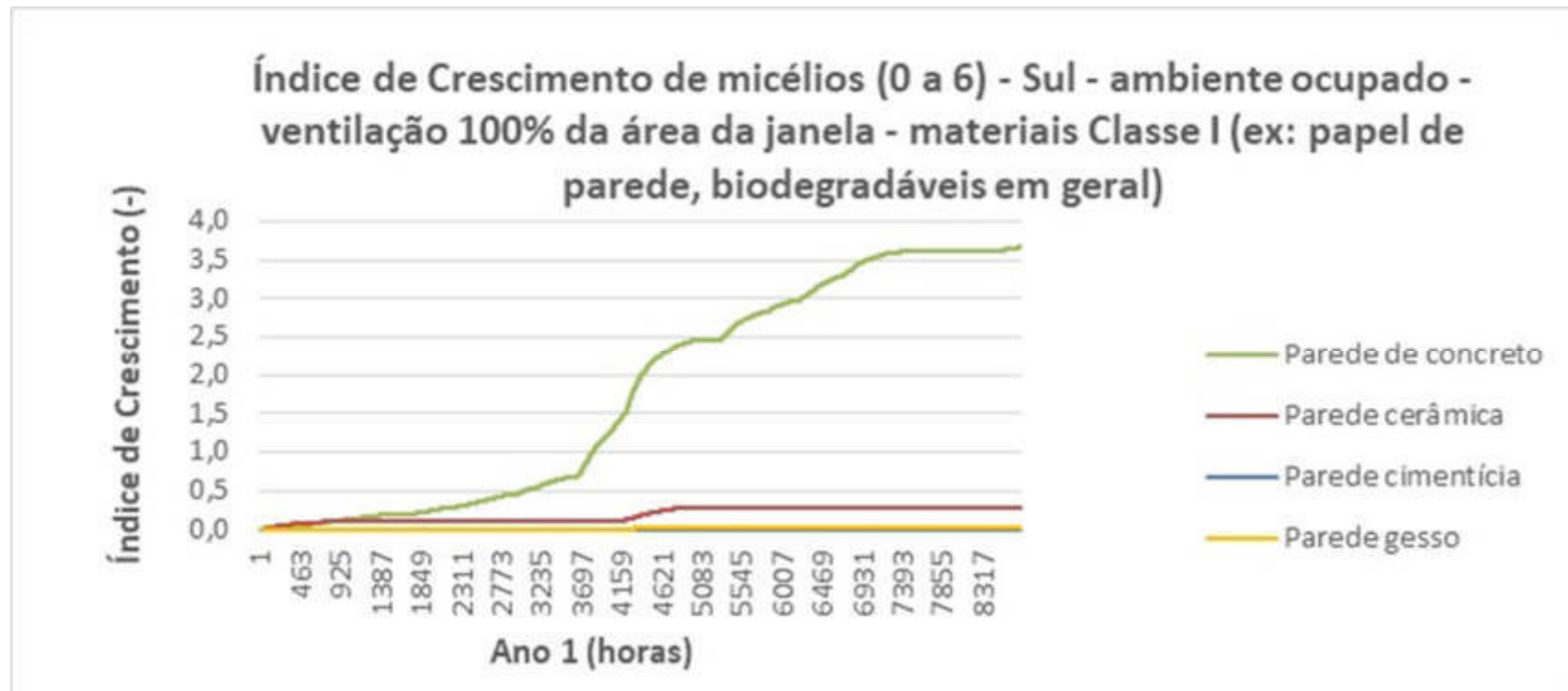
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



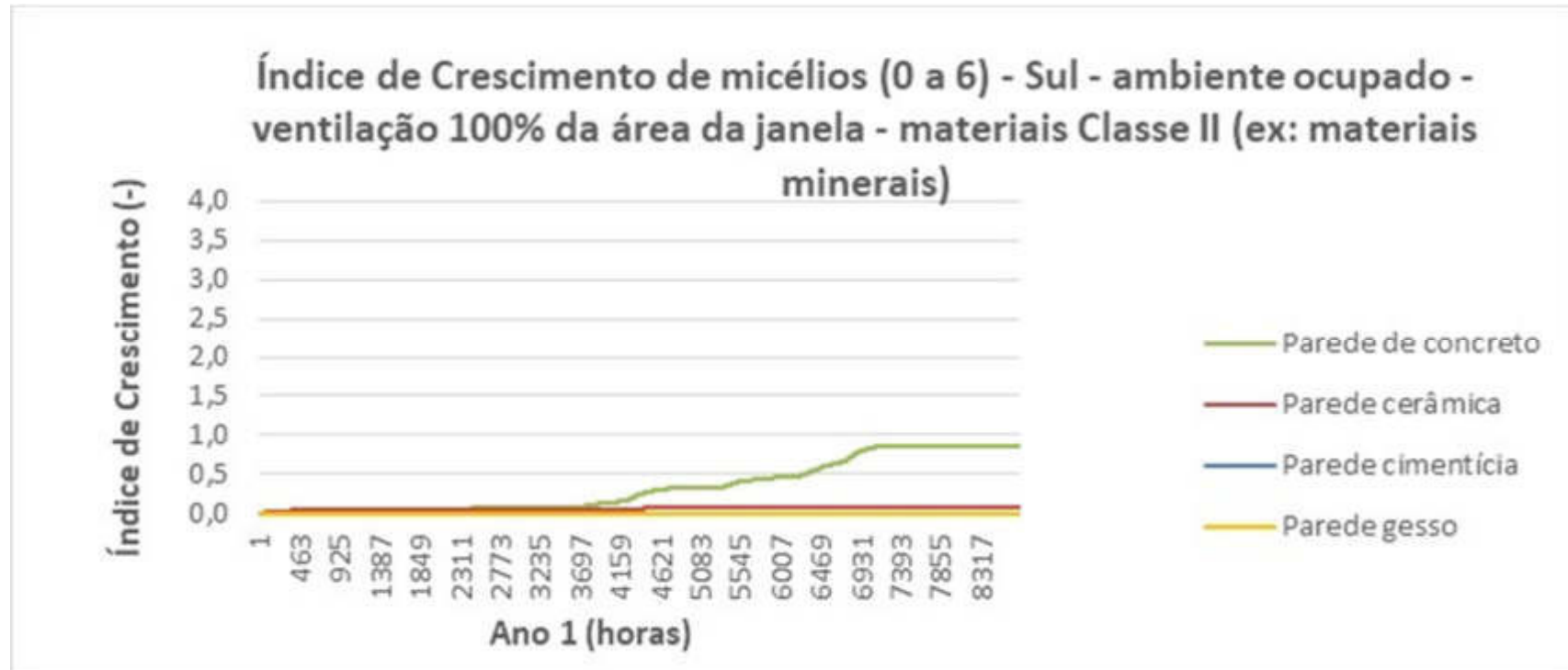
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



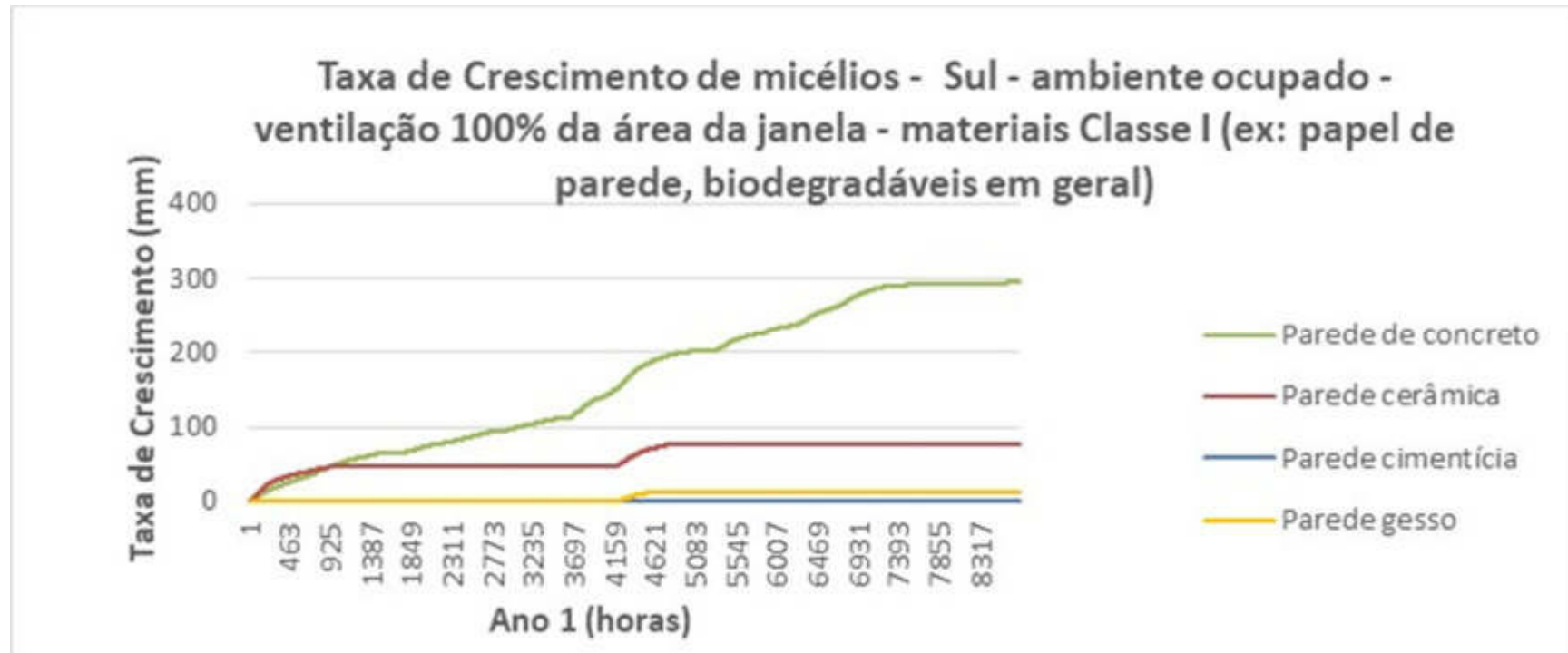
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



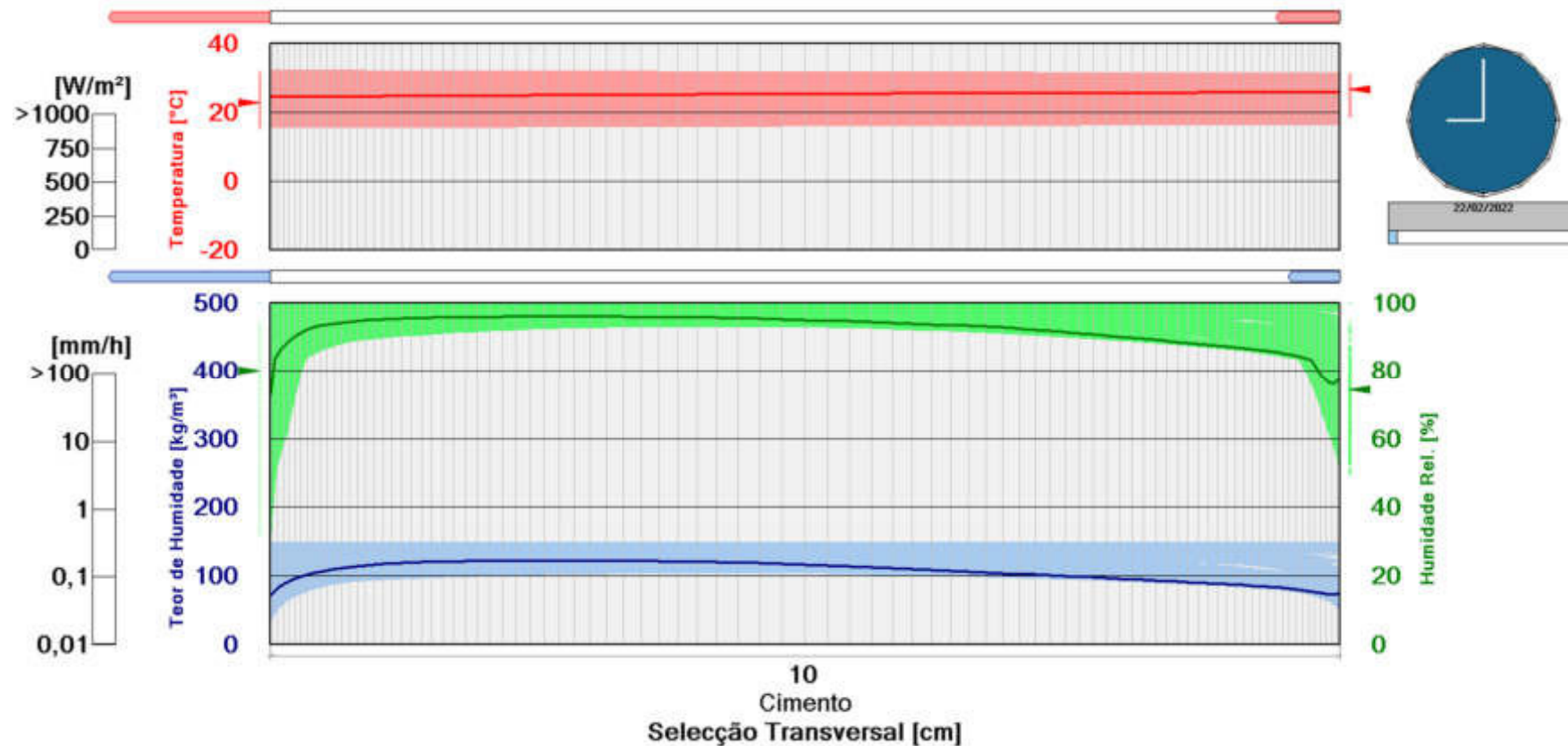
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



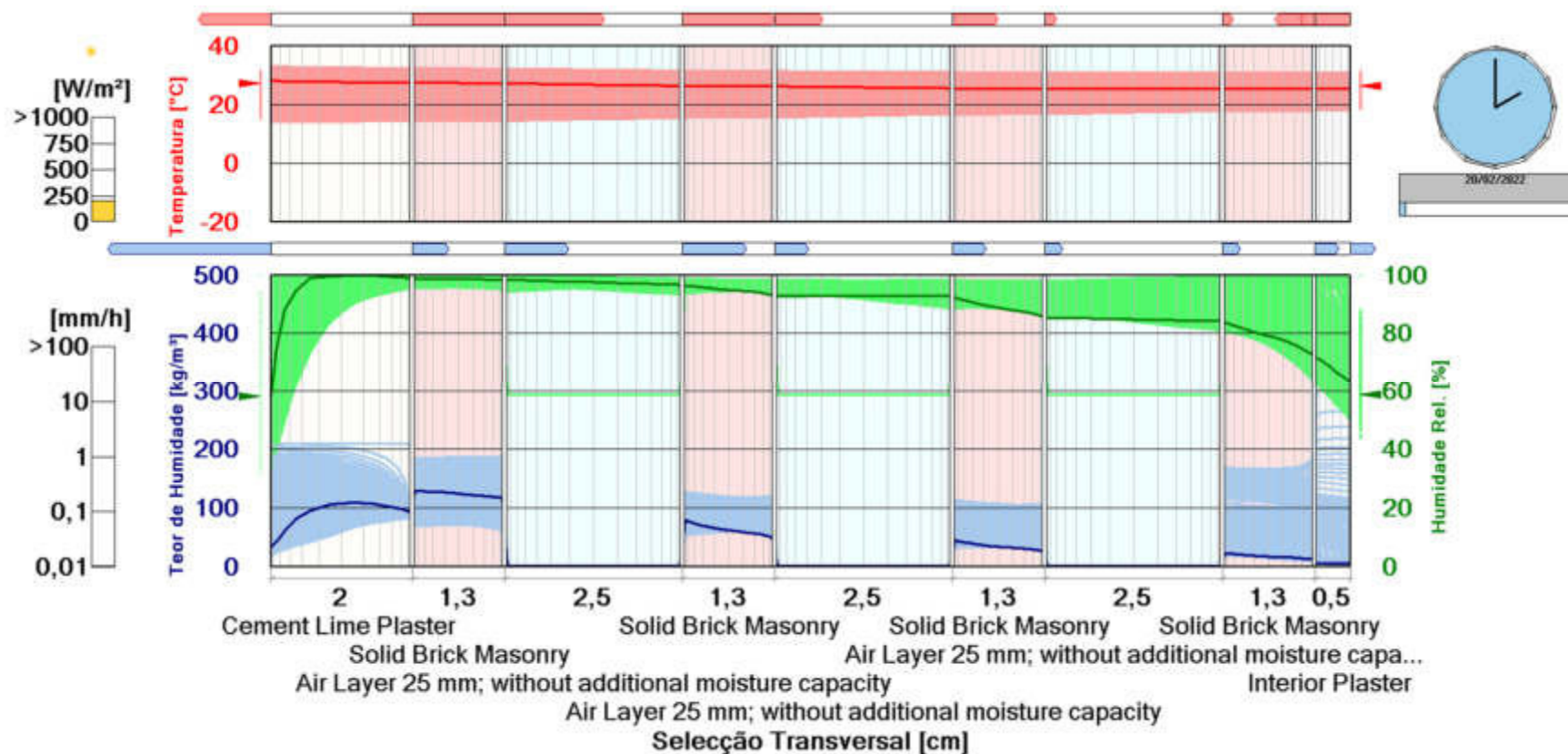
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais: concreto, ocup., jan. 50%



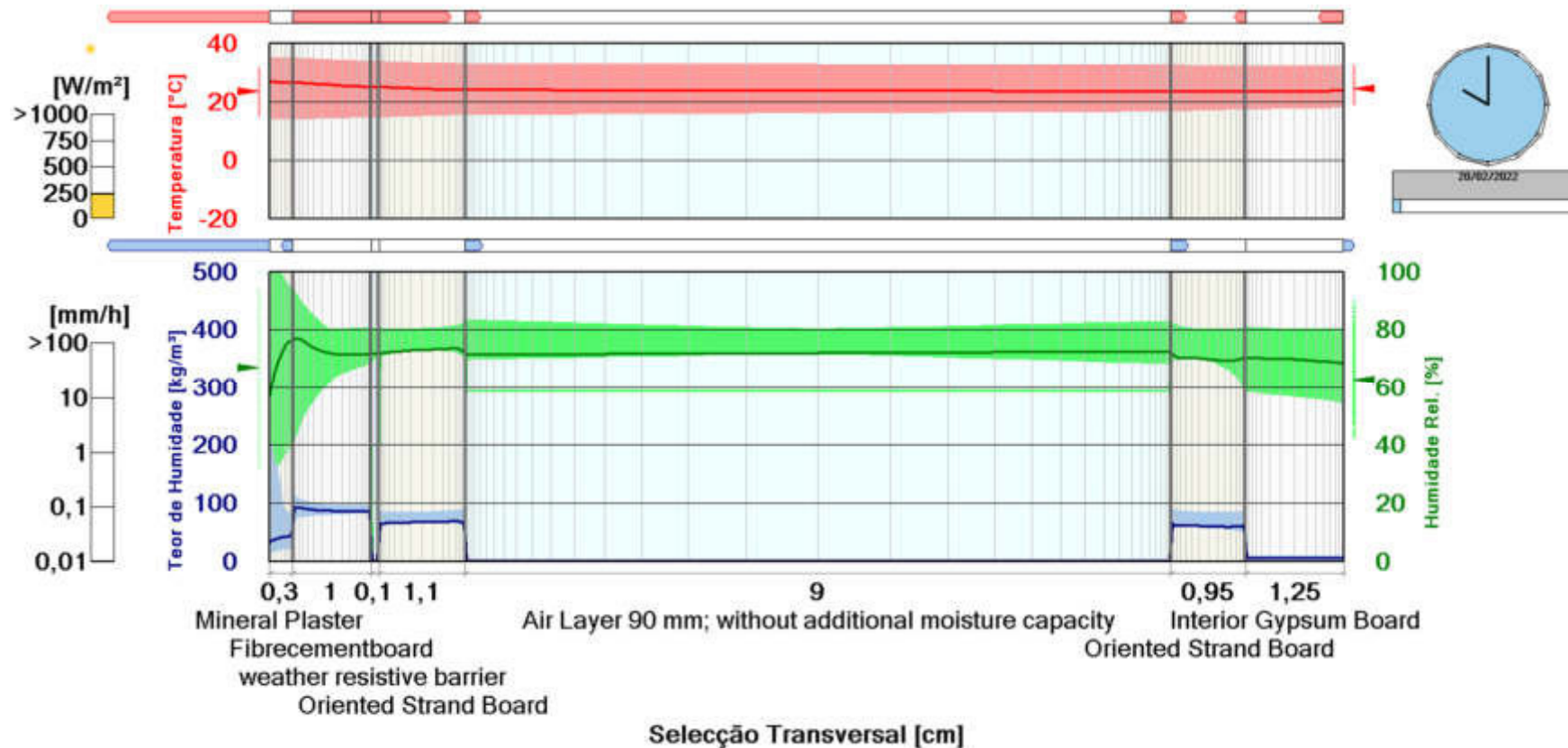
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais: cerâmica, ocup., jan. 50%



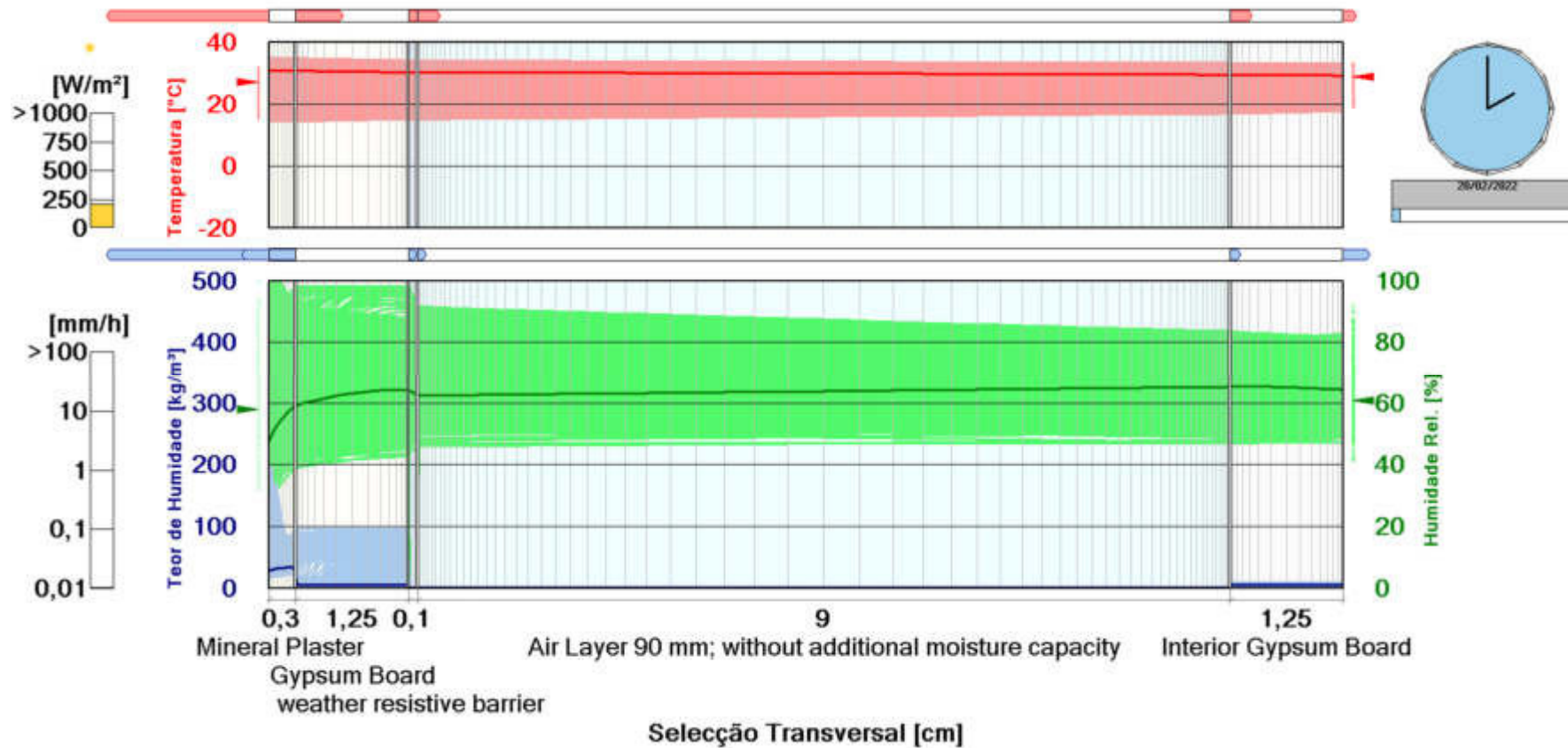
Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais: cimentícias, ocup., jan. 50%



Projeto de Pesquisa IPT

Resultados parciais



Projeto de Pesquisa IPT

Considerações

- Analise de sensibilidade do WUFI-PRO mostra diferenças entre os componentes o que era de se esperar
- O WUFI-BIO mostra resultados que parecem refletir o que ocorre em casos reais com base em outros autores
 - Podem ser feitos estudos de outros modelos de proliferação de fungos para comparação

Projeto de Pesquisa IPT

Considerações

- Necessário maiores estudos:
 - Quanto às fontes internas de calor e umidade e ventilação de recintos e efeito nos componentes
 - Com tintas
 - Com outras barreiras de vapor
 - O IPT acabou de adquirir o WUFI-2D, vamos analisar outros efeitos não considerados pelo WUFI PRO, como o desenho do bloco cerâmico, por exemplo
 - Comparação de resultados obtidos no WUFI com uso de outros programas como EnergyPlus com algoritmos que modelam umidade de modo detalhado
 - Possibilidade de medições em campo (comparações com simulações)

Seu desafio é nosso.

Laboratório de Tecnologia e Desempenho de Sistemas Construtivos

Eng. Fernanda Belizario Silva
fbsilva@ipt.br

Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Instalações Prediais

Arq. Adriana Camargo de Brito
adrianab@ipt.br