

## DESAFIOS E CONTRIBUIÇÕES: ESTUDO DE DEGRADAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES POR MEIO DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA<sup>1</sup>

ZANONI, Vanda (1); SÁNCHEZ, José Manoel (2); BAUER, Elton (3)

(1) UNB, e-mail: vandazanoni@unb.br; (2) UNB, e-mail: sanchez@unb.br; (3) UNB, e-mail: elbauerlem@gmail.com

### RESUMO

Os processos que envolvem a degradação dos sistemas de fachadas das edificações são complexos. Devido à sinergia entre os agentes e mecanismos de degradação e os elementos de fachada, nem sempre é possível estudá-los somente no ambiente controlado do laboratório de ensaios ou nos estudos de campo. Por isso, as simulações computacionais, assim como as inspeções prediais e as experimentações laboratoriais, devem ser complementares, tornando-se um conjunto de recursos necessários para que se amplie a compreensão dos fenômenos de degradação e as variáveis envolvidas. Neste contexto, este artigo tem por objetivo identificar e discutir os desafios quanto ao uso de programas de simulação higrotérmica computacional aplicados aos estudos de degradação de fachadas porosas decorrente do envelhecimento natural das edificações. A ferramenta computacional utilizada para as simulações higrotérmicas foi o software WUFI PRO 5.3. São apresentadas as principais barreiras e dificuldades no uso dessa ferramenta para os estudos relacionados ao comportamento higrotérmico e degradação das fachadas no Brasil. Após a identificação dos desafios, foram sugeridas algumas contribuições para a difusão e facilitação das simulações computacionais higrotérmicas.

**Palavras-chave:** Comportamento higrotérmico. Condições de exposição. Durabilidade.

### ABSTRACT

The processes involving the degradation of the buildings facades systems are complex. Due to the synergy between the agents and mechanisms of degradation and facade elements, it is not always possible to study them only in the controlled environment of the testing laboratory or field studies. Therefore, computer simulations, as well as inspection of buildings and test laboratories, should be complementary, making it a set of resources to broaden the understanding of degradation phenomena and the variables involved. In this context, this article aims to identify and discuss the challenges in the use of hygrothermal simulation computer program applied to degradation studies of porous facades due to the aging of the buildings. The computational tool used for hygrothermal simulations was the WUFI Pro 5.3 software. The main barriers and difficulties in using this tool for studies related to the hygrothermal behavior of facades are presented, in Brazil. After identifying the challenges it was suggested some contributions to the dissemination and facilitation of hygrothermal computer simulations as a tool for studies of degradation of buildings. Among the main contributions, there is the need to create a database of generic hygrothermal properties.

**Keywords:** Hygrothermal behavior. Exposure conditions. Durability.

<sup>1</sup> ZANONI, Vanda; SÁNCHEZ, José Manoel; BAUER, Elton. Desafios e contribuições: estudo de degradação das edificações por meio de simulação higrotérmica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo da degradação das edificações, pelo envelhecimento natural ao longo do tempo, envolve os agentes e suas ações, assim como os mecanismos de degradação e a resposta do elemento construtivo aos fenômenos atuantes.

As condições de exposição da envoltória do edifício constituem-se em um conjunto de ações que afetam a sua durabilidade. As ações externas de origem climática estão entre os principais agentes de degradação que, agindo sobre o edifício, contribuem para reduzir o seu desempenho ao longo do tempo de vida útil, pois aceleram os mecanismos de envelhecimento natural (JERNBERG, et al., 2004; ABNT, 2013).

Nos estudos sobre degradação de fachadas, as variações higrotérmicas estão entre os principais mecanismos responsáveis pelo envelhecimento natural das edificações (BAUER, et al. 2014).

Os mecanismos de transporte de calor e umidade e as propriedades higrotérmicas dos componentes constituintes da fachada determinam o comportamento higrotérmico dos sistemas construtivos (CIB W040, 2012).

Algumas pesquisas mostram a complexidade das condições locais atuantes na superfície das fachadas e a sinergia entre os agentes de degradação (RAMOS, 2007; DELGADO et al., 2010; FREITAS, 1992). Nestes casos, programas de simulação higrotérmica computacional foram usados como ferramenta de processamento e análise das condições de exposição.

Sobre esta abordagem, as simulações computacionais podem ser uma ferramenta necessária para avaliar as condições de exposição às cargas higrotérmicas, de acordo com as diferentes orientações de fachada e tipo de superfície (KÜNZEL, 1994; ASHRAE, 2009).

Para contribuir com os estudos de degradação das edificações, este artigo tem por objetivo analisar os desafios quanto ao uso dos programas de simulação higrotérmica computacional, visando o estudo do comportamento higrotérmico das fachadas porosas nas edificações.

Quanto aos procedimentos metodológicos, buscou-se identificar quais as principais barreiras na aplicação de ferramentas computacionais para os estudos relacionados ao comportamento higrotérmico, a partir da narrativa de alguns autores referenciais. Ainda, por meio da aplicação do programa computacional para simulação higrotérmica WUFI, foram identificadas as dificuldades relacionadas ao uso desta ferramenta nos estudos aplicados à degradação das edificações no Brasil.

Após o levantamento de dados e as análises críticas sobre as barreiras e dificuldades encontradas, foram identificados os principais desafios e sugeridas algumas contribuições para a difusão e facilitação das simulações higrotérmicas computacionais nos estudos brasileiros sobre a degradação de fachadas.

## 2 COMPORTAMENTOS HIGROTÉRMICO

Esta seção apresenta as narrativas de alguns autores que esclarecem os achados de pesquisa quanto às principais barreiras na aplicação das ferramentas computacionais para os estudos relacionados ao comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas porosas.

Vários autores, entre eles, Hovde e Moser (2004) e Jernberg et. al. (2004), relatam a falta de dados disponíveis para uma análise mais detalhada do envelhecimento natural nos sistemas de revestimento poroso de fachada, principalmente em decorrência dos agentes e mecanismos de degradação de origem climática e os efeitos sinérgicos dos fenômenos.

As fachadas estão expostas às ações externas de origem climática e, dependendo da sua orientação, sofrem influências de diferentes intensidades. Haagenrud (2004) alerta que a existência de efeitos sinérgicos (por exemplo, os efeitos dos ciclos de molhagem e secagem) levantam sérias dúvidas quanto a caracterizar os agentes climáticos pelo seu valor médio ou por valores limites.

Para a previsão de vida útil dos componentes da edificação, um dos métodos indicados é o ensaio acelerado. Além da aceleração da dimensão tempo, outros métodos para previsão da vida útil são aqueles relacionadas à interpolação ou extrapolação de informações usando dados de degradação de componentes semelhantes, de ambientes de uso semelhante, ou ainda, obtidos em exposição de uso intencional, em curto prazo de tempo (BS ISO 15686-2:2012).

Segundo a ISO 15686-2 *Buildings and constructed assets - Service life planning: Service life prediction procedures* (BS, 2012), dados sobre o envelhecimento natural das edificações decorrentes das condições de exposição a longo prazo, podem ser obtidos por meio de quatro categorias:

- Exposição em estações de envelhecimento natural;
- Inspeção em edifícios;
- Exposição em edifícios experimentais;
- Exposição nas condições de uso (uso intencional em condições normais, avaliando o comportamento a curto prazo).

Quanto aos métodos citados para avaliar as condições de exposição e degradação, John e Sato (2006) alertam que existem diferenças significativas na evolução do comportamento mecânico entre amostras expostas nos diferentes sítios de ensaio de envelhecimento natural e dessas com o envelhecimento acelerado. Para os autores, isso mostra a importância de incluir, nos estudos de durabilidade, o envelhecimento natural avaliado em campo, a longo prazo, além dos ensaios acelerados.

O estudo dos mecanismos de transporte de umidade em meios porosos é bastante complexo. Segundo Mendes (1997) e Santos (2009), a complexidade está relacionada à dificuldade em se definir modelos que representem a estrutura de poros dos materiais, as propriedades

higrotérmicas e os mecanismos simultâneos de transporte de calor e massa. Santos (2009) relata que são escassos os trabalhos que abordam a natureza multidimensional do fenômeno de transporte de calor, ar e umidade em elementos de edificações. Nos seus estudos, os autores citados buscam simplificar os modelos para que seja possível, com as técnicas atuais, representar as situações reais por meio da simulação computacional, viabilizando assim os avanços nas pesquisas do comportamento higrotérmico dos sistemas construtivos.

Segundo Mendes (1997), nas paredes das edificações, os gradientes de temperatura e umidade e os fenômenos de transferência de calor e umidade ocorrem simultaneamente e são altamente interdependentes. No entanto, a difusão de calor através da envoltória da edificação, em programas de simulação térmica em sistemas computacionais como o DOE-2, realizam o cálculo do consumo de energia de edificações, normalmente considerando o calor transferido através da envoltória puramente por condução. Segundo o autor, isto é verdade quando se trata de materiais não porosos, mas em construção civil os materiais usados são, comumente, porosos.

Mendes *et al.* (1999) considera que uma das grandes dificuldades para o uso das simulações higrotérmicas por meio de programas computacionais é a falta de propriedades higrotérmicas de materiais de construção e pelo fato de que um determinado material nunca possuir a mesma distribuição de poros, o que modifica suas propriedades de transporte.

Para Freitas (1992), os estudos e medições dos fluxos higrotérmicos e os potenciais de transporte de umidade e calor são difíceis de serem medidos, até em condições de laboratório. Freitas *et al.* (2008) sugere a seleção de materiais com uma caracterização genérica, correspondente às propriedades médias dos componentes. O autor justifica, explicando que a determinação de valores em ensaios experimentais mostra uma dispersão considerável quando se comparam resultados referentes a um mesmo material específico. Essa variabilidade decorre de diferentes fatores, entre eles, alterações na estrutura porosa e diferentes técnicas de ensaio (FREITAS, 1992).

As propriedades térmicas dos materiais porosos são relativamente homogêneas, enquanto o fluxo de massa (umidade) tem grandes discrepâncias, devido ao complexo mecanismo de transporte no meio poroso, dependendo principalmente da forma e teor de umidade dos poros (HENS, 2009). Isto é, em comparação com as outras propriedades, as propriedades dos materiais relacionadas ao transporte de umidade costumam mostrar uma grande variabilidade (ZHAO *et. al.*, 2015).

Um material específico é um material de características próprias, geralmente associado à um determinado fabricante ou produtor, cujas propriedades foram obtidas por medições de amostras representativas da linha de produção. Um material genérico é um material que representa um aglomerado de materiais (clusters). Por meio de um processo de síntese, as

técnicas estatísticas aplicadas permitem derivar de um conjunto de materiais específicos, um material genérico de cada cluster identificado. Um material genérico representa um grupo de materiais específicos que tenham características semelhantes (ZHAO et. al., 2015).

Como exemplo de publicações brasileiras que apresentam propriedades higrotérmicas de materiais ou componentes genéricos, são citados a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas produzido no âmbito do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE da UFSC (MORISHITA et al., 2011) e, mais recentemente, o site Desempenho Técnico para HSI, publicado pelo Ministério das Cidades, onde pode ser encontrado um conjunto de documentos técnicos, entre eles, um Catálogo de Desempenho de Sistemas Convencionais e Inovadores composto por uma série de fichas detalhadas de sistemas construtivos com ensaios de desempenho (<http://app.cidades.gov.br/catalogo>) (MC, 2016).

No entanto, estas publicações brasileiras citadas apresentam propriedades necessárias para as simulações voltadas para o conforto térmico e desempenho energético. Não apresentam características e propriedades suficientes para as simulações que envolvem transporte de massa (umidade).

O conjunto de normas brasileiras de desempenho NBR 15575 (ABNT: 2013) traz avanços importantes quanto à durabilidade e vida útil das edificações, principalmente com a aprovação de requisitos e critérios relacionados aos outros subsistemas da edificação, além das estruturas de concreto armado. Contempla, também, exigências associadas ao transporte de calor para os estudos de comportamento térmico.

Por outro lado, verifica-se a ausência de requisitos e critérios relacionados ao comportamento higrotérmico. Ou seja, restringem-se as exigências quanto ao desempenho térmico, apresentando características e propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos, sem levar em consideração os fenômenos simultâneos relacionados ao transporte de calor e umidade e às condições de exposição das edificações associadas aos agentes climáticos de degradação e a sinergia entre eles, ao longo da vida útil da edificação.

Além dos aspectos citados, uma importante barreira para o avanço nos estudos da durabilidade está relacionada à falta de dados disponíveis para análises mais detalhadas dos agentes climáticos e mecanismos de degradação, especialmente relacionados às fachadas degradadas por envelhecimento natural. As condições ambientais no entorno da edificação demandam um grande esforço em pesquisa para a melhoria do conhecimento sobre a durabilidade e degradação do ambiente construído (LIMA et al., 2006). Para Lima (2005), as normas brasileiras não consideram a variação sazonal e espacial da intensidade e/ou concentração dos agentes de degradação.

Neste contexto, considera-se fundamental superar os principais desafios apresentados, visando avançar no uso das ferramentas computacionais para simulação higrotérmica que permitem quantificar a ação dos agentes climáticos de origem externa e as interações com os sistemas de fachadas.

### 3 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

Nesta seção são apresentadas as dificuldades encontradas na aplicação da ferramenta computacional WUFI para as simulações do comportamento higrotérmico do sistema poroso de fachada adotado para a pesquisa (alvenaria de base com bloco cerâmico e revestimento com argamassa).

O comportamento higrotérmico do sistema construtivo refere-se ao campo conceitual da física das construções que estuda o transporte de calor, ar e massa nos seus componentes (CIB W040, 2012).

O WUFI PRO 5.3 (*Wärme- Und Feuchtetransport Instationär - Transient Heat and Moisture Transport*) é uma ferramenta de cálculo computacional para simulação do comportamento higrotérmico da envoltória da edificação, desenvolvido pela *Fraunhofer Institute for Building Physics* (WUFI, 2013). O programa WUFI PRO 5.3 adota um modelo unidirecional de transporte de calor e umidade não estacionário (transiente), governado por equações diferenciais de equilíbrio de calor e de equilíbrio de umidade.

O modelo usado pelo WUFI atende todos os requisitos e critérios estabelecidos pela EN 15026 *Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation* (DIN, 2007).

De acordo com as exigências da norma EN 15026 (DIN, 2007), os modelos de cálculo para simulação higrotérmica devem abranger as seguintes variáveis:

- Densidade de massa aparente;
- Condutividade térmica da matéria seca e dependência com a umidade;
- Calor específico;
- Porosidade;
- Coeficiente de absorção de água;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Fator de resistência à difusão do vapor de água;
- Teor de umidade de referência;
- Teor de umidade de saturação livre;
- Curva de armazenamento de umidade: isoterma de adsorção e dessorção;
- Coeficiente de transferência de água líquida – sucção (fase de umedecimento por absorção) e redistribuição (fase de secagem).

No uso do programa de simulação higrotérmica, constatou-se como principal limitação a ausência de uma base de dados brasileira de propriedades higrotérmicas de materiais e componentes de construção.

O WUFI disponibiliza um banco de dados de materiais e componentes com as propriedades higrotérmicas. Obviamente, este banco de dados é limitado. Por isso, é necessário selecionar componentes de acordo com faixas referenciais de propriedades higrotérmicas para o estudo do comportamento do sistema analisado.

Usualmente, parte das propriedades higrotérmicas não são determinadas pelos laboratórios brasileiros, visto que não são exigências das normas nacionais. Além disso, em geral, as normas brasileiras não exigem a caracterização das propriedades higrotérmicas, visando a ação dos agentes e mecanismos nos processos de degradação. No Brasil, as exigências normativas são mínimas para os estudos do comportamento higrotérmico dos sistemas construtivos de vedação vertical, quando consideradas as condições de exposição aos agentes climáticos.

Um dos dados de entrada do programa de simulação higrotérmica WUFI é a seleção do método de quantificação da chuva dirigida incidente na superfície da fachada. O programa permite optar por um dos três métodos, a saber, os métodos ISO 15927-3: 2009, ASHRAE STANDARD 160: 2009 e o método próprio do WUFI.

No Brasil, os trabalhos existentes sobre chuva dirigida são baseados no Índice de Chuva Dirigida - ICD que é um indicador do nível de severidade das condições de exposição a campo aberto, mas não quantifica o montante de chuva que é projetada pelo vento em cada orientação de fachada, em diferentes contextos urbanos.

Segundo Zanoni (2015), não se encontra disponível nenhuma publicação brasileira sugerindo algum método semi-empírico para quantificação de montantes de chuva dirigida em fachadas ou estudos brasileiros relacionadas às medições de chuva dirigida *in situ*. Em seus estudos, por meio de comparações entre os métodos propostos pelo WUFI e medições *in situ*, a autora sugere o método da ASHRAE 160: 2009.

Quanto aos dados climáticos para alimentar o WUFI, uma das principais dificuldades e limitações encontradas nos estudos realizados foi a falta de referências brasileiras para a seleção de dados climáticos, além da apresentação e aplicação em projeto, por exemplo, como aquelas apresentadas pelas normas ISO 15927-4: 2005 e DIN15026: 2007, entre outras.

Baseado em Zanoni (2015), entre os arquivos climáticos disponíveis para a cidade de Brasília, o arquivo TMY-EPW/ANTAC (RORIZ, 2012) pode ser considerado como o mais representativo para os estudos higrotérmicos por meio de simulação computacional.

Na fase de pós-processamento, são muitas as possibilidades de aplicação dos resultados das simulações, entre elas os estudos de degradação relacionados ao transporte de calor e umidade, em regime transitório. Neste caso, o programa permite quantificar a ação dos agentes climáticos de origem externa atuantes no contexto local onde está inserida a edificação e as respostas dadas pelo sistema de fachada, com base em suas

características e propriedades higrotérmicas. Desta forma, os resultados obtidos fornecem dados quantitativos necessários para avançar nas análises sobre os processos de degradação e as variáveis envolvidas.

#### 4 CONCLUSÃO

Para responder às solicitações impostas pelas condições de exposição, as fachadas devem ser capazes de minimizar os impactos negativos das cargas higrotérmicas que atuam sobre a envoltória do edifício, mantendo o desempenho e a vida útil esperados. O conhecimento das condições de exposição das fachadas aos agentes externos de origem climática permite compreender melhor as interações entre os agentes e os processos de degradação ao longo da vida útil da edificação.

Como os processos que envolvem a degradação das edificações são complexos devido à sinergia entre as variáveis envolvidas, nem sempre é possível estudá-los somente no ambiente controlado do laboratório de ensaios ou nos estudos de campo.

Portanto, conclui-se que:

- Os estudos por meio de simulação computacional podem contribuir como uma ferramenta complementar à obtenção dos dados necessários aos estudos de degradação de fachada.
- As simulações computacionais, assim como as medições em campo e as experimentações laboratoriais, devem ser complementares, tornando-se um conjunto de recursos necessários para que se amplie a compreensão dos fenômenos de degradação e as variáveis envolvidas.
- Comparativamente com as normas internacionais, são incipientes as exigências das normas brasileiras quanto aos aspectos relacionados com a durabilidade e vida útil das edificações, principalmente no campo conceitual do comportamento higrotérmico de sistemas de fachadas porosas.
- Apesar das características tropicais do Brasil, onde os fenômenos de precipitação são intensos e constituem-se fontes importantes de umidade, não foi encontrada nenhuma recomendação sobre chuva dirigida nas normas nacionais.
- A ausência de uma base de dados brasileira de propriedades higrotérmicas, para selecionar materiais e componentes genéricos representativos dos sistemas construtivos brasileiros, é uma das principais barreiras para a aplicação de programas de simulação higrotérmica computacional.

#### REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ANSI/ASHRAE - American National Standards Institute & American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE 160 - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings**. Atlanta, 2009.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **Handbook 2009 - Fundamentals**. Atlanta, 2009.

BAUER, E; CASTRO, E. K.; SILVA, M.N.B.; ZANONI, V.A.G. Evaluation of damage of building facades in Brasília. In: International Conference on Durability of Building Materials and Components, XIII DBMC 2014, **Proceedings** ... USP, São Paulo, 2014. p. 535-542.

BS ISO BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN ISO 15927-3** Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data. Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. BS EN ISO, 2009.

BS ISO BRITISH STANDARD INSTITUTION. ISO 15686-2 Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures. London, 2012.

CIB W040 - HEAT AND MOISTURE TRANSFER IN BUILDINGS. **Heat, air and moisture transfer terminology - parameters and concepts**. Publication 369. International Council for Research and Innovation in Building and Construction – CIB. Porto: FEUP Edições, 2012.

DANIOTTI, B.; RE CECCONI, F. **State of the art report on accelerated laboratory test procedures and correlation between laboratory tests and service life data**. CIB Report: Publication 331. CIB W080: WG3, Milão, Itália, 2010.

DELGADO, J.M.P.Q., RAMOS, N.M.M., BARREIRA, E., FREITAS, V.P. A critical review of hygrothermal models used in porous building materials. **Journal of Porous Media**, v. 13, v. 3, pp. 221–230, Begell House, Inc., New York, 2010.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **EN 15026**: Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. CEN, Brussels, Belgium, 2007.

FREITAS, V.P. **Transferência de umidade em paredes de edifícios- análise do fenómeno de interface**. Tese (Doutorado). Porto: FEUP, 1992.

FREITAS, V.P.; TORRES, M.I.T.; Guimarães, A.S. **Humidade ascensional**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto: Feup-edições, 2008.

HAAGENRUD, S. Factors Causing Degradation: Part II. In: **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components**. CIB Publication 295, p.1.2-104. CIB, Rotterdam, March 2004.

HENS, H. Vapor permeability measurements: impact of cup sealing, edge correction, flow direction, and mean relative humidity. **Journal ASTM Int** 6(9): 2009.

HOVDE, P. J.; MOSER, K. **State of the Art Reports (Part A: Factor Methods for Service Life Prediction. Part B: Engineering design methods for service life prediction**. CIB Report: Publication 294. CIB Rotterdam: W080/ RILEM 175 SLM, 2004.

JERNBERG, P.; LACASSE, M. A.; HAAGENRUD, S.E.; SJÖSTRÖM, C. **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components**. Joint CIB W80 / RILEM TC 140 – TSL. CIB Report, Publication 295, 2004.

JOHN, V.M.; SATO, N.M.N. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTLER, Miguel Aloisio; PEREIRA Fernando Oscar Ruttke (Ed.). **Coletânia Habitare: Construção e Meio Ambiente**, v.7. p. 21-57. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

KÜNZEL, H.M. **Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One and two-dimensional calculation using simple parameters**. Thesis (PHD). Fraunhofer Institute for Building Physics, Stuttgart, 1994.

LIMA, M. G. **Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. 1 ed. 2v. p. 713-751. São Paulo: IBRACON, 2005.

LIMA, M. G.; MORELLI F.; LENCIONI, J. W. Discussão sobre os parâmetros ambientais fatores de degradação do ambiente construído – Estudos relativos a materiais e sistemas para fachadas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XI, Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006. p.635- 649.

MENDES, N. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

MENDES, N.; RIDLEY, I.; LAMBERTS, R.; PHILIP, P.C.; BUDAG, K. UMIDUS-A PC Program for the Prediction of Heat and Moisture Transfer in Porous Building Elements. **Building Energy Simulation**, v.20 (4): 2-8, Berkeley, CA, 1999.

MC MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Desempenho Técnico para HSI - Catálogo de Desempenho de Sistemas Convencionais e Inovadores**. Disponível em: <http://app.cidados.gov.br/catalogo>. Acesso em 5 de abril de 2016.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. v.5. LabEEE. UFSC, Florianópolis, 2011.

RAMOS, N. M. M. **A importância da inercia higroscópica no comportamento higrotérmico dos edifícios**. Tese (Doutorado). FEUP, Porto, 2007.

RORIZ, M. **Correções nas Irradiâncias e Iluminâncias dos arquivos EPW da Base ANTAC**. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. ANTAC – ANTAC. São Carlos – SP, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>. Acesso em: setembro de 2013.

SANTOS, G. H. **Transferência de calor, ar e umidade através de elementos porosos de edificações**. Tese (Doutorado). UFSC, Florianópolis, 2009.

**WUFI Pro 5.3**. IBP - Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2013.

ZANONI, V.A.G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB, Brasília, DF, 2015.

ZHAO, J.; PLAGGE, R.; RAMOS, N. M.M.; SIMÕES, M. L.; GRUNEWALD, J. Concept for development of stochastic databases for building performance simulation - A material database pilot project. **Building and Environment** 84: 189-203; 2015.