



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

UMA DISCUSSÃO SOBRE O CONHECIMENTO DOS FATORES AMBIENTAIS NOS ESTUDOS SOBRE DEGRADAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Julia W. Lencioni (1); Maryangela G. de Lima (2); Fabiano Morelli (3)

- (1) Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil – e-mail: lencioni@ita.br
(2) Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil – e-mail: magdlima@ita.br
(3) Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil – e-mail: fmorelli@ita.br

RESUMO

Proposta: O presente trabalho visa apresentar uma discussão sobre o conhecimento dos fatores ambientais quando se estuda ou analisa a degradação das construções. Os fatores ambientais, em sua maioria, degradam os materiais e os sistemas de construção em maior ou menor grau. O Brasil, devido as suas grandes dimensões, apresenta variações climáticas e variações ambientais atuantes na degradação e durabilidade das construções. Devido a isto, na última década, tem-se verificado nos principais eventos de reunião de especialistas desta área que é de extrema importância conhecer como esses fatores ambientais se distribuem, combinam, incidem e degradam cada material e/ou sistema de construção. Além dos fatores naturais, como chuva, compostos atmosféricos, radiação solar, temperatura, umidade relativa, vento, entre outros, a poluição atmosférica põem em contato com a construção partículas sólidas e íons que muitas vezes aceleram os processos naturais de degradação. **Método de pesquisa/abordagem:** este trabalho apresenta uma discussão sobre a importância da consideração destes fatores ambientais nos processos e estudos sobre degradação do ambiente construído. São compilados, em um artigo, diversos aspectos ambientais, traduzindo para o meio que estuda durabilidade e degradação do ambiente construído os aspectos relativos da meteorologia e climatologia, pouco conhecidos pelos engenheiros e arquitetos nacionais. **Contribuições/originalidade:** Este trabalho está estruturado de forma a apresentar um resumo com os principais materiais e/ou sistemas de construção relacionando-os com os principais fatores ambientais (naturais ou não) de degradação; um resumo sobre a distribuição espacial dos principais fatores ambientais no Brasil; e uma discussão sobre este tema, buscando fornecer subsídios para estudos sobre degradação e durabilidade do ambiente construído.

Palavras-chave: degradação; materiais; clima; fatores ambientais; durabilidade.

ABSTRACT

Propose: This paper seeks to present a discussion about the knowledge of the environmental factors when it is studied or it is analyzed the constructions degradation. The environmental factors, in its majority, degrade the materials and the construction systems in degrees. The Brazil, due their great dimensions, presents climatic variations and active environmental variations on the constructions degradation and durability. Due to this, in the last decade, it has been verifying in the main events of specialists of this subject that it is of extreme importance to know as those environmental factors are distributed, how they are associated, they happen and they degrade each material and/or construction system. Besides the natural factors, as rain, composed atmospheric, solar radiation, temperature, relative humidity, wind, among others, the atmospheric pollution put solid particles and ions in contact with the construction, that a lot of times accelerate the natural processes of degradation. **Methods:** This paper presents a discussion about the importance of to considerate these environmental factors in the processes and studies about degradation of the built environment. It is compiled, in an article,

several environmental aspects, informing the professionals that study durability and degradation of the built environment the aspects relative to meteorology and climatology, little known by the national engineers and architects. **Contributions/Originality:** This paper is structured from way to present a summary with the main materials and/or construction systems linking them with the main environmental factors (natural or no) of degradation; a summary about the space distribution of the main environmental factors in Brazil; and a discussion about this theme, looking for to provide subsidies for studies about degradation and durability of the built environment.

Keywords: degradation; materials; weather; environmental factors; durability.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos vem se constatando um número cada vez maior de trabalhos científicos publicados por especialistas da área de durabilidade e degradação, focados em construções com considerável redução de sua durabilidade e vida útil.

Vários fatores implicam na redução da durabilidade das construções. Além dos materiais e sistemas de construção a interação do meio-ambiente também deve ser considerada quando se trata da degradação das construções.

Segundo John (2001), “*A ISO 15686 utiliza o termo degradation factor como sinônimo de degradation agent*”. E este mesmo autor define Agente de Degradação (degradation agent) como sendo “*qualquer ente que age sobre o edifício ou suas partes e que agente negativamente sua capacidade de desempenho, como, por exemplo, pessoas, água, calor e ciclos de carga*”. Por este motivo neste trabalho estará se utilizando o termo Agente de Degradação como sinônimo de Fatores Ambientais de Degradação das construções.

Atualmente, existe uma demanda muito grande de estudos envolvendo a influência dos fatores ambientais, especialmente na durabilidade dos materiais e componentes de construção, pois os códigos internacionais e nacionais de normalização estão apresentando limites para classificação dos ambientes onde as obras deverão estar inseridas, definindo assim parâmetros para a maior durabilidade dos materiais e sistemas de construção (LIMA e MORELLI, 2003).

Fatores ambientais, tais como chuva, compostos atmosféricos, radiação solar, temperatura, umidade relativa, vento, e a poluição atmosférica degradam os materiais de forma relevante, e devem ser considerados tanto nas fases de projeto e execução de uma obra, quanto nas fases de manutenção, conservação e recuperação, seja qual for o porte da obra em questão.

Devido à grande extensão do Brasil muitas variações climáticas podem ser notadas, apresentando características específicas para cada região do país. Em função disso, níveis diferentes de atuação do meio-ambiente sobre as construções podem ser observados.

Sendo assim, torna-se de grande importância o conhecimento das características de atuação do meio sobre os materiais de construção, visando compreender como os fatores ambientais ou agentes de degradação, isoladamente ou de forma combinada, agem sobre a construção e a degradam.

Um bom exemplo disto é o desenvolvimento do Projeto “*Mapeamento dos Agentes de Degradação dos Materiais*”, desenvolvido pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, dentro do Programa Habitare, da FINEP (<http://habitare.infra.ita.br>). Outros trabalhos abordando o assunto vêm sendo desenvolvidos no ITA, gerando publicações e o desenvolvimento de teses de mestrado e doutorado, podendo ser citados como exemplos o capítulo 24 – *Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto* - do livro *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*, do Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, de autoria da Profª. Drª Maryangela Geimba de Lima, e a tese de Mestrado da Engª. Julia Wippich Lencioni, intitulada “*Proposta de manual para inspeção de pontes e viadutos em concreto armado – Discussão da influência dos fatores ambientais na degradação de obras-de-arte especiais*”.

2 PRINCIPAIS MATERIAIS E/OU SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO

Sabe-se hoje que os principais materiais utilizados na Construção Civil são: madeira, plástico e polímeros (tintas e vernizes), materiais cerâmicos (revestimentos, tijolo), vidro, materiais betuminosos e materiais cimentados (argamassas e concreto), e que os principais agentes que atuam sobre eles são: temperatura, umidade, energia solar (em algumas faixas do seu espectro), vento e componentes químicos constituintes da poluição atmosférica (CO₂, SO₃, NO₂, NO₃, HCl, ácidos orgânicos e O₃), além de alguns íons presentes na atmosfera, como os cloretos (presentes na atmosferas marinha).

Conforme pode ser observado na Tabela 1, para cada um dos materiais existem agentes de degradação específicos que atuam em diferentes intensidades e situações.

Tabela 1 - Principais materiais utilizados na construção civil e seus respectivos mecanismos e agentes de degradação (Disponível em: <http://habitare.infra.ita.br>).

<i>Material de construção</i>	<i>Principais mecanismos</i>	<i>Principais agentes</i>
Materiais orgânicos (resinas, plásticos, borrachas)	. Fotodegradação (quebra de ligações) . Oxidação . Quebra de duplas ligações em borrachas	. Radiação ultra-violeta . Temperatura . Oxigênio . Ozônio
Madeiras	. Ataque biológico . apodrecimento . Destruição da estrutura interna . Deterioração química superficial	. Fungos apodrecedores . Bactérias . Insetos xilófagos . Umidade . Radiação ultra-violeta
Asfaltos	. Perdas de constituintes leves . Oxidação	. Temperatura . Oxigênio
Concreto	. Reação álcali-agregado . Ataque de ácidos (provenientes do solo, atmosfera, efluentes líquidos, etc) . Corrosão da armadura	. Compatibilidade química . Agentes químicos . CO ₂ , Oxigênio, umidade, etc
Argamassas	. Descolamento . Fissuras	. Incompatibilidade física . Umidade . Temperatura (variações cíclicas)
Gesso	. Dissolução . Emboloramento	. Água . Fungos
Metais	. Corrosão eletroquímica . Corrosão por par galvânico	. Oxigênio, umidade e sais . Incompatibilidade química
Pedras naturais	. Dissolução de rochas calcárias	. Água + poluentes do ar (chuva ácida)
Cerâmicas	. Eflorescências	. Aais e água
Materiais com matriz de cimento portland e fibras vegetais	. Ataque alcalino das fibras . Apodrecimento	. Agente químico (alcalinidade do cimento) . Fungos, umidade
Solo estabilizado	. Tensões internas devidas a molhagem/secagem . Abrasão	. Água (líquida, gasosa) . Vento, chuva

Mesmo conhecendo-se quais agentes atuam sobre cada um dos materiais, no Brasil ainda não se tem detalhes sobre a distribuição espacial desses agentes. Prova disto é que as normas existentes não consideram a variação sazonal e espacial da intensidade e/ou concentração dos referidos agentes, sendo utilizada a mesma norma para todos os estados da Federação.

3 INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS NA DEGRADAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

Diversas são as formas de interação do meio ambiente com os materiais de construção e sua conseqüente degradação. Como pode ser observado na Tabela 1, para um determinado material podem existir diferentes agentes atuando, muitas vezes combinados ou não, produzindo um ou mais mecanismos de degradação.

Por outro lado, cada material possui características peculiares, que acabam por definir também seus agentes e mecanismos de degradação. Essas características devem sempre ser consideradas quando se trata da durabilidade das construções, visando a busca de materiais adequados para cada situação em questão, de forma a se ter obras com uma vida útil satisfatória e que proporcionem segurança aos seus usuários.

O conhecimento de como os mecanismos de degradação agem sobre os diversos materiais empregados nas construções é de grande importância quando se trata dos custos envolvidos nos serviços de manutenção, restauração ou reconstrução de uma obra. Este conhecimento leva à escolha de materiais e métodos mais adequados às diferentes situações, como por exemplo, a substituição de um determinado tipo de material por outro de similar resistência e funcionalidade, mas com maior resistência e durabilidade sob determinadas condições ambientais e climáticas.

Atualmente, inexistem *modelos matemáticos complexos*¹ adaptados para as condições brasileiras, que permitam que seja feita uma previsão da vida útil de uma estrutura considerando a influência dos parâmetros ambientais sobre a durabilidade dos materiais e sistemas construtivos. Ou seja, não há modelos nacionais que correlacionem a ação do meio ambiente com a degradação das construções e permitam a previsão da vida útil dessas estruturas, e tão pouco permitam prever qual o momento mais adequado para que sejam feitas as intervenções de manutenção, restauração, ou eventual reconstrução.

Dessa forma, mostra-se mais uma vez a importância de estudos que relacionem as condições ambientais nacionais com a degradação dos materiais e sistemas construtivos. Através de dados referentes a parâmetros ambientais e da correlação desses dados com o envelhecimento dos materiais, visa-se prever a vida útil de uma estrutura avaliando não só suas características de resistência mecânica, mas também suas características de durabilidade frente a fatores ambientais que sejam mais ou menos agressivos. Um exemplo disso são os trabalhos de mestrado e doutorado desenvolvidos no ITA sob a orientação da Prof. Dra. Maryangela G. de Lima e que abordam a atuação dos agentes de degradação sobre as estruturas de concreto e outros materiais e sistemas de construção.

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ASPECTOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS

O clima brasileiro tem como principais características as elevadas temperaturas e as grandes variações dos índices pluviométricos.

O Brasil está localizado entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, havendo a predominância dos climas tropical e equatorial. Por isso, ao contrário do que ocorre na Europa e nos países Norte-Americanos, no Brasil as temperaturas médias anuais são bastante elevadas.

O clima brasileiro conta ainda com grandes variações regionais, podendo ser: úmido, subúmido, semi-árido, árido e montanhoso. Ocorre, por consequência disso, a seguinte subdivisão, segundo MASCARÓ (s.d.), baseada na classificação de Köpen :

- clima tropical úmido (Aw, Cw) – temperaturas acima dos 18°C e períodos alternados de chuvas intensas e de seca;
- clima equatorial úmido (Am, Af) – temperaturas acima de 22°C e chuvas abundantes;
- clima semi-árido (BSh) – fraca nebulosidade, forte insolação e altas taxas de evaporação;
- clima subtropical superúmido (Cf) – sem estação seca e com inverno fraco.

A predominância dessa subdivisão do clima nas regiões brasileiras pode ser visualizada na Figura 1.

¹ Consideram-se Modelos Matemáticos Complexos aqueles que utilizam mais de um agente de degradação atuando sobre um determinado material.

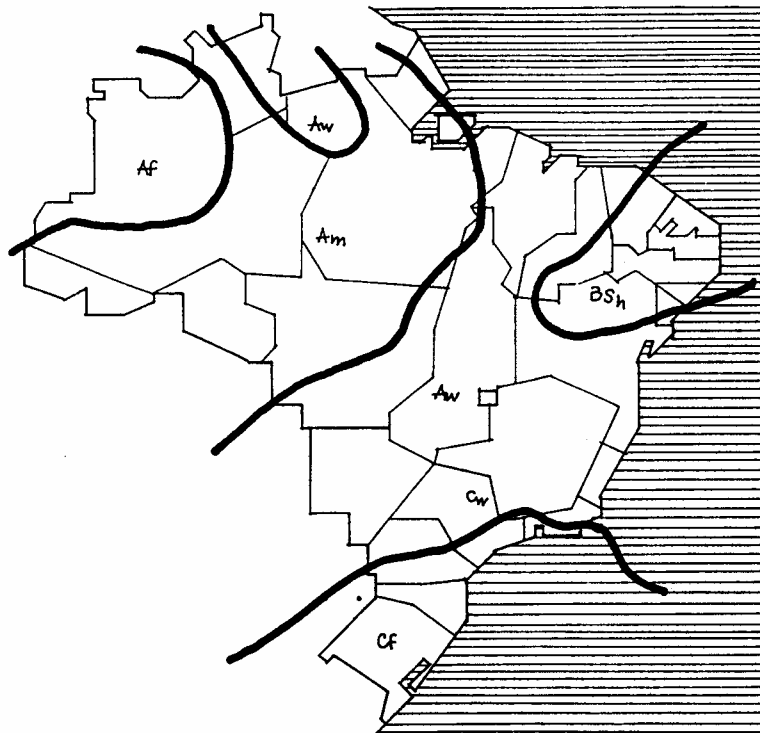


Figura 1 - Grandes zonas climáticas brasileiras (MASCARÓ, s.d.).

Além das variações apresentadas acima, a nível de macro-regiões, ou seja, considerações a nível de macro-clima, com variáveis climáticas em grande escala, faz-se ainda considerações a respeito do clima nas proximidades das construção.

Alguns autores classificam os climas em microclima, mesoclima e macroclima; outros, em clima regional, clima local e clima no entorno da edificação, sendo que estas classificações se referem sempre a proximidade da edificação (LIMA e MORELLI, 2003). Uma idéia das dimensões relacionadas a essas classificações pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões do clima (DURACRETE, 1999).

<i>Clima</i>	<i>Extensão Horizontal</i>	<i>Extensão Vertical</i>
Clima regional (regional climate)	1 - 200km	1m - 100km
Clima local (local climate)	100m - 10km	0,1m - 1km
Clima na superfície ou próximo da superfície (near surface or surface climate)	0,01m - 100m	0,01m - 10m

As dimensões apresentadas na Tabela 1 podem ser melhor visualizadas no diagrama da Figura 2, observando-se a influência das cidades e do ambiente construído nos referidos climas.

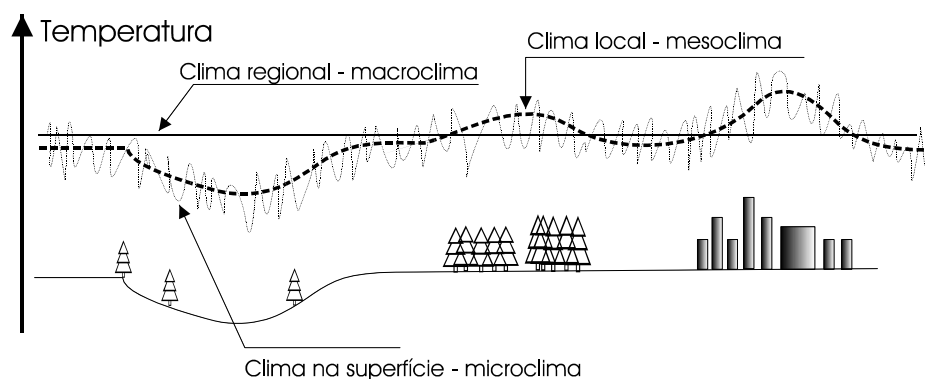


Figura 2 – Dimensões do clima. (Adaptado de DURACRETE, 1999).

5 MAPAS TEMÁTICOS DE AGRESSIVIDADE

As correlações realizadas entre os parâmetros ambientais e sua agressividade aos materiais de construção têm como um de seus resultados os mapas temáticos de agressividade.

Esses mapas, obtidos através da interpolação de dados referentes a ventos, chuvas, temperatura, umidade relativa etc, visam ilustrar as áreas de atuação mais intensa desses parâmetros em toda a extensão do território brasileiro, ou, em alguns casos, em regiões definidas. Dessa forma, sabe-se como e quando esses parâmetros exercem influência significativa nas construções, agindo sobre os materiais e degradando-os.

A seguir, são apresentados dois exemplos de mapas temáticos: os mapas de amplitude térmica e os mapas de corrosividade atmosférica.

5.1. Amplitude térmica

Um exemplo de mapa temático de agressividade é o de Amplitude Térmica, que pode indicar regiões de diferentes níveis de agressividade.

Devido às grandes variações climáticas características do clima brasileiro, são registradas amplitudes térmicas significativas em quase todas as regiões do Brasil. Quando se trata da influência exercida pela temperatura ambiente no envelhecimento dos materiais de construção, as amplitudes térmicas encontram-se entre os principais fatores a serem considerados na previsão da vida útil dos materiais. Dependendo das características de cada material, elevadas amplitudes térmicas poderão resultar em uma rápida perda de durabilidade e resistência mecânica, e conseqüente envelhecimento precoce.

Na Figura 3 é apresentado um mapa de amplitude térmica média mensal para o território brasileiro, cujos dados foram registrados em um período de 60 anos. Por meio desse mapa, podem ser visualizadas as regiões do país onde as amplitudes térmicas são mais elevadas.

Amplitude Térmica Média

Período: 1931 - 1990

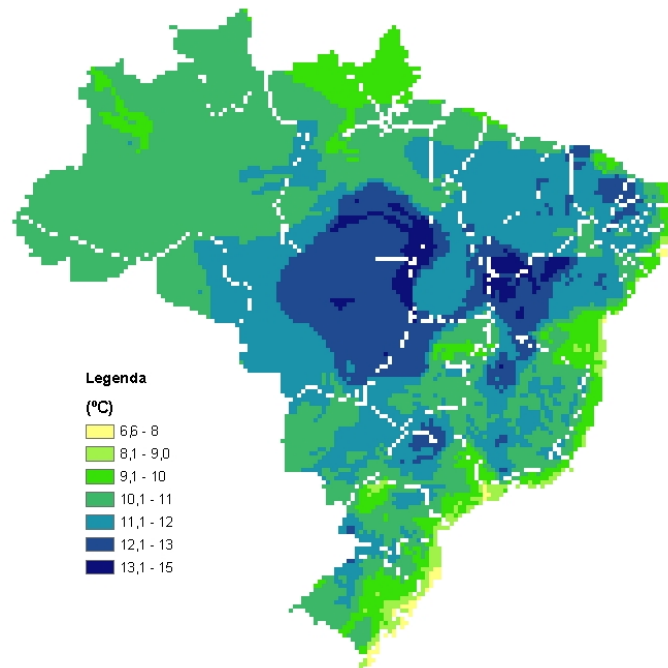


Figura 3 - Amplitude térmica mensal média registrada no período. (LIMA e MORELLI, 2003).

5.2. Corrosividade atmosférica

Segundo Morcillo e Feliu (1993), cerca de 50% das perdas referentes à corrosão metálica se devem à corrosão atmosférica, ou seja, à corrosão de metais expostos ao meio-ambiente, o qual, em geral, é corrosivo por natureza.

Os períodos de chuva, condensação e exposição dos metais à neblina são fatores que influenciam no tempo de umidificação das superfícies expostas e provocam altas velocidades de corrosão.

Tomando-se como base a umidade relativa do ambiente, podem ser estimados 3 (três) índices de agressividade, ou de maior ou menor grau de susceptibilidade à corrosão atmosférica de metais expostos, os quais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Índices de susceptibilidade à corrosão atmosférica de metais expostos, considerando-se somente a umidade relativa média

<i>Índice</i>	<i>Umidade relativa média correspondente</i>
Grau 1 – susceptibilidade baixa	Umidade relativa < 60%
Grau 2 – susceptibilidade média	Umidade relativa entre 60 e 80%
Grau 3 – susceptibilidade alta	Umidade relativa > 80%

Na Figura 4 é apresentado um mapa brasileiro de susceptibilidade à corrosão de metais expostos, tendo como base a Tabela 3.

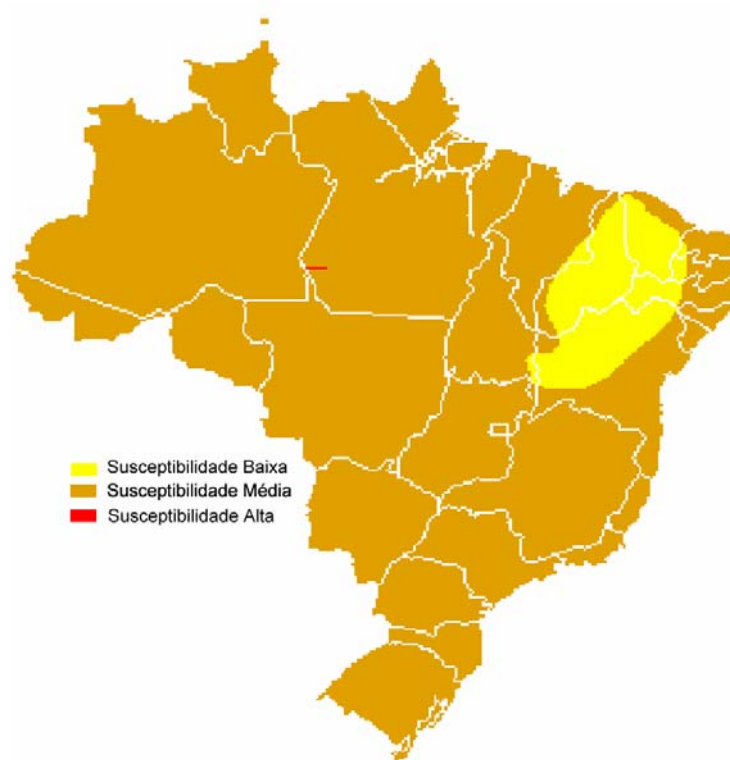


Figura 4 – Mapa brasileiro de susceptibilidade à corrosão de metais expostos, considerando-se somente a umidade relativa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os profissionais da construção civil vêm, nos últimos anos, se conscientizando da grande importância existente na avaliação do impacto exercido pelo meio ambiente na degradação das construções. Diversos profissionais têm se dedicado a pesquisar o assunto, mas se deparam com enormes problemas e barreiras, que nem sempre permitem a obtenção de resultados satisfatórios e/ou suficientes.

Grandes dificuldades são encontradas ao se trabalhar com os dados referentes a parâmetros ambientais. Os dados climatológicos hoje disponíveis para consulta, por exemplo, são incompletos e insuficientes, não permitindo a realização de correlações adequadas e satisfatórias. A obtenção de dados mais completos e de maior vulto requer somas grandiosas de capital, da ordem de alguns milhões de reais.

Unida aos problemas citados, está a necessidade de uma equipe multidisciplinar, que possa abranger diversos aspectos de um estudo relacionado ao assunto, de forma a se ter, ao final, um conjunto de informações aplicáveis à realidade dos profissionais brasileiros e que possa, e deva, ser considerado desde o momento da concepção da estrutura até o término de sua construção, e também nas fases de conservação, manutenção, restauração e eventual reconstrução da obra.

Mapas temáticos, como o apresentado anteriormente na Figura 3, podem ajudar em muito os tomadores de decisão, uma vez que a informação está disponibilizada em formato de fácil compreensão, sem a necessidade de consultas a distintos órgãos e sem os problemas oriundos da dificuldade de como tratar a informação disponibilizada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DURACRETE. **Models for environmental actions on concrete structures**. March, 272 p, 1999.

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N.; BONIN, L.C. Proposta de terminologia para o tema “Durabilidade no Ambiente Construído”. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. 2., 2001, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: ITA, ANTAC, 2001. 1 CD ROM.

LIMA, M. G., MORELLI, F. Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, V. 7 a 10 de junho 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2003. 1 CD ROM.

LIMA, M. G., MORELLI, F. Mapping of construction materials degradation agents – A Brazilian experience. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERFORMANCE OF CONSTRUCTION MATERIALS IN THE NEW MILLENIUM. 18-20 Feb 2003, Cairo. **Proceedings...** Cairo, 2003. ISBN 977-237-192/193. 1 CD ROM.

MASCARÓ, L. R. **Energia na Edificação – estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Livraria Triângulo Ltda. s.d. 213p.

MORCILLO, M., FELIU, S. **Mapas de España de Corrosividad Atmosferica**. CYTED, Madrid, 1993, 431p.

<http://habitare.infra.ita.br>

8 AGRADECIMENTOS

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

CEF – Caixa Econômica Federal

IPV – Instituto de Proteção ao Voo