ELIZABETH MONTEFUSCO LOPES

**A INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SUBSTRATO NO
DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS DE PISO DE EDIFÍCIOS**

**Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia**

**São Paulo
2003**

ELIZABETH MONTEFUSCO LOPES

**A INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SUBSTRATO NO
DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS DE PISO DE EDIFÍCIOS**

**Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil**

**Orientador:
Profa. Dra. Mercia Maria Bottura de Barros**

**São Paulo
2003**

FICHA CATALOGRÁFICA

Lopes, Elizabeth Montefusco

A influência da umidade do substrato no desempenho de revestimentos de piso de edifícios. São Paulo, 2003.

97p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil

1. Construção – Revestimentos para Pisos 2. Umidade

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

*Ao meu marido e minha filha, pelos
dias de lazer que deixamos de passar
juntos.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que colaboraram com este trabalho, de maneira tão dedicada e despretensiosa e que, ao longo deste tempo, aprendi a admirar e respeitar profundamente.

Prof. Dr. Lars-Olof Nilsson

*Universidade de Tecnologia Chalmers, Divisão de Materiais de Construção
Göteborg, Suécia*

Prof. Dr. Göran Hedenblad

Sra. Britt Andersson

*Instituto Lund de Tecnologia, Divisão de Materiais de Construção
Lund, Suécia*

Prof. Dr. Heikki Kukko

Prof. Dr. Hemming Paroll

Sra. Annikki Sipinen

*Centro Técnico de Pesquisa da Finlândia, VTT Tecnologia da Construção
Espoo, Finlândia*

De forma especial agradeço a minha orientadora,

Profa. Dra. Mercia Maria Bottura de Barros

RESUMO

Sobre o piso desenvolvem-se todas as atividades a que se destina a edificação. Falhas em sua execução, tais como, empenamentos, placas soltas, bolhas e manchas têm como conseqüências, desde o desconforto pessoal de andar em uma superfície irregular, ao risco de acidentes de trabalho, contaminação de produtos por poeira, desalinhamento de equipamentos ou até mesmo a interferência no processo de produção, podendo provocar a paralisação parcial ou total da atividade produtiva da empresa. Tais problemas, muitas vezes são decorrentes do excesso de umidade do substrato de concreto, quando da aplicação do revestimento, por não ter tido o tempo de secagem adequado, de maneira a atingir o nível de umidade ideal.

O excesso de água residual decorrente da umidade do substrato é uma das principais causas geradoras de patologias nos pisos de concreto quando utilizados revestimentos suscetíveis à presença de água. O comportamento da umidade do concreto é resultado de uma complexa ação entre a quantidade de água física e quimicamente ligada, durante a hidratação do cimento e a capacidade de transporte de água do sistema de poros do concreto. Neste contexto, o presente trabalho procura contribuir na sistematização do conhecimento sobre o assunto, descrevendo, inicialmente, o comportamento de bases de concreto frente à ação da água e os fatores que a influenciam: grau de hidratação, condições de equilíbrio e fluxo de umidade. É mostrado como ocorre a secagem do concreto e a influencia do tempo de cura, relação água/cimento do concreto e condições ambientes sobre o tempo necessário para que a umidade do concreto atinja o nível ideal para o início do revestimento do piso. São descritos os testes utilizados para a medição do nível de umidade do concreto, enfatizando os de caráter quantitativo, baseados na medição do teor de umidade, taxa de emissão de vapor de água e umidade relativa interna do concreto. Valores dos níveis ideais de umidade, em conformidade com o tipo de teste aplicado e materiais empregados, estabelecidos por entidades representativas de fabricantes de revestimentos para pisos de concreto, são apresentados como referências. O texto é finalizado com a apresentação das recomendações que visam facilitar a secagem do concreto e aspectos a serem observados quando da realização da medição do nível de umidade.

ABSTRACT

On the floor are developed all the activities the building is destined to. Faults in its execution, such as warping, loose plates, bubbles and stains, bring about from the personal discomfort of walking on an irregular surface, to the risk of workplace accidents, contamination of product due to dust, misalignment of equipment or even the interference in the production process, which may cause a partial or total stalling of the company productive activity. Such problems often derive from excess moisture in the concrete substrate, when the lining is applied, for not having been dried long enough, so as to attain the ideal moisture level.

The excess residual water deriving from substrate moisture is one of the main causes generating pathologies on concrete floors when linings susceptible to the presence of water are used. The moisture behavior of concrete derives from a complex action between the amount of physical and chemically related water, during the hydration of the cement and the water transport capacity of the concrete pore system. In this context, the present work aims to contribute in systematizing the knowledge on the matter, initially describing the behavior of the concrete bases concerning the action of water and the factors influencing this: degree of hydration, balance conditions and humidity. The work shows how the drying of concrete occurs and the influence of the curing time flux, concrete water/cement ratio and ambient conditions on the time required for the concrete moisture to attain the ideal level to start the floor lining. The tests used to measure the concrete moisture level are described, emphasizing those of quantitative character, based on the measurement of the moisture content, water vapor emission rate and the concrete relative internal humidity. Values of the ideal levels of moisture, in accordance with the type of test applied and materials employed, established by representative manufacturer entities for concrete floors linings, are presented as references. The text concludes with the presentation of recommendations that aim to make the drying of concrete easier and aspects to be observed when the measurement of the moisture level is performed.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE EQUAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	1
1.2.	OBJETO DO ESTUDO.....	10
1.3.	OBJETIVO DESTA DISSERTAÇÃO	11
1.4.	METODOLOGIA.....	11
1.5.	CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO.....	12
2.	UMIDADE.....	14
2.1.	O COMPORTAMENTO DA ÁGUA DE PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	14
2.2.	HIDRATAÇÃO.....	17
2.2.1.	Relação água/cimento	19
2.2.2.	Temperatura	20
2.2.3.	Umidade relativa interna do concreto	21
2.3.	SECAGEM DO CONCRETO.....	22
2.3.1.	Fluxo de umidade	26
2.3.1.1.	Tempo de cura	31
2.3.1.2.	Relação água/cimento	35
2.3.1.3.	Condições ambientes	36
2.3.2.	Distribuição da umidade.....	39
2.3.3.	Redistribuição da umidade na laje de concreto após a aplicação do revestimento.....	42
3.	MEDIÇÃO DA UMIDADE NO CONCRETO.....	45
3.1.	TESTES QUALITATIVOS.....	46
3.1.1.	Teste da manta plástica.....	46
3.1.2.	Teste da placa colada.....	47
3.2.	TESTES QUANTITATIVOS.....	48
3.2.1.	Teste da resistência elétrica.....	48
3.2.2.	Teste de impedância elétrica.....	49
3.2.3.	Teste do cloreto de cálcio anidro - TCCA.....	50
3.2.4.	Teste da umidade relativa	57
3.2.4.1.	Medição da UR em amostras extraídas do concreto	58
3.2.4.2.	Medição da UR por processo não destrutivo	59
3.2.4.3.	Medição da UR em uma perfuração no concreto	60
3.2.4.4.	Medição da UR diretamente no interior concreto	67
3.3.	VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA UMIDADE DA LAJE DE CONCRETO.....	69
4.	CONDIÇÕES ACEITÁVEIS DE UMIDADE DO SUBSTRATO, PARA A APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS.....	73
4.1.	NÍVEIS IDEAIS DE UMIDADE	73

4.2.	<i>TEMPO DE SECAGEM</i>	76
4.2.1.	<i>Tempo de secagem em função do fluxo de umidade através da superfície do concreto</i>	76
4.2.2.	<i>Tempo de secagem em função da umidade relativa interna do concreto</i>	78
4.2.2.1.	<i>Espessura das peças</i>	80
4.2.2.2.	<i>Tipo de secagem</i>	80
4.2.2.3.	<i>Condições de secagem</i>	80
4.2.2.4.	<i>Tipo de cura</i>	81
4.2.2.5.	<i>Estimando o tempo de secagem</i>	81
4.2.3.	<i>Tempos de secagem recomendados</i>	82
5.	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	84
5.1.	<i>QUANTO AO OBJETIVO PROPOSTO</i>	84
5.2.	<i>QUANTO À METODOLOGIA ADOTADA</i>	85
5.3.	<i>QUANTO ÀS RECOMENDAÇÕES PARA A AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DA UMIDADE DO SUBSTRATO</i>	87
5.4.	<i>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	88
	<i>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</i>	90
	<i>BIBLIOGRAFIA LEVANTADA</i>	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1:	Destacamento da pintura à base de resina epóxi de baixa espessura. (Fonte: PCA, 2000).....	4
Figura 1-2:	Ocorrência de bolhas devido à baixa aderência entre o revestimento e o substrato. (Fonte: Bauer, 2003).	4
Figura 1-3:	Distribuição do mercado de RAD para pisos. (Fonte: OLIVEIRA, 2003).	6
Figura 2-1:	Esquema da estrutura de hidratação da pasta de cimento. (Fonte: NEVILLE, 1997).	14
Figura 2-2:	Tipos de água associados ao silicato de cálcio hidratado C-S-H. (Fonte: METHA, MONTEIRO, 1994).....	15
Figura 2-3:	(a) tem-se a distribuição da água nos poros da pasta de cimento, como função da relação água/cimento para um grau de hidratação de 50% e (b), como função do grau de hidratação para um fator água cimento igual a 0,6 respectivamente. (Fonte: POWERS, 1960).....	18
Figura 2-4:	Velocidade de desprendimento de calor de cimento Portland com uma relação água/cimento igual a 0,4. (Fonte: NEVILLE, 1997).	19
Figura 2-5:	Efeito da relação água/cimento no progresso da hidratação através das medições de contração. (Fonte: CZERNIN, 1964).	20
Figura 2-6:	Efeito da umidade interna do concreto sobre a hidratação (Fonte: POWERS, 1947).....	21
Figura 2-7:	Perda de água em função da umidade relativa UR. (Fonte: L'HERMITE, 1960).	22
Figura 2-8:	Coeficiente de secagem de um material poroso. (Fonte: KRISCHER, 1963).	23
Figura 2-9:	$w_a > w_b$ direciona o fluxo de umidade para a superfície, que cessa quando $w_a = w_b$	24
Figura 2-10:	Isotermas de dessorção para amostras de concreto com fatores água/cimento 0,7, 0,5 e 0,4. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).	25
Figura 2-11:	Mecanismos do transporte da umidade em um material poroso. (Fonte: SATO, 1998).....	27
Figura 2-12:	Variação da difusividade relativa em função da umidade relativa. D/D_1 é a difusividade para uma determinada umidade relativa UR, expressa em função da difusividade máxima. (Fonte: BAZANT; NAJJAR, 1972).....	29
Figura 2-13:	Difusividade em função do teor de umidade, $w_e/w_{emáx}$, para concreto com relação água/cimento igual a 0,48. (Fonte: SAKATA, 1983 apud HEDENBLAD, 1993).....	29
Figura 2-14:	Difusividade conforme PIHLAJAVAARA (1965). Argamassa de cimento, 10 meses de cura selada. Umidade do ar durante a secagem	

	de 40 e 70 %. C refere-se ao teor de umidade por volume na argamassa de cimento. (Fonte: HEDENBLAD, 1993).....	30
Figura 2-15:	Capacidade relativa de transporte da umidade em função do período de cura úmida em uma argamassa de cimento com relação água/cimento igual a 0,6. (Fonte: WIERIG, 1965).	32
Figura 2-16:	Curvas de secagem para pastas de cimento com relação água/cimento = 0,5 e tempos de cura variáveis sob condições seladas. Valores médios de 3 a 4 amostras. Curvas pontilhadas mostram o desvio padrão. (Fonte: ANON, 1971 apud NILSSON, 1980).	33
Figura 2-17:	A influência da relação água/cimento e condições de cura sobre o tempo de secagem. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).	36
Figura 2-18:	Influência da umidade relativa ambiente sobre a perda de água do concreto nas primeiras idades (temperatura do ar 21°C; velocidade do vento 4,5 m/s) (Fonte: NEVILLE, 1997)..	36
Figura 2-19:	Influência da temperatura ambiente sobre a perda de água do concreto nas primeiras idades (umidade relativa 70%; velocidade do vento 4,5 m/s). (Fonte: NEVILLE, 1997).	37
Figura 2-20:	Pressão de vapor relativa à umidade contida no ar para diferentes temperaturas e umidades relativas. (Fonte: ASTM E 1907-97,1997).	37
Figura 2-21	Distribuição da umidade, em função da umidade relativa e teor de umidade, de amostras secas a 20°C e 40% UR. (Fonte: HEDENBLAD, 1993).	39
Figura 2-22:	Distribuição da umidade, em função da umidade relativa e teor de umidade, de amostras secas a 20°C e 70% UR. (Fonte: HEDENBLAD, 1993).	40
Figura 2-23:	Distribuições de umidade calculadas, em função do teor de umidade e umidade relativa, para um concreto. Curado por um mês sob condições seladas antes de iniciar a secagem e com tempo de secagem variando entre 1 e 480 dias. (Fonte: NILSSON, 1980).	41
Figura 2-24:	Distribuição da umidade relativa em uma laje, seca pelos dois lados, antes e após a secagem e depois de aplicado do revestimento. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).	42
Figura 2-25:	Distribuição da umidade antes e após a secagem e aplicação do revestimento para um piso de concreto executado diretamente sobre o solo. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).	43
Figura 3-1	Teste da manta plástica. (Fonte: FARNY, 2001).	47
Figura 3-2:	Teste da placa colada. (Fonte: FARNY, 2001).	48
Figura 3-3:	Medidor modelo UNI 2 e eletrodos modelo M 6. (Fonte: GANN, 2002).	49
Figura 3-4:	Medidor modelo TRAMEX (Fonte: TRAMEX, 2002).	50

<i>Figura 3-5: Kit de testes TCCA para medir a taxa de emissão do vapor de umidade utilizando o cloreto de cálcio anidro. (Fonte: VAPORTEST, 2002).</i>	52
<i>Figura 3-6: Limpeza do substrato em que será realizada a medição utilizando-se o kit de testes TCCA (Fonte: VAPORTEST, 2002).</i>	52
<i>Figura 3-7: Pesagem do conjunto “pastilha e prato” no início do teste TCCA (Fonte: VAPORTEST, 2002).</i>	53
<i>Figura 3-8: Retirada da tampa do “prato. (Fonte: VAPORTEST, 2002).</i>	53
<i>Figura 3-9: Colocação da pastilha de cloreto de cálcio anidro no local de teste. (Fonte: VAPORTEST, 2002).</i>	54
<i>Figura 3-10: Retirada do conjunto “pastilha e prato” para pesagem. (Fonte: VAPORTEST, 2002).</i>	54
<i>Figura 3-11: Comparativo entre medições da emissão de vapor de umidade realizadas com a pesagem de amostras de concreto, e a de pastilhas de cloreto de cálcio anidro, para um concreto com fator a/c de 0,4.. (Fonte: SUPRENTANT, MALISCH, 2000).</i>	57
<i>Figura 3-12: Amostras de concreto obtidas à diferentes profundidades para a medição da umidade relativa. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	59
<i>Figura 3-13: Equipamento MMS. (Fonte: PROTIMETER Instruments, 2002).</i>	60
<i>Figura 3-14: Vedações das sondas para medição da umidade. (Fonte GÄRLIN e HJORT, 1995).</i>	63
<i>Figura 3-15: Umidade relativa UR, medida em função do tempo e diferentes tipos de vedação da perfuração. (Fonte GÄRLIN e HJORT, 1995).</i>	64
<i>Figura 3-16: Kit HM 44 para medição da umidade relativa no concreto. (Fonte: VAISALA, 2002).</i>	65
<i>Figura 3-17: Colocação da “camisa” na perfuração no concreto. (Fonte: VAISALA, 2002).</i>	65
<i>Figura 3-18: Colocação do protetor plástico no local de medição. (Fonte: VAISALA, 2002).</i>	66
<i>Figura 3-19: Colocação da sonda e vedação da “camisa” com um plug de borracha. (Fonte: VAISALA, 2002).</i>	66
<i>Figura 3-20: Aspecto final da instalação antes do fechamento com a tampa. (Fonte: VAISALA, 2002).</i>	66
<i>Figura 3-21: Medidor Humi-Guard montado no interior de um tubo de PVC em uma perfuração executada em um piso de concreto. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	67
<i>Figura 3-22: Medidor MS Sensor no interior de um piso de concreto. (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	68
<i>Figura 4-1: Comportamento do fluxo de umidade com o tempo e em função do fator a/c. (Fonte: BREWER, 1965).</i>	77

LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Equação 2-1</i>	<i>16</i>
<i>Equação 2-2</i>	<i>17</i>
<i>Equação 2-3</i>	<i>20</i>
<i>Equação 2-4</i>	<i>28</i>
<i>Equação 3-1</i>	<i>54</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2-1: Calor de hidratação desprendido após 72 horas (Fonte: NEVILLE, 1997).</i>	20
<i>Tabela 2-2: Variação da porosidade capilar para diferentes graus de hidratação e relação a/c = 0,63 (Fonte: METHA, 1994).</i>	31
<i>Tabela 2-3: Tempo de secagem em dias, medido após o período de cura, para alcançar 85% de umidade relativa interna do concreto (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	33
<i>Tabela 2-4: Variação da porosidade capilar para diferentes relações água/cimento (Fonte: METHA, 1994).</i>	35
<i>Tabela 3-1: Resumo dos principais testes para medição da umidade no concreto. ...</i>	71
<i>Tabela 3-2: Tabela comparativa entre testes de avaliação da condição da umidade do concreto.</i>	72
<i>Tabela 3-3: Tabela de preços dos equipamentos para medição da condição da umidade do concreto.....</i>	72
<i>Tabela 4-1: Níveis ideais de umidade recomendados em função do método de medição utilizado.....</i>	76
<i>Tabela 4-2: Tempo de secagem, em dias, para atingir a taxa de emissão de vapor de 3 lbs/1000 pés quadrados.24h(170 µg/s.m²) (Fonte: BREWER, 1965).</i>	78
<i>Tabela 4-3: Tempos de secagem do concreto (dias) (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	79
<i>Tabela 4-4: Fatores de correção devido à espessura da peça de concreto (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	80
<i>Tabela 4-5: Fatores de correção devido ao tipo de secagem (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	80
<i>Tabela 4-6: Fatores de correção devido às condições climáticas (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	81
<i>Tabela 4-7: Fatores de correção para os tipos de cura (Fonte: HEDENBLAD, 1996).</i>	81
<i>Tabela 4-8: Tempos de secagem recomendados.....</i>	83

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A função do piso, segundo Barry (1980), como parte constituinte da vedação horizontal dos edifícios é ser suporte dos usuários, máquinas, equipamentos, veículos e mobiliário devendo permitir que o trânsito sobre a sua superfície ocorra de maneira segura e confortável. Além disto, Barros et al (1993) destacam outras funções que podem ser atribuídas a este elemento do edifício:

- *a proteção da estrutura (laje) contra a ação de agentes agressivos, evitando sua degradação precoce e, conseqüentemente, aumentando a sua durabilidade e diminuindo os custos de manutenção dos edifícios;*
- *auxiliar no comportamento global da vedação horizontal, contribuindo para: o isolamento termo-acústico, a absorção dos sons de impacto, a estanqueidade aos gases e à água, tanto na sua forma líquida como de vapor, e a segurança contra o fogo; e*
- *valorização estética do edifício.*

Para desempenhar estas funções, o piso é usualmente constituído por diferentes camadas, como ilustra a figura 1-1, que mostra o esquema de um subsistema vedação horizontal, usualmente executado entre dois pavimentos consecutivos de um edifício em que aparecem as possíveis camadas constituintes do piso. Estas camadas poderão se diferenciar tanto em relação aos materiais e componentes como à técnica construtiva nelas empregados, em função do tipo de edifício em que esteja inserido, bem como, do tipo de ambiente (BARROS, SABBATINI, 1995).

Figura 1-1 Ilustração das camadas de um sistema de vedação horizontal entre dois pavimentos consecutivos (Fonte: BARROS, 1991)

Há situações em que uma ou mais camadas do piso podem ser eliminadas sendo comum, em edifícios industriais, por exemplo, a aplicação da camada de revestimento diretamente sobre a laje estrutural.

É sobre o piso que se desenvolve toda atividade a que se destina a edificação, sendo que uma falha em sua execução, além de comprometer o desempenho do conjunto edifício, resulta em um alto custo, não só para a reparação, como naqueles decorrentes da paralisação das atividades, tais como: perda de receita, multas, rescisões contratuais e, ainda, os danos causados à imagem das empresas envolvidas.

Para desempenhar adequadamente as funções que são atribuídas ao piso, o revestimento deve apresentar, segundo Barros et al. (1993), as seguintes propriedades ou requisitos de desempenho:

- *resistência ao desgaste pelo uso, notadamente às solicitações por choque, abrasão e puncionamento;*
- *resistência às deformações do conjunto, não apresentando fissuras que comprometam o seu desempenho, nem tão pouco destacando-se do substrato;*
- *estanqueidade à água, quando aplicado em áreas molháveis desprovidas da camada de impermeabilização;*
- *resistir ao ataque de agentes químicos;*
- *aspecto compatível com as exigências dos usuários;*
- *capacidade de amortecimento do som produzido pelo tráfego em sua superfície;*
- *segurança à utilização (comodidade ao andar, antiderrapante ou antideslizante, incombustibilidade, etc.); e*
- *durabilidade compatível com as condições de uso.*

Estes requisitos de desempenho são garantidos na medida em que sejam conhecidas as características específicas de cada revestimento e as solicitações, em função das condições de exposição e utilização, a que o piso estará sujeito, compatibilizando-as. Decorre daí, que as propriedades do revestimento determinam, parte das vezes, as características próprias do conjunto.

O desempenho adequado da vedação horizontal, incluindo aqui a sua estética, depende da durabilidade do piso, notadamente da sua camada de revestimento.

A durabilidade é entendida como a capacidade do piso em manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo, sob condições normais de uso (BS 7543, 1992). É uma propriedade de difícil equacionamento, uma vez que depende:

- *da correta definição das condições de utilização;*
- *da adequação do projeto ao uso;*
- *da adoção de procedimentos de execução apropriados;*
- *da compatibilidade entre os condicionantes que originaram o projeto do piso;*
- *das condições de exposição a que o mesmo estará submetido; e*
- *da implementação de um programa de manutenção periódica.*

Dentre estes fatores destacam-se aqueles ligados aos procedimentos de execução e, em particular, à adequada condição de umidade do substrato que irá receber o revestimento.

O excesso de umidade do substrato, em especial das lajes de concreto, quando da aplicação do revestimento utilizando-se materiais suscetíveis à presença de água, é uma das principais causas das falhas ocorridas em revestimentos de piso, de acordo com Farny (2001).

Gaul (1996), por sua vez, destaca que a presença de água no substrato pode impedir a cura apropriada do adesivo ou evitar que se desenvolva uma adequada aderência¹ entre o revestimento e o substrato logo após sua aplicação.

Quando a falha decorre da cura indevida do revestimento, poderá ocorrer uma inadequada aderência ao substrato, ou então, o adesivo utilizado pode adquirir uma

¹ Definida conforme Sabbatini (1984) como a capacidade que a ligação, na interface de duas superfícies, tem em absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais a ela (tração) sem se romper.

consistência pegajosa sob o revestimento. Ocorrerá também na superfície do revestimento o surgimento de pequenas bolhas, com diâmetro inferior a 6 mm.

Para o caso da baixa aderência entre o substrato e o revestimento, no caso específico de revestimento moldado no local, por exemplo, a camada inferior em contato com o substrato ficará endurecida, destacando-se com facilidade e ocasionando o surgimento de grandes bolhas na superfície, conforme mostrado nas figuras 1-2 e 1-3.

Em ambas as situações, caso ocorra o desenvolvimento de pressão osmótica, estas bolhas ficarão cheias de água sob pressão (FARNY, 2001).

Figura 1-2: Destacamento da pintura à base de resina epóxi de baixa espessura (Fonte: PCA, 2000).

Figura 1-3: Ocorrência de bolhas devido à presença de umidade no substrato antes da cura do revestimento (Fonte: Bauer, 2003).

Bauer (2000) salienta que os fatores geradores de patologias nos revestimentos decorrem principalmente das falhas de projeto e/ou de execução e identifica como uma das causas da falha de projeto, a não especificação da quantidade de umidade máxima permissível do substrato de concreto, em função do material do revestimento a ser aplicado e para a falha de execução a aplicação do revestimento sobre o piso de

concreto com uma quantidade de umidade superior à especificada pelo fabricante ou em projeto.

O excesso de umidade do substrato de concreto pode ter origem intrínseca (água de produção do concreto) ou extrínseca (lençol freático, precipitações, sistemas de irrigação e combate a incêndios). Neste trabalho será estudado o comportamento da umidade do substrato decorrente apenas da água de produção do concreto, ou seja, a de origem intrínseca..

A água de origem intrínseca utilizada na produção do concreto será parcialmente consumida, na medida em que ocorre a hidratação do cimento e a parte excedente será evaporada quando, logo que terminada a cura do concreto, iniciar o processo de secagem do concreto.

A princípio, portanto, para resolver o problema, basta apenas permitir a secagem do excesso da água de produção do concreto, previamente à aplicação do revestimento, por um período de tempo suficiente para que seja atingida a condição de umidade adequada à sua aplicação.

Ocorre, no entanto, que o aumento na velocidade de execução das obras, consequência da exigência do contratante e das novas técnicas construtivas utilizadas, aliado ao desconhecimento dos conceitos que regem a secagem do concreto têm feito com que as falhas nos revestimentos, resultantes do excesso da água de produção do concreto tendam a aumentar, pois a limitação de tempo, de um modo geral, não permite que sejam atingidas as condições ideais para a aplicação dos materiais sensíveis à umidade utilizados na execução de revestimentos.

Outro fator a dificultar esta situação é a legislação ambiental que impõe restrições aos solventes utilizados nos adesivos, fazendo com que estes se tornem cada vez mais susceptíveis à ação da água, exigindo ações de engenharia, fundamentadas nas propriedades dos materiais, a fim de compatibilizar estas exigências ambientais com o desempenho exigido para o revestimento.

Dos diversos materiais e componentes usualmente empregados como revestimentos de piso, Farny (2001) relaciona como sensíveis à umidade: madeira, vinílicos, borracha, têxteis de fibras naturais e, destaca, aqueles à base de polímeros, denominados revestimentos de alto desempenho (RAD), conforme a NBR 14050 (ABNT, 1998).

Segundo pesquisa realizada por Oliveira (2003), o mercado mundial de RAD, representado na figura 1-4, é da ordem de US\$ 1,5 bilhão de dólares, dividido em dois grandes grupos: pisos industriais, representando aproximadamente US\$ 1,0 bilhão de dólares e pisos comerciais e institucionais com US\$ 0,5 bilhão de dólares.

Figura 1-4: Distribuição do mercado de RAD para pisos (Fonte: OLIVEIRA, 2003).

Do mercado de RAD para pisos industriais, 57% referem-se ao revestimento de pisos novos e 43% à manutenção e renovação de pisos antigos e analisando-se o RAD por tipo de tecnologia, 70% do mercado referem-se a pisos à base de polímeros. Os principais segmentos, considerando-se a metragem de revestimento aplicada, em que são utilizados os RAD, destacados por atividades são:

Industrial: *Alimentação e bebidas; Automobilístico e de produtos de engenharia; Farmacêutico e de higiene e limpeza; Químico e petroquímico; Eletrônico e telecomunicações; Aeroespacial; Papel e celulose; Metalúrgico e Siderúrgico.*

Comercial *Shopping centers e lojas; Edifícios comerciais; Hotéis;*
e Institucional: *Hipermercados e supermercados; Aeroportos; Escolas e edifícios públicos.*

O mercado brasileiro movimenta anualmente, ainda segundo Oliveira (2003), cerca de US\$ 23 milhões de dólares e, apesar de pequeno em relação ao mundial, representa um grande potencial, tornando necessárias ações que propiciem o desenvolvimento tecnológico e, por conseqüência, um maior conhecimento sobre o assunto com vistas ao estabelecimento de normas técnicas adequadas às condições nacionais, dentre elas normas que estabeleçam a condição de umidade ideal do substrato.

Embora a publicação da NBR 14050 (ABNT, 1998) tenha representado um grande avanço em relação à tecnologia de produção de revestimentos de piso de alto desempenho, por estabelecer os procedimentos para projeto, execução, inspeção e avaliação de desempenho de produtos e serviços executados com estes sistemas de revestimentos, seu texto não contempla todas as necessidades.

Como exemplo, tem-se que esta norma apenas recomenda que, em projeto, seja especificada a quantidade de umidade do concreto da laje ou do pavimento em função do tipo ou classe do revestimento a ser aplicado e do método de medição ou equipamento utilizado e que a superfície do substrato deve estar dentro da faixa de umidade superficial especificada em projeto, antes da aplicação do revestimento. Não estabelece, porém, valores ou métodos para a medição da quantidade de umidade.

Com isso o que ocorre na prática é que os projetistas de pisos industriais não estabelecem o nível de umidade do substrato de concreto que deve ser atingido para a aplicação do revestimento especificado, quando utilizado material sensível à umidade.

A importância desta especificação reduziria com a situação corrente em que os revestimentos são aplicados baseando-se apenas na experiência dos aplicadores, ou

então, em recomendações dos fabricantes em função do que é adotado em seus países de origem.

Tal procedimento faz com que o único valor referencial disponível para a quantidade de umidade do substrato adequada para a aplicação seja a estabelecida pelos fabricantes dos revestimentos, que de acordo com a World Floor Covering Association-WFCA (2001), estipulam limites de tolerância superiores aos considerados adequados, devendo, portanto serem vistos com restrições pelos aplicadores destes materiais.

A condição de umidade do substrato de concreto pode ser expressa de forma quantitativa, através do teor de umidade do concreto, do fluxo de umidade através da superfície do concreto ou da umidade relativa interna do concreto. Para cada uma destas maneiras de expressar a condição de umidade do substrato, deve-se estabelecer valores para a quantidade de umidade, em conformidade com o tipo de material a ser aplicado, considerados limites aceitáveis para a aplicação do revestimento.

Entretanto, mesmo que tais limites sejam considerados aceitáveis, é necessário conhecer e caracterizar os métodos de medição disponíveis, a fim de estabelecer qual o mais adequado para medir a quantidade de umidade no substrato de concreto.

Conhecer a maneira como a umidade é distribuída no substrato e como ocorre sua redistribuição, após a aplicação de um revestimento impermeável é determinante. Além disso, é importante saber como medir esta umidade contida no substrato, sendo que essa medição é variável em função dos métodos disponíveis. Portanto, também em função dos métodos, deve-se estabelecer os parâmetros aceitáveis de níveis de umidade. Com isso, acredita-se que seja possível evitar os danos causados ao revestimento devido ao excesso de umidade.

Todas as indefinições acerca da tecnologia de produção de pisos tipo RAD geram, no caso da ocorrência de falhas no revestimento, discussões que quase sempre culminam em disputas judiciais, a fim de se apurar responsabilidades. Estas na

maioria das vezes, por falta de conhecimento, são julgadas sem que sejam considerados todos os aspectos técnicos da questão.

A falta de definição da condição ideal de umidade a ser atingida no substrato para a aplicação dos materiais e componentes utilizados para revestimentos de pisos e a não utilização de métodos padronizados para a sua medição e, ainda, as deficiências na tecnologia de execução fazem com que o desempenho do revestimento executado seja fruto do acaso, uma vez que inexistem parâmetros que sirvam de referência para a denominada “cadeia de responsabilidades” formada por projetistas, contratantes, construtores, fabricantes e aplicadores.

No Brasil, os métodos de ensaio empregados para estabelecer a condição da umidade do concreto, sejam qualitativos ou quantitativos, decorrem da iniciativa individual de técnicos e empresas, não existindo qualquer responsabilidade sobre os valores apurados e as conclusões em relação aos resultados obtidos.

No entanto, não basta apenas definir métodos de medição e em função deles, determinar parâmetros aceitáveis da condição de umidade do substrato, pois são muitos os fatores que interferem no comportamento da umidade do concreto e um valor único pode não representá-los, ou seja, é necessário, primeiro, compreender como ocorrem os processos de hidratação do cimento e secagem do concreto, identificando os fatores que os influenciam, ou seja, relação água/cimento, temperatura, umidade relativa ambiente e tempo de cura e, somente então, será possível compreender o valor dado pelo método de medição de umidade escolhido.

Logo, não é razoável esperar que o construtor, aplicador e fabricante de revestimentos tenham, isoladamente, conhecimento suficiente para identificar e avaliar problemas no revestimento, potencialmente decorrentes do excesso de umidade, sem que realizem uma avaliação cuidadosa e criteriosa, sendo, então, prudente que a realização de ensaios de avaliação da condição de umidade, para determinar as condições de aceitabilidade do substrato, sejam realizados por profissionais tecnicamente qualificados e que estes tenham suporte de um projeto adequadamente definido, com a especificação do tipo de revestimento a ser utilizado,

nível da umidade do substrato adequado à sua aplicação e método a ser adotado para a medição da umidade em conformidade com o parâmetro adotado.

Dentro deste contexto, muitas questões precisam ser esclarecidas, tais como:

- qual a composição mais adequada do concreto a ser utilizado no substrato a ser revestido?
- como as condições ambientes influenciam a secagem desse elemento estrutural?
- como a umidade é distribuída no substrato do concreto antes e após a aplicação do revestimento?
- qual a quantidade de umidade ideal para a aplicação do revestimento?
- qual a profundidade, a partir da superfície do substrato, que deve ser medida a quantidade de umidade?
- qual o prazo necessário para que seja atingido a quantidade ideal de umidade do substrato para a aplicação do revestimento?
- qual o método mais adequado para medir a quantidade de umidade do substrato de concreto?
- quem é o responsável pela medição e definição da quantidade de umidade do substrato de concreto a ser revestido?

Estas perguntas são importantes para que seja alcançado o desempenho satisfatório do revestimento, atendendo às necessidades do usuário final, garantindo-se a durabilidade do subsistema piso.

1.2. Objeto do estudo

Considerando-se que o desempenho dos revestimentos sensíveis à presença de água está fortemente relacionado com a quantidade de umidade do substrato na época de sua aplicação, o objeto de estudo desta dissertação é o substrato produzido com concreto armado, buscando-se analisar o comportamento da água de produção do concreto durante os processos de hidratação do cimento e secagem do concreto, identificando os fatores que influenciam ambos os processos, e, por conseguinte, entender como a quantidade de água presente no substrato pode ser medida, de forma que se tenham parâmetros adequados para a liberação da aplicação do revestimento.

1.3. Objetivo desta dissertação

O objetivo deste trabalho é a definição de recomendações para a avaliação da condição de umidade do substrato de concreto para a aplicação de revestimentos de pisos sensíveis à umidade.

Para que se atinja esse objetivo maior, tem-se como objetivos específicos deste trabalho: estudar o comportamento da umidade no substrato de concreto e os fatores que a influenciam; sistematizar os métodos de medição da condição da umidade do concreto e identificar os valores para a condição de umidade, tidos como parâmetros internacionais, adequados para a aplicação do revestimento.

1.4. Metodologia

Para atingir os objetivos propostos, este trabalho foi desenvolvido, sobretudo a partir de uma revisão bibliográfica sobre o tema, tendo-se, ainda, como suporte um levantamento de campo.

Na revisão bibliográfica foram estudados os conceitos fundamentais que regem o assunto, em particular as normas nacionais e internacionais, catálogos de fabricantes de revestimentos e de instrumentos para a medição da umidade do concreto, artigos técnicos e científicos, trabalhos apresentados em congressos e seminários, teses e dissertações.

Também foram realizados contatos com pesquisadores da Divisão de Materiais de Construção do Instituto Lund de Tecnologia e da Universidade de Tecnologia Chalmers, respectivamente nas cidades de Lund e Göteborg na Suécia e do Departamento de Tecnologia da Construção do Centro Técnico de Pesquisa da Finlândia –VTT, na cidade de Espoo. Estes contatos resultaram na obtenção de farta literatura sobre o tema e em esclarecimentos sobre os principais pontos que envolvem o assunto;

O levantamento de campo consistiu em:

- **visitas a fabricantes de revestimentos:** para pisos sensíveis à umidade, em particular os de alto desempenho, onde procurou-se levantar quais os

critérios recomendados para a aplicação do revestimento, no que se refere à umidade do substrato de concreto;

- **visitas às obras:** nestas visitas, verificou-se os procedimentos adotados para a execução de revestimentos de pisos sobre bases de concreto;
- **visitas às edificações existentes:** nestas visitas foram constatadas as patologias nos revestimentos e dentre elas foram estudadas mais pormenorizadamente aquelas decorrentes da umidade do substrato de concreto;
- **participação nas reuniões do Comitê Técnico 501-RAD do IBRACON-Instituto Brasileiro do Concreto:** foram expostos e discutidos com o grupo o material de pesquisa levantado sobre o tema sendo foi possível constatar a necessidade de estudo do problema, tendo em vista a frequência com que ocorrem as patologias em revestimentos de pisos decorrentes da umidade e a necessidade de adequação do conhecimento técnico existente às condições brasileiras, bem como, a formação de uma associação, cujos participantes compõem a chamada “cadeia de responsabilidades”, visando a difusão do conhecimento e a relevância em se estabelecer as diretrizes para a elaboração de um projeto de piso.

1.5. Conteúdo da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. Neste capítulo, tem-se a introdução do assunto, a justificativa do tema pesquisado, os objetivos a serem alcançados com a pesquisa, bem como, a metodologia para atingi-los.

No capítulo 2 é apresentado o comportamento da água de produção do concreto na medida em que ocorrem a hidratação do cimento e a secagem do concreto através do fluxo de umidade, bem como, a distribuição da umidade no interior do concreto.

No capítulo 3 são apresentados e discutidos os métodos de ensaios qualitativos e quantitativos para a medição da condição de umidade do concreto.

No capítulo 4 são apresentados os níveis aceitáveis de umidade em função do tipo de método de ensaio realizado, aceitos como referência para a liberação dos serviços de

revestimentos. Também são apresentados os tempos de secagem recomendados em função do teste do cloreto de cálcio anidro e da umidade relativa interna do concreto (método sueco).

Finalmente, no capítulo 5 são feitas considerações finais sobre os objetivos atingidos com esta pesquisa, as dificuldades encontradas, sintetizando-se as recomendações para a avaliação da condição de umidade do substrato de concreto aceitável para a aplicação de revestimentos de pisos sensíveis à umidade. Destacam-se ainda, as deficiências de conhecimento existentes, apresentando-as como temas relevantes para pesquisas futuras e os pontos a serem pesquisados na sequência deste trabalho.

2. UMIDADE

2.1. O comportamento da água de produção do concreto

Da quantidade total da água utilizada para a produção do concreto, parte combina com o cimento, tornando-se quimicamente ligada e outra parte permanece fisicamente ligada ao sistema de poros do concreto.

Após o período de cura do concreto, parte da água fisicamente ligada irá continuar combinando com o cimento não hidratado e parte será adsorvida nas superfícies dos produtos da hidratação. O restante da água irá evaporar, sendo a evaporação função da idade do concreto, da temperatura e da umidade relativa ambiente junto à superfície do substrato, no que neste trabalho denomina-se de secagem do concreto. Em decorrência deste mecanismo, o comportamento da água de produção do concreto é afetado pelo processo de hidratação do cimento e pela secagem do concreto. Deve-se notar que ambos os processos, a hidratação e a secagem do concreto ocorrem simultaneamente.

De acordo com Neville (1997), em qualquer estágio da hidratação, a pasta endurecida consiste de produtos hidratados dos diversos compostos, denominados genericamente gel, de cristais Ca(OH)_2 , alguns compostos menores, cimento não-hidratado e espaços residuais cheios de água na pasta fresca. Estes vazios são denominados poros capilares, sendo que no interior do gel também existem vazios intersticiais, denominados poros de gel. O modelo simplificado desta estrutura é mostrado na figura 2-1, onde os pontos cheios representam as partículas de gel, os espaços intersticiais são os poros de gel e os espaços marcados com a letra “C” são os poros capilares.

Figura 2-1: Esquema da estrutura de hidratação da pasta de cimento (Fonte: NEVILLE, 1997).

A fixação da água quimicamente ligada ao cimento, ou seja, a hidratação do cimento, desempenha um papel importante no que se refere aos efeitos da umidade no concreto.

Na pasta de cimento hidratado, a água é classificada em diversos tipos, em função do grau de dificuldade para sua remoção, conforme mostrado na figura 2-2.

- *água capilar: água que está livre da influência de forças de atração exercidas pelas superfícies sólidas da pasta;*
- *água adsorvida: água fisicamente adsorvida às superfícies sólidas da pasta, sob a influência das forças de atração;*
- *água interlamelar: água associada à estrutura do C-S-H². Também conhecida por água de gel; e*
- *água quimicamente combinada: água que é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento.*

Figura 2-2: Tipos de água associados ao silicato de cálcio hidratado C-S-H (Fonte: METHA, MONTEIRO, 1994).

Uma outra classificação adotada, embora arbitrária, consiste em dividi-la em duas categorias: evaporável e não-evaporável à temperatura ambiente, sendo que a evaporável é a parcela de água livre dos poros capilares somada à parcela de água adsorvida e de gel dos poros de gel e a não-evaporável a água quimicamente ligada, combinada na forma de hidratos e hidróxidos (POWERS e BROWNYARD, 1948).

² C-S-H: Silicato de cálcio hidratado é a principal das quatro fases sólidas, geralmente presentes na pasta de cimento, constitui de 50 a 60% do volume total de sólidos da pasta.

A secagem do concreto decorre da complexa relação entre a quantidade de água quimicamente ligada, a água fisicamente ligada e a capacidade do sistema de poros no transporte da água livre, que é alterada à medida que ocorre a hidratação do cimento que, por sua vez, é função da relação água/cimento, da temperatura e da umidade relativa ambiente (HEDENBLAD, 1996).

Uma vez que a secagem do concreto se processa de uma maneira muito lenta, o excesso de umidade estará presente no concreto por um longo período de tempo. Conseqüentemente, apenas uma parte deste excesso deve ser eliminada antes da aplicação de revestimentos sensíveis à umidade, sendo que a quantidade remanescente deverá permanecer na estrutura sem causar quaisquer danos.

Deve-se também conhecer o desempenho do revestimento após a aplicação, uma vez que o nível da umidade não é distribuído de maneira uniforme no substrato de concreto, sendo menor próximo à superfície em contato com o ambiente e aumentando para seu interior. Isto faz com que, quando da utilização de um material impermeável para revestimento (que diminui muito a evaporação da água pela superfície do piso), ocorra uma redistribuição da umidade, aumentando o nível próximo à superfície do substrato, que poderá ficar acima do nível ideal, danificando o revestimento ou o adesivo utilizado na aplicação.

A redistribuição da umidade será tratada detalhadamente no item 2.3, quando da apresentação do processo de secagem do concreto e no item 3.2.4 que apresenta os métodos de medição da umidade da umidade relativa do concreto.

Segundo Nilsson (1980), para descrever as alterações da umidade em um material, é necessário solucionar a chamada “lei da conservação da massa”, apresentada na equação 2-1, a qual, no que se refere ao concreto, poderia ser escrita em uma dimensão como sendo:

$$\frac{\partial w_e}{\partial t} = -\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{\partial w_n}{\partial t} \quad (\text{Equação 2-1})$$

Onde,

w_e = teor de água evaporável (kg/m^3);

F = fluxo de umidade ($\text{kg/m}^2.\text{s}$);

w_n = teor de água não-evaporável (kg/m^3);

t = tempo (s);

x = espessura da peça de concreto (m).

O último termo desta equação descreve a hidratação do cimento que depende do tipo de cimento, teor de cimento, temperatura e umidade ambiente.

O fluxo de umidade, que descreve a secagem do concreto, é, no entanto, mais difícil de ser expresso de uma maneira precisa e é onde algumas suposições e simplificações são necessárias, uma vez que o mecanismo do fluxo de umidade em um material poroso é extremamente complicado, principalmente no caso do concreto, por se tratar de um material heterogêneo, com uma composição altamente variável. Além disto, as propriedades para uma certa composição, alteram-se conforme o progresso da hidratação (NILSSON, 1980).

As propriedades necessárias para se descrever o comportamento da umidade no concreto são, conseqüentemente: hidratação, condições de equilíbrio e fluxo de umidade, discutidas na seqüência.

2.2. Hidratação

A reação química do cimento com a água, comumente chamada de hidratação do cimento, ocorre quando o cimento é misturado com água e seus diferentes componentes reagem tornando-se hidratados.

A hidratação reduz a água capilar e adsorvida e, por conseqüência, a quantidade de água a ser removida na secagem. A condição inicial de secagem é expressa, conforme Nilsson (1980), pela equação 2-2.

$$w_{e0} = w_0 + \Delta w - w_n \quad (\text{Equação 2 - 2})$$

Onde,

w_{e0} = teor de água evaporável no início da secagem (kg/m^3);

w_0 = teor de água de produção do concreto (kg/m^3);

Δw = teor de água adicionada durante a cura (kg/m^3);

w_n = teor de água não-evaporável (kg/m^3).

Conforme Powers, et al (1960), a distribuição da água nos poros na saturação é mostrada na figura 2-3, à esquerda em função da relação água/cimento e à direita em função do grau de hidratação.

Figura 2-3: (a) tem-se a distribuição da água nos poros da pasta de cimento, como função da relação água/cimento para um grau de hidratação de 50% e (b), como função do grau de hidratação para um fator água cimento igual a 0,6 respectivamente (Fonte: POWERS, 1960).

A hidratação do cimento é uma reação exotérmica de maneira que a velocidade de desprendimento de calor é uma indicação da velocidade de hidratação (NEVILLE, 1997).

A hidratação não se processa a uma velocidade constante e nem mesmo a uma velocidade com variação constante, conforme mostrado na figura 2-4, em que se nota a existência de três picos de hidratação no período aproximado de três dias do contato inicial com a água.

Figura 2-4: Velocidade de desprendimento de calor de cimento Portland com uma relação água/cimento igual a 0,4 (Fonte: NEVILLE, 1997).

O primeiro pico de hidratação (I) é muito alto, sendo este período de grande velocidade de hidratação muito curto, o qual é seguido de um período denominado *dormente*, *latência* ou *indução*, onde a velocidade de hidratação é bem pequena. A duração deste período é de uma ou duas horas.

O segundo pico de hidratação (II) ocorre tipicamente dez horas após o contato inicial entre o cimento e a água, sendo bem menor que o primeiro. Após este segundo pico a velocidade de hidratação é reduzida durante um longo período, voltando a ocorrer um terceiro pico (III), trinta horas após o contato inicial entre o cimento e a água.

A hidratação do cimento é afetada pela composição do concreto, principalmente pela relação água/cimento do concreto, temperatura e condições de umidade interna em cada ponto do concreto, os quais serão abordados na seqüência.

2.2.1. Relação água/cimento

O efeito da relação água/cimento na hidratação do cimento, conforme Czernin (1964), é mostrado na figura 2-5, com a velocidade de hidratação aumentando com o acréscimo na relação água/cimento.

Na figura 2-5, o progresso da hidratação é expresso em termos da quantidade de água não-vaporável em relação à quantidade de cimento, conforme Powers e Brownyard (1948), em que a quantidade máxima de água não-evaporável é da ordem de um quarto do peso do cimento hidratado, expresso pela equação 2-3.

$$\frac{w_n}{C} \approx 0,25\alpha \quad (\text{Equação 2-3})$$

Onde:

w_n = teor de água não-evaporável (kg/m^3)

C = teor de cimento (kg/m^3)

α = grau de hidratação³

Figura 2-5: Efeito da relação água/cimento no progresso da hidratação através das medições de contração (Fonte: CZERNIN, 1964).

2.2.2. Temperatura

A elevação da temperatura ambiente faz com que ocorra o aumento da velocidade de desprendimento de calor, que por sua vez, conforme visto no item 2.2, é uma indicação do acréscimo da velocidade de hidratação, como pode ser visto a seguir na tabela 2-1.

Tabela 2-1: Calor de hidratação desprendido após 72 horas (Fonte: NEVILLE, 1997).

TIPO DE CIMENTO	CALOR, J/g			
	TEMPERATURAS EM QUE OCORRE A HIDRATAÇÃO (°C)			
	4°C	24°C	32°C	41°C
I	154	285	309	335
II	221	348	357	390
III	108	195	192	214

³ Grau de hidratação, α , é a proporção entre a quantidade de cimento hidratado e o conteúdo inicial de cimento que compõe a pasta.

2.2.3. Umidade relativa interna do concreto

O efeito das condições ambientes no progresso da hidratação é quantitativamente menos conhecido. A hidratação a uma velocidade máxima pode se processar somente em condições de saturação (NEVILLE, 1997)

Powers (1947) mostrou que a hidratação é bastante reduzida quando a umidade relativa⁴ no interior dos poros capilares, atinge valores abaixo de 80%, conforme figura 2-6, concluindo que para o prosseguimento da hidratação, o interior do concreto deve ser mantido a uma umidade relativa no mínimo igual a 80%.

Figura 2-6: Efeito da umidade interna do concreto sobre a hidratação (Fonte: POWERS, 1947).

Medições do decréscimo da umidade no concreto sob condições de isolamento, isto é, autodessecação, realizadas por Copeland; Bragg (1955) e Petel; et al (1988) indicaram também uma taxa de hidratação muito lenta para teores de umidade abaixo de 80%.

Decorre, do exposto acima, a importância do processo de cura do concreto, no que se refere à hidratação, muito embora, como será visto no item 2.3.1.1, a secagem do concreto ocorre de maneira mais rápida reduzindo-se o tempo de cura.

⁴ Umidade relativa é definida como a relação entre a quantidade de vapor de água atual no ar e a quantidade de vapor de água necessária para a saturação do ar em uma determinada condição de pressão e temperatura, expressa em porcentagem.

2.3. Secagem do concreto

A secagem ocorre como uma combinação de um fluxo de umidade do interior do material para o exterior e a sua posterior evaporação na superfície. A secagem do concreto tem início quando a condição ambiente ao seu redor permite que ocorra a evaporação, isto é, para temperaturas constantes, quando a umidade relativa do ar (UR) for menor que 100%.

O modo como a secagem está relacionada à UR é descrita por L'Hermite (1960), conforme figura 2-7. Assim que a UR cai abaixo de 100%, a água livre retida nos poros capilares começa a ser evaporada para o ambiente, mostrada pela curva “A-B” na figura 2-7. Com a perda da maior parte da água livre e a UR continuando a diminuir, passa a ocorrer a secagem da água adsorvida, como indicado pela curva “B-C” na figura 2-7.

Figura 2-7: Perda de água em função da umidade relativa UR (Fonte: L'HERMITE, 1960).

De acordo com Krisher (1963), o coeficiente de secagem, que indica o volume de água evaporada na superfície para a maioria dos materiais porosos é função do teor de umidade no interior do material, que para o concreto é a soma das massas de água capilar, adsorvida e intermelar em relação a seu volume.

O coeficiente de secagem no caso específico do concreto também depende do grau de hidratação do cimento, uma vez que a estrutura dos poros do concreto altera-se

com a hidratação. O concreto torna-se mais impermeável na medida em que a hidratação do cimento progride e menos água será transportada (NEVILLE, 1997).

A secagem é determinada pela evaporação da água na superfície, sendo que, enquanto o fluxo de umidade for suficiente para manter a superfície molhada, a evaporação ocorrerá de tal forma que o coeficiente de secagem será praticamente constante, como mostrado pela figura 2-8.

Quando o teor de umidade interno do material diminuir para w_1 , como indicado na figura 2-8, o fluxo de umidade, do interior do material para a superfície, torna-se muito pequeno e o coeficiente de secagem diminui, como ilustra a fase 2. Com o tempo, o fluxo de umidade terá um efeito decisivo sobre o coeficiente de secagem.

Figura 2-8: Coeficiente de secagem de um material poroso (Fonte: KRISCHER, 1963).

Na superfície, o equilíbrio com o ambiente é rapidamente alcançado e o teor de umidade na superfície logo estará próximo ao teor de umidade de equilíbrio correspondente à condição ambiente. A ocorrência da Fase 1 no concreto não é usual em decorrência de o fluxo de umidade ser muito lento, fazendo com que ocorra rapidamente a condição de equilíbrio na superfície.

A secagem ocorre enquanto houver um gradiente de teor de umidade do concreto direcionando o fluxo de umidade, como indicado na figura 2-9.

Após um longo período de tempo, o teor de umidade de equilíbrio é alcançado no interior do concreto e o fluxo de umidade deixa de existir, findando a secagem.

Figura 2-9: $w_a > w_b$ direciona o fluxo de umidade para a superfície, que cessa quando $w_a = w_b$.

Conforme visto no item 2.1, uma outra propriedade necessária para descrever a umidade no concreto é a condição de equilíbrio.

De acordo com Powers; Brownyard (1948), em uma amostra de pasta de cimento endurecida, exposta à temperatura ambiente constante, o teor de umidade altera-se espontaneamente até que seja alcançado o equilíbrio entre a quantidade total de água da amostra e a umidade relativa interna da pasta.

A relação entre o teor de umidade e a umidade relativa, em equilíbrio, a uma temperatura constante é expressa através das isotermas de equilíbrio.

As isotermas de equilíbrio podem ser obtidas, partindo-se de uma condição de saturação e diminuindo-se progressivamente a umidade relativa interna a que está sujeita a amostra de pasta de cimento até a denominada condição seca e vice-versa, denominando-se respectivamente, de dessorção e adsorção. Neste trabalho serão tratadas as isotermas de dessorção.

Exemplos destas isotermas, para amostras de concreto durante a secagem, ou seja, isotermas de dessorção, são mostrados na figura 2-10. Através da isoterma poderá ser estimada a quantidade de água que uma amostra de concreto deverá perder para que seja atingida uma determinada umidade relativa.

Figura 2-10: Isothermas de dessorção para amostras de concreto com fatores água/cimento 0,7, 0,5 e 0,4 (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

Considere-se, por exemplo, um concreto com relação água/cimento igual a 0,7. Quanto o teor de água da amostra de concreto deverá diminuir para que a umidade relativa do concreto atinja 90% UR?

Através da isoterma do concreto, com relação água/cimento igual a 0,7, mostrada na figura 2-10, o teor de umidade para a umidade relativa interna do concreto de 100% UR é de aproximadamente 140 litros de água por metro cúbico de concreto.

Portanto, para que seja atingida a umidade relativa interna de 90% UR, cujo teor de umidade correspondente é de 100 litros de água por metro cúbico de concreto, deverá ser diminuído em 40 litros de água por metro cúbico de concreto o teor de umidade do concreto.

De maneira análoga, deverão ser removidos cerca de 30 litros de água por metro cúbico, para o concreto com relação água/cimento igual a 0,5 e 15 litros de água por metro cúbico de concreto, para a relação água/cimento igual a 0,4.

Para os exemplos acima, foi mantida a quantidade da água de produção, variando-se o teor de cimento para cada uma das relações água/cimento apresentadas.

Devido à usual quantidade de água em excesso no concreto, que demanda um longo período de tempo para que a condição de equilíbrio seja alcançada, torna-se necessário o conhecimento de como ocorrem as alterações nas condições de umidade.

Portanto, a secagem será abordada através do mecanismo do fluxo de umidade. Isto significa que devem ser conhecidos os coeficientes do fluxo de umidade que regem o transporte da umidade, bem como, o efeito dos fatores que exerçam influência sobre estes coeficientes, tais como: tempo de cura, relação água/cimento e condições ambientes.

2.3.1. Fluxo de umidade

A umidade no interior de um material poroso não é constante, isto faz com que, a uma temperatura constante, a umidade seja transportada da parte mais úmida para a mais seca, de maneira que, a direção do fluxo de umidade é determinada pela concentração de umidade nos diversos pontos, conforme Moore (1978).

Segundo Nilsson (1980), o transporte da umidade no concreto, assim como em outros materiais porosos, ocorre principalmente através da difusão do vapor de água nos poros cheios de ar e da sucção capilar nos poros cheios de água.

A força de deslocamento na difusão é a pressão de vapor e na sucção capilar a pressão de água nos poros.

Teoricamente, portanto, o fluxo de umidade pode ser dividido em duas partes, uma sendo função unicamente da difusão do vapor de água e a outra em função da sucção capilar que atua na umidade na fase líquida; entretanto, devido à estrutura de poros do concreto, o fluxo é considerado como uma combinação destes dois.

Sato (1998) mostra que a umidade pode estar presente no interior dos poros tanto na forma gasosa, quanto na forma líquida, em função da dimensão do poro e da umidade relativa, conforme ilustrado na figura 2-11.

Figura 2-11: Mecanismos do transporte da umidade em um material poroso (Fonte: SATO,1998).

Enquanto a umidade relativa for menor que o valor que proporciona a condensação no poro (umidade crítica), existe vapor de água em equilíbrio com uma camada de líquido adsorvida, conforme figura 2-11-2. Nesta condição, o transporte de umidade é caracterizado pelo mecanismo de difusão do vapor de água presente no ar contido nos poros e por escoamento de líquido resultante de diferenças de pressões na camada superficial adsorvida.

Quando a umidade atinge o valor correspondente à do raio crítico, a umidade se condensa no interior do poro, preenchendo-o, porém sem formar, de imediato, uma fase contínua com outros poros. O que se forma na realidade é uma “ilha” de água que, estando em contato com fases gasosas em ambas as extremidades, passa a sofrer condensação na extremidade anterior do poro e a evaporar na extremidade posterior. Desta forma, enquanto não existir um meio líquido contínuo, o transporte se dá basicamente por difusão, como indicado na figura 2-11-3; à medida em que se estabelecer uma continuidade de massa, passa a predominar o mecanismo de transporte de umidade na fase líquida, como visto na figura 2-11-4.

O deslocamento da umidade é expresso através de coeficientes de deslocamento da umidade, que não são constantes, sendo função do teor de umidade, umidade relativa

do material, grau de hidratação, temperatura e se o concreto está em situação de absorção ou dessorção (HEDENBLAD, 1993).

O fluxo de umidade, tendo o teor de água evaporável (w_e) como a força de deslocamento, é descrito como:

$$F = -D \frac{\partial w_e}{\partial x} \quad (\text{kg} / \text{m}^2 . \text{s}) \quad (\text{Equação 2 - 4})$$

Onde,

F = fluxo de umidade ($\text{kg} / \text{m}^2 . \text{s}$).

D = difusividade, (m^2/s).

w_e = teor de água evaporável, (kg / m^3)

x = espessura da amostra, (m).

A descrição do fluxo de umidade pela equação 2-4 tem entre outras coisas uma vantagem muito favorável, pois a lei da conservação das massas representada pela equação 2-4, torna-se uma equação expressa unicamente em teores de umidade (w) (NILSSON, 1980).

A difusividade D, conforme a equação 2-4, não é uma constante, mas função de vários fatores, principalmente da condição de umidade e composição do concreto.

Bazant; Najjar (1972), analisando matematicamente algumas medições de coeficientes de difusividade, constantes da literatura, concluíram que a difusividade, em função da umidade relativa e da relação D/D_1 , que expressa a difusividade (D) para uma determinada umidade relativa (UR) expressa em função da difusividade máxima (D_1), tem o aspecto das duas curvas, $n=16$ e $n=6$, mostradas na figura 2-12.

Observa-se pela figura 2-12 que para a umidade relativa abaixo de 60%, a difusividade atinge apenas 5% do valor máximo, que é alcançado entre 80 e 90% de umidade relativa segundo a curva $n=16$ que mostrou-se a mais adequada para a maioria dos casos estudados por Bazant; Najjar (1972).

Figura 2-12: Variação da difusividade relativa em função da umidade relativa. $D/D1$ é a difusividade para uma determinada umidade relativa UR , expressa em função da difusividade máxima (Fonte: BAZANT; NAJJAR, 1972).

Sakata (1983) apud Hedenblad (1993), calculou a difusividade em função do teor de umidade, em amostras, moldadas com concreto com relação água/cimento igual a 0,48, cujos resultados são mostrados na figura 2-13.

Figura 2-13: Difusividade em função do teor de umidade, $w_e/w_{emáx}$, para concreto com relação água/cimento igual a 0,48 (Fonte: SAKATA, 1983 apud HEDENBLAD, 1993).

Nota-se pela figura 2-13 que a difusividade aumenta com o teor de umidade e de maneira mais acentuada para teores de umidade acima de 80% em relação ao teor máximo de umidade.

Pihlajavaara (1965) calculou a difusividade em função do teor de umidade, umidade relativa e tempo de secagem em amostras de argamassa de cimento com relação água/cimento igual a 0,56. As amostras utilizadas tinham formato de prismas e

dimensões 4 x 4 x 16cm e foram curadas por 10 meses, antes do início da secagem. Para a secagem, as amostras foram divididas em dois lotes, sendo que as condições de secagem para um lote foram: temperatura constante de 20 °C e umidade relativa do ambiente de 40% e para o outro lote foi mantida a mesma temperatura, alterando-se a umidade relativa do ambiente para 70%.

Os resultados obtidos são mostrados na figura 2-14, onde as curvas 1, 2 e 3 representam os coeficientes de difusividade após 68, 179 e 293 dias de secagem, respectivamente e mostram que estes são função: do tempo de secagem, do teor de umidade e da umidade relativa do ar.

Figura 2-14: Difusividade conforme PIHLAJAVAARA (1965). Argamassa de cimento, 10 meses de cura selada. Umidade do ar durante a secagem de 40 e 70 %. C refere-se ao teor de umidade por volume na argamassa de cimento (Fonte: HEDENBLAD, 1993).

Uma vez que, o transporte da umidade no concreto ocorre através de um sistema interligado formado pelos poros capilares, conforme visto no item 2.1, que representam a parte do volume total não preenchida pelos produtos da hidratação,

deverá também ser conhecida a influência do tempo de cura, relação água/cimento e condições ambientes, visto que estes fatores alteram a estrutura do sistema de poros e, por consequência, os coeficientes do transporte da umidade.

2.3.1.1. *Tempo de cura*

De acordo com Wierig (1965), o tempo de cura influencia a capacidade de transporte de umidade do concreto⁵, uma vez que o volume do sistema capilar é reduzido com a evolução da hidratação, pelo fato de os produtos da hidratação ocuparem mais do que o dobro do volume da fase sólida inicial e as interligações existentes entre os poros capilares serem interrompidas em decorrência do preenchimento destes pelos produtos da hidratação, como mostrado na tabela 2-2.

Tabela 2-2: Variação da porosidade capilar para diferentes graus de hidratação e relação a/c = 0,63 (Fonte: METHA, 1994).

Tempo de hidratação	zero	7 dias	28 dias	1 ano
Grau de hidratação	zero	50%	75%	100%
Cimento anidro	33%	17%	8%	0%
Produtos da hidratação	0%	33%	50%	67%
Poros capilares	67%	50%	42%	33%

Conforme visto no item 2.2.3, a cura do concreto tem grande importância no processo de hidratação, de forma que, um concreto bem curado tem uma quantidade menor de água livre a ser evaporada antes que a aplicação do revestimento possa ser iniciada. Por outro lado, o sistema capilar reduzido faz com que o transporte desta água ocorra através de um caminho estreito e tortuoso.

Em um concreto curado por um curto período o contrário também é verdadeiro, pois uma quantidade menor de cimento é hidratada, o que faz com que exista uma quantidade maior de água livre. Porém, os poros da estrutura do concreto têm maior probabilidade de estarem conectados, resultando em um sistema capilar com maior capacidade de transporte de umidade.

⁵ Neste trabalho será adotado o termo “capacidade de transporte de umidade”, para definir o movimento global dos fluidos no interior do concreto e deste para a superfície durante o processo de secagem.

De acordo com o mostrado na figura 2-15, aumentado-se o tempo de cura, diminui-se a capacidade de transporte de umidade do concreto, expressa, em percentual, em relação à capacidade máxima de transporte de umidade.

Figura 2-15: Capacidade relativa de transporte da umidade em função do período de cura úmida em uma argamassa de cimento com relação água/cimento igual a 0,6 (Fonte: WIERIG, 1965).

Nota-se a acentuada queda na capacidade de transporte da umidade que ocorre no período de 1 a 3 dias de cura. A partir do período de cura de 3 dias esta queda torna-se bem menos acentuada; no entanto, continua a diminuir para tempos de cura de até 12 meses.

A fim de estudar o efeito do tempo de cura sobre o tempo de secagem, Anon (1971) apud Nilsson (1980) realizou uma série de experimentos utilizando amostras de pasta de cimento com relação água/cimento igual a 0,50 e tempos de cura variáveis. As amostras foram deixadas em um ambiente controlado, a uma temperatura de 20 °C e umidade relativa de 50% e os resultados obtidos são mostrados na figura 2-16, constatando-se que para as amostras com um tempo de cura menor, a perda de água é bastante acentuada, diminuindo na medida em que o tempo de cura é aumentado.

Figura 2-16: Curvas de secagem para pastas de cimento com relação água/cimento = 0,5 e tempos de cura variáveis sob condições seladas. Valores médios de 3 a 4 amostras. Curvas pontilhadas mostram o desvio padrão (Fonte: ANON, 1971 apud NILSSON, 1980).

Conforme visto no item 2.1, para o concreto com baixa quantidade de cimento hidratado existe uma maior quantidade de água livre em uma estrutura contendo poros maiores e interligados que permitem um coeficiente de secagem maior, sendo esta a condição para o concreto com um período de cura curto.

Hedenblad (1996) mediu o tempo necessário para que fosse atingida a umidade relativa do concreto de 85%, em uma laje de concreto com quatro polegadas de espessura, seca por um lado, com relação água/cimento variando de 0,50 a 0,70 e cura úmida por 1 dia ou 4 semanas, antes do início da secagem, em um ambiente com umidade relativa do ar de 50% e 21° C de temperatura. A umidade relativa interna do concreto de 85% foi medida com a utilização de um higrômetro, ou sonda, posicionado a uma profundidade igual a 40% da espessura da laje, sendo os tempos de secagem obtidos mostrados na tabela 2-3.

Tabela 2-3: Tempo de secagem em dias, medido após o período de cura, para alcançar 85% de umidade relativa interna do concreto (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

PERÍODO DE CURA	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO		
	0,50	0,60	0,70
	TEMPO DE SECAGEM MEDIDO APÓS PERÍODO DE CURA (DIAS)		
1 DIA	66	112	184
4 SEMANAS	92	157	258

Para uma mesma relação água/cimento o tempo de secagem aumenta com o aumento do período de cura. Nota-se na tabela 2-3, que o concreto com relação água/cimento

igual a 0,50 e curado por 1 dia atinge 85% de umidade relativa em 66 dias, porém levará 92 dias para atingir este mesmo valor se o concreto for curado por 4 semanas.

Observa-se também que, para um mesmo período de cura, o tempo de secagem aumenta com o aumento da relação água/cimento. Para o concreto com relação água/cimento igual a 0,70, a cura por 4 semanas aumenta o tempo de secagem em mais de dois meses.

Portanto, a secagem do concreto ocorrerá de forma mais rápida diminuindo-se o tempo de cura do concreto. Entretanto, deve-se salientar que a adequada cura do concreto influencia fortemente em outras características dos elementos estruturais e, por isto mesmo, não pode ser negligenciada, devendo-se respeitar o tempo mínimo de cura.

O ACI – “American Concrete Institute”, na publicação ACI 302.1R-96 – “Guide for Concrete Floor and Slab Construction”, recomenda um período de cura úmida de 7 dias ininterruptos para o concreto, independente do tipo de cimento. Este prazo poderá ser reduzido para 3 dias quando for utilizado cimento de alta resistência inicial e temperaturas acima dos 23° C.

A ACI 308-92 – “Standard Practice for Curing Concrete”, recomenda um período de cura mínimo de 7 dias para pisos de concreto executados sobre o solo.

Kanare et al (1998) recomenda, para pisos de concreto a serem revestidos por materiais sensíveis à umidade, um período de cura de 3 dias com a utilização de uma manta plástica logo após o lançamento do concreto, dado que a quantidade da água de produção do concreto é normalmente maior do que a necessária para a hidratação do cimento portland (estimada em 30% em massa de cimento), de maneira a proporcionar um meio aceitável de manter o processo de hidratação.

Hedenblad (1993) também realizou experimentos com amostras de concreto com mais de um ano de idade, a fim de determinar o tempo de secagem deste concreto após ter sido re-umidificado e seco, por apenas um lado, em um ambiente a 21° C de

temperatura e 50% de umidade relativa do ar. Foram necessários 515 dias para atingir 85% de umidade relativa interna, contra os 184 dias para o concreto novo curado por um dia e os 258 dias para o concreto curado por quatro semanas. O aumento no tempo de secagem devido a re-umidificação do concreto, deverá ser levada em consideração quando da execução de serviços de retirada e substituição de revestimentos existentes em pisos de concreto, em decorrência de inundações ou áreas sujeitas à ação da água.

2.3.1.2. *Relação água/cimento*

A capacidade de transporte de umidade do concreto é controlada pela porosidade capilar da pasta de cimento que depende tanto do grau de hidratação, conforme visto anteriormente no item 2.3.1.1, quanto da relação água/cimento, indicada abaixo pela tabela 2-4.

Tabela 2-4: Variação da porosidade capilar para diferentes relações água/cimento (Fonte: METHA, 1994).

Relação água/cimento	0,7	0,6	0,5	0,4
Grau de hidratação	100%	100%	100%	100%
Cimento anidro	0%	0%	0%	0%
Produtos da hidratação	63%%	70%	78%	89%
Poros capilares	37%	30%	22%	11%

A capacidade de transporte de umidade, em pastas de cimento com igual grau de hidratação, diminui com o aumento do teor de cimento, ou seja, com a diminuição da relação água/cimento (NEVILLE, 1997).

A princípio, portanto, uma relação água/cimento menor implicaria em uma secagem mais lenta. Por outro lado, esta pasta de cimento tem uma quantidade menor de água de amassamento e por consequência uma menor quantidade de água a ser evaporada durante a secagem.

Hedenblad (1996), em medições realizadas do tempo de secagem de amostras de concreto constatou que, para a maioria dos casos estudados, o tempo de secagem diminui para o concreto com uma baixa relação água/cimento, apesar da menor capacidade de transporte, conforme pode ser notado na figura 2-17.

Figura 2-17: A influência da relação água/cimento e condições de cura sobre o tempo de secagem (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

2.3.1.3. Condições ambientais

As condições ambientais de secagem são uma combinação da umidade relativa do ar e da temperatura no interior da construção, que por sua vez influenciam a taxa de transmissão de umidade no interior do concreto. A temperatura e a umidade relativa ambiente naturalmente afetam a secagem, conforme mostrado nas figuras 2-18 e 2-19.

Figura 2-18: Influência da umidade relativa ambiente sobre a perda de água do concreto nas primeiras idades (temperatura do ar 21°C; velocidade do vento 4,5 m/s) (Fonte: NEVILLE, 1997)..

Figura 2-19: Influência da temperatura ambiente sobre a perda de água do concreto nas primeiras idades (umidade relativa 70%; velocidade do vento 4,5 m/s) (Fonte: NEVILLE, 1997).

A transmissão de umidade é função da pressão atmosférica. A diferença entre a pressão do ar nos vazios do concreto e no ar sobre a laje determinará a taxa de transmissão de umidade. A pressão de vapor relativa à umidade contida no ar pode ser determinada pela figura 2-20 se a umidade relativa e a temperatura forem conhecidas, conforme Butt (1992).

Figura 2-20: Pressão de vapor relativa à umidade contida no ar para diferentes temperaturas e umidades relativas (Fonte: ASTM E 1907-97, 1997).

Para secar uma laje, por exemplo, o movimento da umidade deve ocorrer do concreto para o ambiente. Se o ambiente no concreto em contato com o solo tem uma umidade relativa de 100% e temperatura de 20°C, a pressão de vapor do ar no interior do

concreto será de cerca de 2,46 kPa. Se a umidade relativa e a temperatura no interior da construção forem de 60% e 27°C respectivamente, a pressão de vapor do ar será 2,11 kPa. A diferença de pressão 0,35 kPa é a força que conduz o ar úmido do interior do concreto para o ambiente.

A ASTM E 1907 – 97 recomenda que para forçar a secagem do concreto é preferível baixar a umidade relativa do ar no interior da edificação do que aumentar a temperatura, muito embora não faça referência, ao fato de que, provocar o aumento da temperatura ambiente resulte em uma diminuição da umidade relativa e também não indique um processo prático e eficaz de redução da umidade relativa.

Kanare et al (1998), consultores americanos recomendam a utilização de desumidificadores para diminuir a umidade relativa ambiente facilitando a secagem do concreto.

Cabe aqui, a observação de que em regiões tropicais, onde o uso de sistemas de ar condicionado é freqüente devido às elevadas temperaturas e umidade relativa, possa ocorrer a situação em que a medição da condição de umidade do substrato tenha sido realizada durante a construção em condições diferentes daquelas quando do uso da edificação após a ocupação, em que a temperatura no interior da edificação é diminuída em relação ao exterior.

Neste caso, apesar da medição realizada indicar uma condição aceitável para a aplicação do revestimento sensível à umidade, a menor temperatura ambiente da edificação, após a ocupação, acarreta um aumento na diferença de pressão entre o concreto e o ambiente resultando em um movimento da umidade em direção à superfície podendo causar danos ao revestimento.

Desta maneira, é importante que as medições da condição de umidade do substrato de concreto sejam realizadas em condições mais próximas possíveis daquelas que ocorrerão quando da edificação em uso.

A distribuição da umidade não ocorre de uma maneira uniforme, visto que, a secagem é decorrente de sua evaporação, diminuindo, portanto, do interior para a superfície do concreto.

Torna-se, então, necessário o conhecimento de como ocorre esta distribuição, e de como é alterada pela aplicação de um revestimento sobre a superfície do concreto, enquanto o fluxo de umidade continuar a existir.

2.3.2. Distribuição da umidade

A Divisão de Materiais de Construção do Instituto Lund de Tecnologia da Suécia desenvolveu um modelo de cálculo computadorizado que permite calcular a distribuição da umidade numa amostra, em função do teor de umidade e umidade relativa interna do concreto, da extremidade para o meio, possibilitando a comparação com os valores medidos por Pihlajavaara (1965), obtendo os resultados mostrados nas figuras 2-21 e 2-22.

Figura 2-21 Distribuição da umidade, em função da umidade relativa e teor de umidade, de amostras secas a 20°C e 40% UR (Fonte: HEDENBLAD, 1993)

Figura 2-22: Distribuição da umidade, em função da umidade relativa e teor de umidade, de amostras secas a 20°C e 70% UR. (Fonte: HEDENBLAD, 1993).

Nilsson (1980) calculou a distribuição da umidade em uma laje de concreto com 10cm de espessura, curada por um mês antes de iniciar a secagem, seca por um lado, a uma temperatura de 20 °C e 40% UR, para diferentes tempos de secagem.

Os resultados obtidos são vistos a seguir na figura 2-23 em que é mostrada a distribuição da umidade no interior da laje de concreto, para tempos de secagem variando de 1 a 480 dias, expressa em função da umidade relativa interna e do teor de umidade do concreto.

Figura 2-23: Distribuições de umidade calculadas, em função do teor de umidade e umidade relativa, para um concreto. Curado por um mês sob condições seladas antes de iniciar a secagem e com tempo de secagem variando entre 1 e 480 dias (Fonte: NILSSON, 1980).

Observa-se na figura 2-21 e figura 2-22 que os valores do teor de umidade na seção central das amostras sofreram uma diminuição, em relação à condição inicial, variando apenas entre 5 e 10% e na figura 2-23 atingiu um valor máximo de 25% de redução, porém considerando-se o tempo de secagem de 480 dias.

Nota-se também que, independentemente do tempo de secagem, a umidade distribui-se de maneira não uniforme, que conforme visto no item 2.3.1, acarretará em um fluxo de umidade do interior do concreto para a sua superfície.

Na prática, este fluxo é muitas vezes interrompido precocemente pela aplicação de um revestimento impermeável, fazendo com que a evaporação pela superfície seja drasticamente reduzida. Isto significa que ocorrerá uma redistribuição da umidade, uma vez que, o teor de umidade próximo à superfície aumenta, pois o fluxo de umidade, nesta direção, continua.

O conhecimento de como ocorre esta redistribuição é necessário para que seja possível estabelecer em que posição, medida a partir da superfície do concreto, a

condição de umidade corresponderá à umidade na superfície após a aplicação do revestimento impermeável.

2.3.3. Redistribuição da umidade na laje de concreto após a aplicação do revestimento

Conforme visto no item 2.3.2, a secagem de uma laje de concreto inicia-se pela superfície, enquanto o teor de umidade no meio desta permanece alto. Quando um revestimento impermeável é aplicado sobre a superfície, a umidade no concreto situada abaixo deste revestimento é redistribuída uniformemente até que uma nova condição de equilíbrio seja alcançada entre a lenta evaporação através do revestimento e o fluxo de umidade em direção à superfície. Este princípio é ilustrado na figura 2-24, para uma situação em que a secagem ocorre pelos dois lados da laje.

Figura 2-24: Distribuição da umidade relativa em uma laje, seca pelos dois lados, antes e após a secagem e depois de aplicado do revestimento (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

Onde:

$a =$ perfil da distribuição da umidade antes da secagem;

$b =$ perfil da distribuição da umidade após a secagem;

$c =$ perfil da distribuição da umidade após a aplicação do revestimento e a redistribuição da umidade;

$H =$ espessura da laje;

$0,2H =$ profundidade equivalente.

Para uma determinada profundidade, medida a partir da superfície da laje antes de ser revestida, a qual denomina-se “profundidade equivalente”, o nível de umidade é exatamente igual ao nível que será alcançado, na superfície da laje, após a aplicação

do revestimento. Esta “*profundidade equivalente*” varia se a secagem da laje ocorre por ambos os lados ou somente por um deles (HEDENBLAD, 1996).

Para o caso de a secagem ocorrer por ambos os lados, exemplo típico das lajes de um edifício, a “*profundidade equivalente*” é adotada como sendo igual a $0,2H$, onde H é a espessura da laje, como ilustra a figura 2-24.

É interessante notar que para o caso da laje de concreto, seca por ambos os lados, em que um deles é revestido, a secagem continua através daquele sem revestimento. Isto significa que o nível de umidade irá ser novamente redistribuído, diminuindo junto à superfície já revestida.

Quando a secagem ocorre por apenas um lado, caso dos pisos de concreto executados sobre o solo, o valor adotado para a “*profundidade equivalente*” é igual a $0,4H$, onde H é a espessura da laje, conforme figura 2-25.

Para esta situação, a umidade no piso de concreto, após o revestimento da superfície, irá atingir o equilíbrio mantendo-se constante em toda a espessura do piso.

Figura 2-25: Distribuição da umidade antes e após a secagem e aplicação do revestimento para um piso de concreto executado diretamente sobre o solo (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

Onde:

$a =$ *perfil da distribuição da umidade antes da secagem;*

$b =$ *perfil da distribuição da umidade após a secagem;*

$c =$ *perfil da distribuição da umidade após a aplicação do revestimento e a redistribuição da umidade;*

$H =$ *espessura do piso de concreto;*

$0,4H =$ *profundidade equivalente.*

Do exposto, conclui-se que, no caso da aplicação de um revestimento impermeável suscetível à presença da água, o aumento da quantidade de umidade do substrato de concreto junto à superfície, após a redistribuição, poderá implicar em danos ao revestimento.

O conhecimento de como ocorre o processo de secagem e os fatores que a influenciam, mostrados neste capítulo, implica na necessidade de medir com eficiência a umidade do concreto, de maneira a permitir o tempo necessário para a eliminação de parte do excesso de umidade, ou utilizar procedimentos que a acelerem, até que seja atingido o nível de umidade ideal para a aplicação de um determinado revestimento do substrato, quando da utilização de materiais susceptíveis à presença da água, reduzindo-se a possibilidade de ocorrência de falhas.

Os métodos de medição de umidade do concreto mais utilizados atualmente serão abordados a seguir.

3. MEDIÇÃO DA UMIDADE NO CONCRETO

Em vários países, organizações como: “ASTM – American Society for Testing Materials”, “BSI - British Standards Institution” e “NCF – Nordic Concrete Federation” normalizaram testes para avaliar as condições de umidade do substrato de concreto a fim de determinar se está aceitável para receber o revestimento. Os resultados destes testes podem ser qualitativos ou quantitativos e são registrados de várias maneiras, dependendo do método empregado, variando de observações visuais, testes físicos ou medições das quantidades ou percentuais de água. No Brasil, a inexistência de normas próprias sobre o assunto tem levado os fabricantes e aplicadores de revestimentos sensíveis à umidade a adotarem os procedimentos consagrados em outros países.

Os principais testes para avaliar a condição de umidade do substrato de concreto estão reunidos na norma ASTM E 1907-97 – “Práticas padrão para determinar a umidade aceitável nos substratos de concreto para receber revestimentos sensíveis à umidade”, que descreve procedimentos para determinar a quantidade de água ou vapor de água presente ou emitida por um substrato de concreto, assim como, estabelece critérios para avaliar a condição do substrato de concreto para receber revestimentos sensíveis à umidade.

A fim de estabelecer uma comparação entre os testes mais utilizados para avaliar a condição de umidade do substrato de concreto e os conceitos apresentados no capítulo anterior, serão adotados os testes e procedimentos contidos na norma ASTM E 1907-97, que serão classificados neste trabalho em qualitativos e quantitativos, conforme relacionados a seguir:

- *Qualitativos:*
 - Manta plástica*
 - Placa colada*

- *Quantitativos:*
 - Resistência elétrica*
 - Impedância elétrica*
 - Cloreto de cálcio anidro*
 - Umidade relativa*

A ASTM E 1907-97 recomenda que os testes sejam realizados após as condições ambientes da edificação em que se encontra o substrato de concreto estarem por pelo menos 48h sob as condições previstas de utilização, no que se refere à temperatura e umidade relativa. Caso isto não seja possível, deverão ser mantidas, por pelo menos 48 h, as seguintes condições ambientes para a realização dos testes:

- *temperatura: 18° a 29° C;*
- *umidade relativa: 40% a 60%;*
- *nenhuma água visível na forma líquida deverá estar presente sobre a superfície do concreto, antes do início do teste;*
- *evitar a realização do teste em áreas sujeitas à ação direta da luz solar ou outras fontes de calor; e*
- *a superfície do concreto deverá estar limpa, livre de poeira e eventuais resíduos de produtos utilizados durante a cura. Caso seja necessário, a limpeza da superfície deverá ocorrer pelo menos 48h antes da realização do teste.*

3.1. Testes qualitativos

3.1.1. Teste da manta plástica

Este teste, descrito pela ASTM D 4263-93 – “Método para a indicação de umidade no concreto utilizando a manta plástica”, é bastante simples e consiste em cobrir uma área quadrada de 18 x 18 polegadas, (460mm x 460mm) da superfície do substrato de concreto, por pelo menos 16 horas com uma manta de polietileno de 0,1mm de espessura, conforme mostrado na figura 3-1. Após este período, deve-se examinar a parte inferior da manta e a superfície do concreto que foi coberta. Se for constatada a presença de umidade condensada na manta, ou se a superfície do concreto estiver escurecida, então existe umidade em excesso e o concreto ainda não está pronto para receber um revestimento sensível à umidade. Alguns fabricantes estabelecem um período de cobertura de 24 horas e a utilização de uma manta de polietileno de maior espessura.

Embora de fácil realização, o teste pode produzir resultados não confiáveis, pois para que a umidade condense sob a manta plástica, a temperatura na superfície do concreto deve estar abaixo do ponto de orvalho. Se a temperatura ambiente for alta o

suficiente, mesmo para um alto teor de umidade no substrato de concreto, não ocorrerá a condensação sob a manta plástica, sendo este resultado conhecido como falso negativo.

Figura 3-1: Teste da manta plástica (Fonte: FARNEY, 2001).

3.1.2. Teste da placa colada

Neste teste, uma amostra de 1 m² de área do material a ser utilizado para revestimento é aplicado sobre o substrato de concreto, seguindo-se as recomendações do fabricante. Portanto, trata-se de um teste destinado a revestimentos pré-formados, em especial revestimentos de borracha e vinílico, e não moldados no local. As extremidades do revestimento devem ser vedadas com fita adesiva e após 72 horas, o revestimento deve ser arrancado manualmente como ilustra a figura 3-2. A força necessária para a remoção do revestimento é avaliada e é examinada a condição do adesivo. Se o adesivo estiver úmido ou a colagem muito fraca, então o substrato ainda não está pronto para receber o revestimento.

Figura 3-2: Teste da placa colada (Fonte: FARNEY, 2001).

3.2. Testes quantitativos

3.2.1. Teste da resistência elétrica

Este teste permite determinar o teor de umidade através da medição da condutividade elétrica do concreto localizado entre dois eletrodos que podem ser colocados em contato com a superfície do substrato de concreto ou no interior de duas perfurações previamente executadas no substrato de concreto, com 25 mm de profundidade. A condutividade elétrica no concreto varia proporcionalmente ao teor de umidade, sendo que a conversão entre estes valores é indicada pelo fabricante do medidor. Na figura 3-3 é mostrado um dos modelos disponíveis nos mercados americano e europeu. Este teste possibilita obter, de uma maneira relativamente rápida, um valor aproximado do teor de umidade do concreto.

Normalmente uma leitura indicando uma alta condutividade implica em um alto teor de umidade, entretanto, uma leitura, realizada com a utilização de eletrodos colocados sobre a superfície do substrato de concreto, que indique uma baixa condutividade resulta apenas que o concreto encontra-se seco próximo à superfície, podendo ter um alto teor de umidade em seu interior. Por este motivo, é recomendado pela ASTM – E 1907-97 que as medições sejam realizadas com a colocação dos eletrodos em perfurações no piso de concreto.

Apesar de ser um método de medição razoavelmente preciso para materiais cuja composição seja perfeitamente conhecida, tais como: painéis de gesso acartonado (drywall) e determinados tipos de madeira, no caso do concreto, a sua condutividade é afetada pelo volume de vazios, relação água/cimento, tipo de agregado e o aço utilizado na armação do substrato de concreto; por isto, as medições obtidas através

destes instrumentos, mesmo que calibrados para o concreto, devem ser utilizadas para determinar a umidade de uma região do substrato em relação a outra, ou seja, onde o substrato encontra-se mais seco e mais molhado.

Uma maneira de minimizar a situação anteriormente descrita, indicada pela ASTM E 1907-97, no caso de medições realizadas com a colocação dos eletrodos sobre a superfície do substrato de concreto, é realizar as medições em pontos que serão posteriormente realizados o teste da manta plástica, conforme visto no item 3.1, sendo que para este caso o período de cobertura da superfície do concreto é de 24 horas. Após a remoção da manta plástica, faz-se nova medição, sendo que para os pontos nos quais a segunda medição exceda significativamente à primeira, o teor de umidade está em um nível inaceitável.

Figura 3-3: Medidor modelo UNI 2 e eletrodos modelo M 6 (Fonte: GANN, 2002).

3.2.2. Teste de impedância elétrica

Conforme a ASTM E 1907-97, trata-se de um método rápido para determinar o teor de umidade através da medição da impedância elétrica da corrente alternada no concreto, que aumenta à medida que a umidade diminui.

Os medidores de impedância elétrica são dispositivos portáteis compostos por dois eletrodos, sendo um transmissor e outro receptor de um sinal elétrico de baixa frequência, que quando apoiados sobre a superfície do concreto e ligados, medem a variação da impedância causada pela presença e nível da umidade do concreto, que é

convertida para indicar o teor de umidade do concreto, expresso em porcentagem no indicador do aparelho. O campo elétrico criado pelo instrumento é afetado pela composição do concreto e pela sua umidade interna. O concreto úmido é um condutor satisfatório e na medida em que o nível de umidade no concreto diminui, aumenta a impedância.

Medidores de impedância elétrica proporcionam informações úteis para uma profundidade de cerca de 50mm, sendo um dos modelos disponíveis nos mercados americano e europeu mostrados na figura 3-4. São fáceis de usar, não requerem que sejam realizadas perfurações no substrato, produzem resultados rápidos; a calibragem do aparelho deve seguir a recomendação do fabricante, sendo uma ótima ferramenta para as medições preliminares nas investigações de problemas relacionados à umidade em substrato de concreto (KANARE et al, 1998).

Figura 3-4: Medidor modelo TRAMEX (Fonte: TRAMEX, 2002).

3.2.3. Teste do cloreto de cálcio anidro - TCCA

De acordo com a ASTM E-1907 (1997), no início dos anos 50, a “Rubber Manufactures Association-RMA”⁶ desenvolveu o Teste de Cloreto de Cálcio Anidro (TCCA), que mede a taxa de emissão do vapor de umidade (TEVU), expressa em lbs/1000 pés quadrados.24h ou $\mu\text{g/s.m}^2$. O teste consiste da medição da massa de água absorvida pelo cloreto de cálcio anidro em contato com a superfície do concreto durante um determinado período de tempo. Considerando-se o valor obtido, a

⁶ Embora a “Rubber Manufactures Association-RMA” não esteja mais envolvida com revestimentos para pisos e não possua os registros sobre os procedimentos dos testes realizados, é aceito que lhe seja atribuída a origem deste estudo.

aplicação poderá ou não ser iniciada, em função do tipo de revestimento a ser utilizado.

Apesar de ter passado muito tempo da realização desse trabalho, este teste é o mais aceito e utilizado pelos fabricantes americanos de revestimentos e adesivos, sendo os resultados obtidos para as taxas de emissão de vapor de umidade adotados como referência para avaliar a condição de umidade do concreto. Como será visto adiante, estes valores variam entre 3 a 5 lbs/1000 pés quadrados.24h ou 170 a 280 $\mu\text{g} / \text{s.m}^2$.

Em 1998 foi publicada, pela “ASTM-American Society for Testing Materials”, a norma ASTM F 1869-98 (Método para Medição da Taxa de Emissão de Vapor do Substrato de Concreto Utilizando Cloreto de Cálcio Anidro) que descreve o teste que quantifica a taxa de emissão de vapor, medindo-se a quantidade de umidade absorvida por uma pastilha de cloreto de cálcio anidro (CaCl_2), durante um período de tempo determinado.

O kit TCCA de testes ilustrado na figura 3-5 consiste de:

- *recipiente cilíndrico de plástico com tampa, com aproximadamente 75mm de diâmetro, contendo uma pastilha de cloreto de cálcio anidro e pesando 30g, conhecido como o “prato”;*
- *tampa plástica, chamada de “domo”, quadrada, com flange e 200mm de lado e 30mm de altura, permitindo que seja isolado o ar entre o domo e o substrato de concreto; e*
- *etiqueta adesiva para ser colocada no “domo” como aviso durante a realização do teste.*

Figura 3-5: Kit de testes TCCA para medir a taxa de emissão do vapor de umidade utilizando o cloreto de cálcio anidro (Fonte: VAPORTEST, 2002).

Devido à umidade relativa do ambiente e à temperatura afetarem significativamente os resultados dos testes, é recomendado pela ASTM F 1869–98 (1998) que estes sejam realizados em condições ambientes semelhantes às de uso da edificação quando ocupada; caso não seja possível, a temperatura ambiente deverá ser de $24 \pm 5,5$ °C e a umidade relativa do ar $50 \pm 10\%$. Estas condições devem ser mantidas por pelo menos 48h antes do início dos testes.

As áreas de teste devem ser selecionadas de maneira a representar todo o piso do concreto, incluindo o centro e o perímetro do substrato, sendo recomendados pela ASTM F 1869–98 (1998) três amostras para áreas de até 100 m² e uma amostra a mais para cada 100 m² de área adicional. Antes do início do teste, a área do substrato deverá estar limpa e livre de quaisquer resíduos e substâncias, tais como, adesivos, produtos utilizados durante a cura, selantes, pinturas e demais revestimentos, conforme mostrado pela figura 3-6.

Figura 3-6: Limpeza do substrato em que será realizada a medição utilizando-se o kit de testes TCCA (Fonte: VAPORTEST, 2002).

O início do teste dá-se com a definição da massa do “prato” com a pastilha de cloreto de cálcio, incluindo a tampa. Registra-se a massa, hora de início e local do teste na tampa, como ilustra a figura 3-7.

Figura 3-7: Pesagem do conjunto “pastilha e prato” no início do teste TCCA (Fonte: VAPORTEST, 2002).

A seguir, remove-se a fita adesiva que fixa a tampa ao “prato”, retira-se a tampa e coloca-se o “prato” aberto sobre substrato de concreto. Cobre-se imediatamente o “prato” utilizando-se o “domo”, cujo flange é vedada ao substrato com material adesivo, como indicado nas figuras 3-8 e 3-9.

Figura 3-8: Retirada da tampa do “prato (Fonte: VAPORTEST, 2002).

Figura 3-9: Colocação da pastilha de cloreto de cálcio anidro no local de teste (Fonte: VAPORTEST, 2002).

Após 72 h o domo é cortado com o auxílio de um estilete, tampando-se o “prato” que é novamente pesado, registrando-se peso e a hora de encerramento do teste, como ilustra a figura 3-10.

Figura 3-10: Retirada do conjunto “pastilha e prato” para pesagem (Fonte: VAPORTEST, 2002).

A taxa de emissão de vapor de umidade (TEVU) é dada pela equação 3-1:

$$TEVU = \frac{24.000 * \Delta M}{453.612 * A * T} \quad (\text{Equação 3 - 1})$$

Onde:

TEVU= Taxa de emissão de vapor de umidade; lb/1000 pés quadrados/24h;

ΔM = (Massa final - Massa inicial) da pastilha de CaCl_2 , em gramas;

A = Área do “domo”, deduzida a área do “prato”, em pés quadrados;

T = Tempo de teste, em horas;

A conversão da TEVU para o Sistema Internacional de Unidades - SI é obtida multiplicando-se por 56,51 o resultado da equação 3-1 que será expresso em $\mu\text{g/s.m}^2$.

A equação 3-1, estabelecida pela ASTM F 1869-98 (1998), difere da utilizada pelos fabricantes de kits de testes, especialmente em relação à área de teste, tendo em vista que estes assumem que o ganho de peso da pastilha de cloreto de cálcio é devido à emissão de vapor da totalidade da área coberta pelo “domo”, enquanto a equação 3-1 determina que seja deduzida deste total, a área do “prato”.

Suprenant; Malisch (2000) mediram os “domos” e “pratos” de quatro fabricantes de kits para testes e, por estas dimensões, a fórmula da ASTM aumenta a taxa de emissão de vapor de umidade em 10%. Isto significa, por exemplo, que uma taxa de emissão de vapor de umidade de 3 lbs/1000 pés quadrados.24h ou $170 \mu\text{g/s.m}^2$, será agora, pela equação da ASTM, de 3,3 lbs/1000 pés quadrados.24h ou $187 \mu\text{g/s.m}^2$.

Apesar disto, os fabricantes de revestimentos não reduziram em 10% as taxas de emissão de vapor de umidade a serem atingidas para o bom desempenho do revestimento; com isso, aumenta-se o tempo de secagem necessário para atingir o limite usual de 3 lbs/1000 pés quadrados.24h ou $170 \mu\text{g} / \text{s.m}^2$.

Segundo ainda, Suprenant; Malisch (2000), alguns pesquisadores questionam o fato da ASTM F 1869-98 (1998) determinar o peso da pastilha de cloreto de cálcio anidro a ser utilizada nos testes, mas não especificar a granulometria do material, uma vez que a finura do cloreto de cálcio afeta o grau de absorção de umidade e, por consequência, os resultados dos testes. Questiona-se também a altura do “domo” em relação a altura do “prato”, pois acredita-se que com a diminuição do espaço existente entre estas peças ocorrerá a restrição do fluxo de ar sobre o “prato” levando a um resultado para a taxa de emissão de vapor de umidade muito menor que a emitida pelo substrato de concreto.

O teste TCCA determina a umidade emitida dos poucos centímetros medidos a partir da superfície, aproximadamente uma polegada, de um substrato de concreto, não

sendo um bom indicador para as condições de umidade no interior do substrato de concreto.

Portanto, o teste TCCA espelha somente o instante da emissão de vapor de umidade da parte superior do substrato de concreto e não pode prever o comportamento do piso em longo prazo. Assim como os testes qualitativos vistos anteriormente, um resultado que expresse uma alta TEVU indica somente que o piso não está pronto para ser revestido e uma baixa TEVU indica somente que o teor de umidade na parte superior do piso de concreto pode ser aceitável durante o teste; entretanto, posteriormente, o revestimento do piso de concreto pode atingir valores acima dos recomendados pelos fabricantes, conforme visto no item 2.3.3.

Armstrong (1998) recomenda que seja realizado, como complemento ao teste para medir o fluxo de umidade, o teste da placa colada, conforme item 3.1.2, antes da aplicação de qualquer tipo de revestimento.

A fim de determinar a acuidade dos resultados obtidos com os testes para medir a taxa de emissão de vapor de umidade utilizando-se a pastilha de cloreto de cálcio anidro, Suprenant; Malisch (2000) coordenaram a realização de testes em campo, por um grupo de seis laboratórios, em conformidade com o estabelecido pela ASTM F 1869-98 (1998).

Sendo a acuidade definida como a concordância entre o resultado do teste e um valor referencial aceitável, Suprenant; Malisch (2000) tomaram como referência os valores obtidos por Brewer (1965) que estudou o movimento da umidade através do concreto, em função do tempo de secagem e da relação água/cimento, o que tornou possível a comparação entre estes valores referenciais e os resultados obtidos através do teste de cloreto de cálcio anidro. Os resultados obtidos são mostrados a seguir na figura 3-11.

Embora existam pequenas diferenças entre as condições ambientes e as condições de cura dos corpos de prova empregados nos dois trabalhos, Suprenant; Malisch (2000)

concluíram que a taxa de emissão de vapor de umidade, medida através do teste da pastilha de cloreto de cálcio anidro, possui uma acuidade aceitável.

Figura 3-11: Comparativo entre medições da emissão de vapor de umidade realizadas com a pesagem de amostras de concreto, e a de pastilhas de cloreto de cálcio anidro, para um concreto com fator a/c de 0,4 (Fonte: SUPRENTANT, MALISCH, 2000).

3.2.4. Teste da umidade relativa

O teste visto no item 3.2.3, que mede a taxa de emissão de vapor de umidade (TEVU), utilizando a pastilha de cloreto de cálcio anidro, tem sido o mais empregado pelos construtores de pisos e aplicadores de revestimentos desde o início dos anos cinquenta, nos Estados Unidos, muito embora, os resultados obtidos possam ser interpretados erroneamente, uma vez que este teste não indica os níveis de umidade para maiores profundidades no substrato de concreto.

Pesquisas realizadas pela empresa americana “Construction Technology Laboratories – CTL” têm mostrado que o teste mede a umidade somente na camada de até 2,5 cm de espessura, medida a partir da superfície do concreto, e, além disso, o resultado é afetado pela umidade relativa do ambiente no momento imediatamente anterior à realização do teste. Esta constatação levou a empresa a tratar o assunto, baseando-se no enfoque dado por pesquisadores da Inglaterra, Suécia e Finlândia, onde a umidade é medida em termos da umidade relativa, em equilíbrio ou no interior do substrato de concreto, por meio da utilização de sondas posicionadas sobre a superfície do substrato ou a uma profundidade específica medida a partir daquela.

A umidade relativa interna do concreto é definida como o fator entre a quantidade de vapor de água atual nos poros do concreto, comparada com a quantidade de vapor de água necessária para a saturação do ar existente nos poros em uma determinada condição de pressão e temperatura, expressa em porcentagem.

Usualmente não é o teor de umidade que é de interesse, mas a condição de umidade do concreto. Pela medição do teor de umidade e utilizando-se a isotérmica de sorção, a umidade relativa pode ser estimada. Uma maneira mais precisa é, no entanto, medir a umidade relativa UR, diretamente no concreto.

Menzel (1955) foi o primeiro a desenvolver um aparelho destinado a medir a condição da umidade do concreto endurecido em termos da umidade relativa, baseando-se no fato de que, a umidade relativa do vapor de umidade do concreto endurecido, quando exposto às condições ambientes, tende a atingir um estado de equilíbrio com a umidade relativa do ar.

Existem vários testes que avaliam de maneiras diferentes a umidade relativa interna do concreto, podendo ser classificados através da forma como a medição é realizada no material, a saber:

- *medição da umidade relativa em amostras extraídas do concreto;*
- *medição da umidade relativa por processo não destrutivo;*
- *medição da umidade relativa em uma perfuração no concreto; e*
- *medição da umidade relativa diretamente no interior do concreto⁷.*

3.2.4.1. Medição da UR em amostras extraídas do concreto

Hedenblad (1996) descreve este método para a determinação da umidade relativa no concreto que consiste na obtenção de uma quantidade representativa de amostras do piso de concreto, através da utilização de talhadeira, colocando-as, livre do pó de concreto, em um recipiente vedado com uma tampa atravessada por uma sonda para medir a umidade relativa.

⁷ O aparelho utilizado para a medição da umidade é posicionado no interior da peça de concreto antes de sua concretagem, sendo fixado na armadura.

As amostras são retiradas em camadas de pequena espessura a diferentes profundidades e postas imediatamente em um recipiente impermeável e vedado, como ilustrado na figura 3-12. Não se deve misturar amostras retiradas de camadas diferentes, de forma a se obter um perfil da umidade relativa em função da profundidade. Pode-se avaliar a umidade relativa na profundidade determinada em função da secagem estar ocorrendo por um ou dois lados do piso de concreto.

Usualmente a umidade relativa das amostras tem sido medida em laboratório com a utilização do higrômetro, que também é utilizado nos métodos descritos na seqüência.

Figura 3-12: Amostras de concreto obtidas à diferentes profundidades para a medição da umidade relativa (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

Cabe salientar que as amostras extraídas de substrato do concreto, para a realização deste teste, além de não poderem ter a umidade relativa medida no local da execução dos serviços, ficam sujeitas às alterações na condição da umidade decorrentes do manuseio na própria extração, estocagem no recipiente de vidro e transporte até o laboratório, alterando, muitas vezes, o resultado em relação às condições locais. Este teste é indicado apenas para medições de amostras extraídas de corpos de prova em laboratório.

3.2.4.2. Medição da UR por processo não destrutivo

A medição é feita utilizando-se um recipiente impermeável que é fixado ao substrato de concreto que retém e isola o ar a partir do qual será medida a umidade

relativa, quando ocorrer o equilíbrio com a umidade relativa interna do concreto, conforme ilustra a figura 3-13.

O higrômetro ou sonda para medir a umidade relativa é deixado no interior do recipiente impermeável por pelo menos 72h, para atingir o equilíbrio, antes que a primeira leitura seja realizada. O equilíbrio é alcançado quando duas leituras consecutivas em um intervalo de 24hs divergirem de um intervalo igual ou inferior à precisão do instrumento, em geral + 3% UR. Conforme estas duas normas britânicas, os substratos estão liberados para a instalação dos revestimentos em questão, quando a umidade relativa medida for inferior a 75%. Na medida em que a umidade relativa medida é a do ar no interior do recipiente, este método de medição é influenciado pela umidade relativa ambiente, não sendo recomendado para locais em que a umidade relativa do ar seja elevada.

Figura 3-13: Equipamento MMS - Moisture Measurement System (Fonte: PROTIMETER Instruments, 2002).

Cabem a este procedimento as mesmas observações da “Construction Technology Laboratories – CTL” para o teste que mede a taxa de emissão de vapor de umidade (TEVU) utilizando a pastilha de cloreto de cálcio anidro, ou seja, mede a umidade apenas na camada superior do substrato de concreto – cerca de 2,5 cm de espessura - e é afetado pela umidade relativa do ambiente que deve ser medida no momento imediatamente anterior à realização do teste.

3.2.4.3. Medição da UR em uma perfuração no concreto

A outra maneira de medição da umidade relativa é através da colocação da sonda diretamente no interior do concreto, em perfurações realizadas no substrato.

Conforme Farny (2001), esta prática apresenta vantagens sobre outras técnicas de medição da umidade em concreto, sendo as principais relacionadas a seguir:

- *sondas para medir a umidade relativa UR do concreto podem ser colocadas em diferentes pontos, a partir da superfície do substrato, determinando-se, assim, o perfil da umidade relativa UR, em função da profundidade;*
- *atualmente, as sondas para medir UR medem a umidade relativa no interior do substrato e não são sensíveis às pequenas variações existentes entre a temperatura e a umidade relativa do ambiente e junto à superfície do piso;*
- *em toda a profundidade do substrato, a sonda para medir UR mede diretamente o diferencial da umidade relativa, que é a força que direciona o movimento do vapor de água; e*
- *as sondas para medir UR, colocadas a profundidades específicas no concreto, conforme visto no item 2.3.3, podem determinar a umidade relativa que existirá após o substrato ser revestido.*

Na Suécia e Finlândia, as medições da umidade relativa são realizadas por meio de sondas colocadas em aberturas perfuradas no substrato de concreto. Para um substrato de concreto seco apenas pelo topo da superfície, uma sonda colocada a uma profundidade equivalente a 40% de sua espessura (medida a partir da superfície do substrato) determinará a umidade relativa que eventualmente será alcançada na superfície do substrato de concreto em equilíbrio, após a instalação de um revestimento impermeável, conforme visto no item 2.3.3.

Hedenblad (1996) recomenda que as perfurações sejam realizadas sem a utilização de água e as aberturas completamente limpas antes da utilização da sonda que irá medir a umidade relativa do concreto. As medições devem ser realizadas decorrido um período de pelo menos 72 horas após a perfuração, pois o calor resultante do atrito entre a perfuradora e o concreto libera umidade do concreto para o interior da perfuração, fazendo com que a medição da umidade relativa UR resulte incorreta, caso seja feita logo após a perfuração.

Uma vez executada a perfuração, a medida da umidade relativa deverá ser realizada semanalmente para aferir o progresso da secagem do substrato de concreto.

O medidor de umidade relativa atualmente mais utilizado baseia-se no princípio capacitivo, em que a capacitância aumenta ou diminui com a elevação ou diminuição da umidade relativa de uma fina camada plástica utilizada como sensor.

As sondas para medir a umidade relativa devem ser colocadas nas aberturas perfuradas isoladas por “camisas”, de maneira que registrem apenas a umidade proveniente de sua base.

No mês de setembro de 2002, a “ASTM – American Society for Testing Materials”, publicou a norma “ASTM F 2170-02 (2002) Método para a Determinação da Umidade Relativa em Substratos de Concreto com a Utilização de Sondas *in situ*”.

A ASTM F 2170-02 (2002) descreve dois procedimentos para a execução das aberturas no concreto, onde serão colocadas as sondas para a medição da umidade relativa.

O “procedimento A”, para o concreto endurecido, em que a abertura é feita através da perfuração do substrato com o auxílio de uma furadeira. No “procedimento B” a abertura no concreto é feita com a colocação de um tubo cilíndrico na fôrma, antes da concretagem, a uma profundidade determinada na qual se deseja realizar a medição.

É recomendada pela ASTM F 2170-02 (2002) a realização de três testes para os primeiros 100 m² de substrato de concreto e pelo menos um teste adicional a cada 100 m².

São seguidas estritamente as recomendações contidas na especificação sueca HusAMA 83, quanto à profundidade da sonda em relação à espessura do substrato, condição de secagem e equilíbrio da sonda para a realização das leituras. É recomendado também que seja feita uma tabela em que conste o local do teste, a profundidade (a partir da superfície) em que foi realizada a leitura, a umidade relativa interna do concreto medida, a temperatura do concreto, a temperatura ambiente, a umidade relativa ambiente.

Gärlin e Hjort (1995) realizaram testes para avaliar o efeito do tempo de medição e o tipo de vedação da sonda sobre os valores da umidade relativa medidos em perfurações.

Estes testes mostraram que é importante que a vedação da sonda seja feita corretamente. Foram estudadas quatro diferentes situações, como visto a seguir na figura 3-14:

- I. sem vedação;*
- II. vedação colocada entre a sonda e a superfície de concreto;*
- III. vedação colocada entre a sonda e a parede lateral da perfuração; e*
- IV. vedação utilizando-se uma “camisa” feita com tubo de PVC.*

Figura 3-14: Vedações das sondas para medição da umidade (Fonte GÄRLIN e HJORT, 1995).

Na figura 3-15, é mostrado que o tipo de vedação da sonda utilizada para a medição tem uma grande influência no resultado. A situação (IV) em que toda a superfície lateral da perfuração é vedada, utilizando-se uma “camisa” de PVC, é considerada como sendo a mais próxima da realidade do que ocorre no interior do concreto.

Na situação (IV), diferentemente das demais situações, mede-se a umidade relativa decorrente apenas do fluxo de umidade através da superfície inferior da perfuração, enquanto que, nos outros casos a umidade relativa medida é influenciada pelo fluxo que ocorre pelas laterais de toda perfuração, que conforme visto no item 2.3.2, diminui do interior para a superfície do concreto. Em decorrência desta situação, nota-se na figura 3-15, que a umidade relativa medida na situação (IV) é superior às outras situações.

Figura 3-15: Umidade relativa UR, medida em função do tempo e diferentes tipos de vedação da perfuração (Fonte GÄRLIN e HJORT, 1995).

Nota-se que para todas as situações mostradas na figura 3-15 o equilíbrio dos valores da umidade relativa medidos tende a ocorrer após 72 horas da realização da perfuração do concreto.

Outro fato interessante a ser destacado é que os valores da umidade relativa, após o equilíbrio ter sido alcançado, aumentam na medida em que, para cada tipo de vedação utilizado a condição do sensor que mede a umidade relativa do substrato de concreto aproxima-se mais da ideal, ou seja, aquela que permite medir a umidade relativa na posição referente ao fundo da perfuração, que é a profundidade recomendada, conforme visto no item 2.3.3. Esta situação é obtida com o tipo de vedação mostrado na situação IV.

Dentre os medidores existentes, para a medição da umidade relativa em uma perfuração no concreto, o “kit” de medição HM 44, fabricado pela empresa finlandesa VAISALA Oyj e mostrado na figura 3-16, destaca-se por sua simplicidade, versatilidade e confiabilidade dos resultados alcançados, passando a ser utilizado por consultores, engenheiros, construtores e aplicadores de revestimentos, europeus e americanos.

Figura 3-16: Kit HM 44 para medição da umidade relativa no concreto (Fonte: VAISALA, 2002).

O kit HM 44 é composto por uma sonda HMP 44, um aparelho registrador HMI 41, “camisas” de plástico, plugs de borracha e protetores plásticos, todos acondicionados em uma valise.

Como visto no item 3.2.4, quando em equilíbrio, a umidade relativa do concreto e do ambiente em uma perfuração tornam-se iguais. Para que este equilíbrio seja atingido na perfuração, Vaisala (2002) recomenda um período de pelo menos três dias, para que a medição seja realizada.

O preparativo para a medição é mostrado na figura 3-17 e consiste na introdução da “camisa” imediatamente após a perfuração do concreto.

Figura 3-17: Colocação da “camisa” na perfuração no concreto (Fonte: VAISALA, 2002).

A seguir, como mostrado na figura 3-18, coloca-se o protetor plástico na “camisa” de forma que este deslize livremente pela “camisa”.

Figura 3-18: Colocação do protetor plástico no local de medição (Fonte: VAISALA, 2002).

O próximo passo é a colocação da sonda, vedando a “camisa” com um plug de borracha que passa pelo cabo da sonda conforme figura 3-19.

Figura 3-19: Colocação da sonda e vedação da “camisa” com um plug de borracha (Fonte: VAISALA, 2002).

Finalmente, dobra-se o cabo dentro do protetor plástico, fechando com a tampa e deixando a sonda estabilizar antes de serem iniciadas as medições, conforme mostrado na figura 3-20.

Figura 3-20: Aspecto final da instalação antes do fechamento com a tampa (Fonte: VAISALA, 2002).

Vaisala (2002) recomenda que a sonda seja deixada no interior da “camisa”, o que possibilita a leitura imediata da umidade relativa do concreto, sem que seja necessário aguardar o período de 72 horas para que ocorra o equilíbrio quando o concreto tiver atingido a umidade relativa pretendida, todo o conjunto deverá ser retirado.

3.2.4.4. *Medição da UR diretamente no interior concreto*

Um outro método também empregado para a medição da umidade relativa no interior do substrato de concreto utiliza-se de medidores que são fixados à armadura da peça antes da concretagem. Existem atualmente dois tipos destes medidores:

- *Humi-Guard;*
- *MS Sensor.*

O medidor Humi-Guard, fabricado pela empresa sueca Nordisk Industrifysik AB, também conhecido como medidor PW, ilustrado na figura 3-21, possibilita a medição da umidade relativa do concreto por meio de um sensor eletrolítico composto por um tecido de fibra trançado, onde cada fibra é constituída por um grupo de fios. O material utilizado é o polipropileno que é um material não condutor.

O sensor tem um comprimento de 15mm e um diâmetro de 3mm. No sensor são colocados, na longitudinal, dois eletrodos de prata.

Figura 3-21: Medidor Humi-Guard montado no interior de um tubo de PVC posicionado antes da execução do substrato de concreto (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

O sensor pode absorver ou emitir umidade do ar a seu redor no ponto de medição. A condutividade do tecido, medida entre os dois eletrodos de prata do sensor varia com o teor de umidade e é convertida em umidade relativa no ponto da medição.

O medidor Humi-Guard dispõe de acessórios que permitem a sua colocação no ponto de medição, antes ou depois da execução do substrato de concreto, bem como, tabelas e programas de computador que permitem a conversão das leituras em umidade relativa.

O medidor MS Sensor, também conhecido como sensor Sahléns, mostrado na figura 3-22, é colocado no local onde será feita a medição da umidade, antes da concretagem, sendo fixado à ferragem através de uma barra de fixação e permanecendo embutido na peça de concreto em que é realizada a medição da umidade.

Possui um sensor que é um pequeno pedaço de madeira que absorve ou emite umidade, de maneira que a resistência do sensor é alterada pela variação da umidade na madeira. O sensor é protegido por um filtro que permite apenas a passagem da umidade na forma de vapor.

Figura 3-22: Medidor MS Sensor no interior de um substrato de concreto (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

A principal vantagem destes dois tipos é que a medição da umidade relativa do concreto pode ser realizada a qualquer momento, uma vez que, não há a necessidade de que seja estabelecida a condição de equilíbrio entre o sensor e o concreto.

3.3. Vantagens e desvantagens dos métodos de avaliação da umidade da laje de concreto

A condição de umidade medida, através dos métodos quantitativos apresentados anteriormente, poderá ser expressa através do “teor de umidade”, “fluxo de vapor de umidade” e “umidade relativa interna”.

Os resultados obtidos na medição do teor de umidade do concreto, através de métodos que medem indiretamente a umidade, devem ser considerados apenas como indicativos para determinar a condição relativa de umidade em vários pontos do substrato, uma vez que, as medições são influenciadas pela composição do concreto e indicam apenas o teor de umidade na camada situada a uma profundidade de até 50 mm, medida a partir da superfície da laje, respectivamente nos testes da resistência e impedância elétrica.

Cabe aqui o comentário de que no Brasil, os poucos fabricantes de materiais que fazem menção à condição aceitável de umidade do concreto para a aplicação de revestimentos, utilizam-se de métodos que avaliam o teor de umidade.

A condição de umidade expressa através do fluxo de vapor de umidade, é obtida através do teste do cloreto de cálcio anidro – TCCA, apresentando como principais vantagens: o baixo custo para a realização do teste e a aceitação dos resultados obtidos pela maioria dos fabricantes americanos de revestimentos, adesivos e resinas e tidos como referência para a permitir a aplicação do revestimento.

Os resultados obtidos através do TCCA são influenciados pela temperatura e umidade relativa ambiente, uma vez que o fluxo de umidade é direcionado pelo gradiente de teor de umidade do concreto, que por sua vez determinam a pressão de vapor nos poros do concreto cuja diferença em relação à pressão de vapor do ar sobre a laje determinará a taxa de transmissão de umidade.

Um outro ponto desfavorável do TCCA é que o fluxo de umidade medido refere-se às camadas superiores do substrato de concreto, podendo vir a acarretar problemas devido à redistribuição da umidade na laje, que faz com que a condição de umidade esteja acima da recomendável para a aplicação de um revestimento impermeável, principalmente em substratos de elevada espessura.

O teste da umidade relativa apresenta como vantagens, a possibilidade de medição da umidade em pontos do concreto situados a qualquer profundidade a partir da superfície e a menor influência das condições ambientes sobre os valores medidos da umidade relativa interna do concreto.

No entanto, apenas um número reduzido de fabricantes, americanos e europeus, de revestimentos, adesivos e resinas faz recomendações ou estabelece diretrizes para a instalação de seus produtos baseando-se nos resultados deste teste. O alto custo dos equipamentos adequados para a realização dos testes também é um aspecto que ainda dificulta sua utilização. Nenhum fabricante de revestimento no Brasil faz menção a este teste.

A seguir é apresentado, através da tabela 3-1, um resumo dos principais testes para a medição da umidade no concreto, bem como, as vantagens e desvantagens de cada um destes testes são mostradas na tabela 3-2 e os preços dos equipamentos para a realização das medições na tabela 3-3.

Tabela 3-1: Resumo dos principais testes para medição da umidade no concreto.

Teste	Tipo	Duração	Descrição	Avaliação	Liberação	Instrumental
Manta plástica	Qualitativo	16 ou 24h	Cobrir o local de medição com uma manta plástica (46x46cm), fixa nas extremidades com fita adesiva.	Visual	Após constatação de que não haja umidade condensada sob a manta ou a superfície do concreto não esteja escurecida.
Placa colada	Qualitativo	72h	Aplica-se 1 m² de revestimento seguindo-se as recomendações do fabricante.	Visual e esforço físico	Se a colagem estiver fraca e o adesivo úmido ou pegajoso o revestimento não deve ser aplicado
Resistência elétrica	Quantitativo	Imediato	Mede a condutividade elétrica entre dois eletrodos colocados na superfície do concreto ou em perfurações executadas com 25mm de profundidade.	O teor de umidade que é o peso da água em relação ao do concreto, expresso em porcentagem, varia com a condutividade elétrica, sendo a conversão dos valores indicada pelo fabricante do medidor.	De acordo com a indicação do fabricante do revestimento, normalmente inferior a 10%.
Impedância elétrica	Quantitativo	Imediato	Mede a impedância de um sinal elétrico de baixa frequência emitido entre dois eletrodos no medidor colocado sobre a superfície do concreto.	O teor de umidade do concreto varia inversamente proporcional à impedância elétrica, sendo a conversão dos valores indicada pelo fabricante.	De acordo com a indicação do fabricante do revestimento, normalmente inferior a 10%.
Cloreto de cálcio anidro (TCCA)	Quantitativo	72h	Coloca-se uma pastilha de cloreto de cálcio anidro sobre a superfície de concreto e medindo-se o ganho de peso após 72h.	Calcula-se a taxa de emissão de vapor de umidade que expressa o volume de umidade emitido através da superfície do concreto durante o teste, conforme indicação do fabricante do kit de teste.	De acordo com a indicação do fabricante do revestimento, variando entre 3 e 5lbs/1000 pés quadrados.24h ou 170 e 280 µg / s.m².
Umidade relativa	Quantitativo	Imediato	Executam-se perfurações no concreto, com antecedência de 72h, em que serão realizadas as medições com uso de higrômetro na profundidade de 0,2 ou 0,4 da espessura do substrato.	A umidade relativa interna do concreto, que é a quantidade de vapor de água no ar no instante da medição em relação à de saturação do ar, expressa em porcentagem.	De acordo com a indicação do fabricante do revestimento, ou estabelecido em norma. Variando de 75% a 90%.

Tabela 3-2: Tabela comparativa entre testes de avaliação da condição da umidade do concreto.

Teste	Vantagem	Desvantagem
Manta plástica	▪ Baixo custo	▪ Teste qualitativo
Placa colada	▪ Baixo custo	▪ Teste qualitativo
Resistência elétrica	▪ Rapidez	▪ Resultado é influenciado pela composição do concreto; ▪ Resultados devem ser considerados como relativos.
Impedância elétrica	▪ Rapidez	▪ A umidade é medida à profundidade de até 50mm a partir da superfície do concreto
Cloreto de cálcio anidro	▪ Baixo Custo; ▪ Resultados reconhecidos por fabricantes e aplicadores de revestimentos.	▪ Resultados influenciados pela temperatura e umidade relativa ambiente; ▪ Resultado expressa o fluxo de umidade junto à superfície do concreto. ▪ Resultados obtidos após 72 horas.
Umidade relativa	▪ Resultados pouco influenciados pelas condições ambientes; ▪ A umidade pode ser medida em qualquer ponto do concreto a partir da superfície do substrato.	▪ Resultados reconhecidos por um pequeno número de fabricantes e aplicadores; ▪ Alto custo do equipamento de medição. ▪ Medições realizadas após um período de 72 horas

Tabela 3-3: Tabela de preços dos equipamentos para medição da condição da umidade do concreto

Teste	Custo do equipamento (US\$)	Modelo	Fornecedor
Resistência elétrica	385,00	UNI 2	GANN
Impedância elétrica	369,00	Concrete Moisture Meter	TRAMEX
Cloreto de cálcio anidro	129,12	Kit (12 un)	VAPORTEST
Umidade relativa	884,00	HM 44	VAISALA

4. CONDIÇÕES ACEITÁVEIS DE UMIDADE DO SUBSTRATO, PARA A APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS

No capítulo 3 foram apresentados os tipos de testes mais utilizados para a medição da condição da umidade do concreto, destacando-se as vantagens e desvantagens de cada um deles, os procedimentos a serem seguidos para a realização adequada das medições, a evolução da metodologia de medição da umidade em conformidade com os processos de hidratação e secagem do concreto e fatores que os influenciam, tais como: composição do concreto, tempo de cura, temperatura e umidade relativa ambiente.

Tendo em vista os dispositivos de avaliação existentes, foi visto que a condição de umidade de uma laje de concreto pode ser avaliada através de testes qualitativos ou quantitativos, podendo, neste caso, ser expressa na forma de “teor de umidade”, “umidade relativa” ou “taxa de emissão de vapor”.

Viu-se no item 2.1 que a secagem do concreto é um processo lento e, por consequência, apenas parte da água de produção é eliminada antes da aplicação do revestimento, sendo que a quantidade de água remanescente não deverá provocar nenhum dano ao revestimento, quando utilizados materiais sensíveis à umidade.

Portanto, deve ser estabelecida, em conformidade com o tipo de teste utilizado, qual a condição de umidade do concreto adequada para a aplicação do revestimento, em função do tipo de material utilizado, definida como condição ideal de umidade.

Os níveis ideais de umidade de todos os tipos de materiais utilizados para revestimento de substratos de concreto não são conhecidos, sendo a princípio uma atribuição do fabricante.

4.1. Níveis ideais de umidade

Farny (2001) sugere que sejam seguidas as recomendações do fabricante do revestimento em relação à condição de umidade do substrato de concreto, de maneira que o procedimento adotado para a medição expresse um resultado que permita a

comparação entre o valor medido e aquele indicado como adequado para aplicação do revestimento.

Esta sugestão só terá sentido se houver um consenso entre fabricantes, empreiteiros, aplicadores e organizações normalizadoras, em relação aos testes e procedimentos para a medição da umidade do concreto, bem como, valores tidos como aceitáveis para a aplicação do revestimento.

Como exemplo, tem-se a posição do RFCI – “Resilient Floor Covering Institute” que considera aceitáveis os valores medidos através do teste do cloreto de cálcio anidro normalizado através da ASTM F 1869-98 (Método para Medição da Taxa de Emissão de Vapor do Substrato de Concreto Utilizando Cloreto de Cálcio Anidro)

A ASTM E 1907 – 97 – “Práticas padrão para determinar a umidade aceitável nos substratos de concreto para receber revestimentos sensíveis à umidade”, cita alguns limites considerados típicos para revestimentos sensíveis à umidade:

- *o teor de umidade deve estar entre 2,5 e 4,5%, sendo que os fabricantes de sistemas de revestimentos ou pinturas normalmente recomendam teores de umidade inferiores a 10%;*
- *umidade relativa interna do concreto inferior a 75%; e*
- *taxa de emissão de vapor de umidade, medida com a utilização do teste da pastilha do cloreto de cálcio anidro, de 3 a 5 lbs/1000 pés quadrados.24h ou 170 a 280 ($\mu\text{g/s.m}^2$).*

A ASTM F 710 – 98 – “Normas para a preparação de Substratos de Concreto para a Aplicação de Revestimentos Resilientes” também recomenda a taxa de emissão de vapor entre 3 e 5 lbs/1000 pés quadrados.24h ou 170 a 280 $\mu\text{g} / \text{s.m}^2$.

As normas britânicas “BS 5325:2001 – Instalação de Revestimentos Têxteis” e “BS 8203:2001 – Instalação de Revestimentos Resilientes” recomendam que umidade relativa interna do concreto seja inferior a 75%.

A norma sueca “HusAMA 83 – Especificações de Materiais e Mão-de-Obra para Edificações” recomenda a umidade relativa interna do concreto para revestimentos resilientes entre 85 e 90%.

A norma brasileira NBR – 14050 – “Sistemas de Revestimentos de Alto Desempenho, a Base de Resinas Epoxídicas e Agregados Minerais – Projeto, Execução e Avaliação do Desempenho – Procedimento”, no item 8.2.c – “Elaboração do projeto”, e no item 8.3.1 – “Requisitos para os substratos de concreto”, recomenda que seja especificado o teor de umidade do concreto da laje ou do pavimento em função do revestimento de alto desempenho – RAD a ser aplicado e do método de medição ou equipamento utilizado. No item 9.4 – “Procedimentos para aplicação”, a NBR – 14050 recomenda, para os cinco tipos de revestimento de alto desempenho - RAD, que a umidade superficial, antes da aplicação do revestimento do substrato, deve estar dentro da faixa especificada em projeto.

Nota-se, pelo exposto nos itens 8.2c e 9.4, que a norma brasileira NBR - 14050 isenta-se em recomendar, a exemplo das normas americana, britânica e sueca, o nível ideal que deve ser atingido para o início da aplicação do revestimento, deixando esta especificação a cargo do projetista. Alguns fabricantes nacionais de revestimentos sensíveis à umidade recomendam que o teor medido de umidade do substrato de concreto esteja entre 5% e 8%, não especificando, porém as condições em que devem ser realizadas as medições.

Preocupado com este assunto, o IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, através do Comitê Técnico – CT 501 que estuda as especificações, controle e emprego de revestimentos de alto desempenho – RAD, vem pesquisando e discutindo o tema, objetivando definir parâmetros adequados à realidade brasileira para o nível ideal de umidade.

Na tabela 4-1 são resumidos os níveis ideais de umidade recomendados por diversas organizações normalizadoras internacionais, em função do método de medição utilizado, onde pode-se notar a predominância do teste da umidade relativa na medição da umidade do concreto e a variação existente entre os valores

recomendados pelas normas americanas e britânicas e a recomendação das normas suecas, demonstrando a necessidade de adequação dos valores às condições locais.

Tabela 4-1: Níveis ideais de umidade recomendados em função do método de medição utilizado.

NORMA	ORIGEM	NÍVEIS IDEAIS DE UMIDADE		
		TEOR DE UMIDADE (%)	UMIDADE RELATIVA (%)	TEVU lbs/1000 pés quadrados.24h($\mu\text{g/s.m}^2$)
ASTM E 1907-97	Estados Unidos	2,5 a 4,5	75	3 a 5 ou 170 a 280
ASTM F 710-98	Estados Unidos	-	-	3 a 5 ou 170 a 280
BS 5325:2001	Inglaterra	-	75	-
BS 8203:2001	Inglaterra	-	75	-
HusAMA 83	Suécia	-	85 a 90	-
NBR-14050	Brasil	Não especifica		

Baseando-se nos valores estabelecidos como aceitáveis para a condição da umidade, foram realizadas pesquisas, para determinar o período de secagem adequado do concreto para a aplicação de revestimentos sensíveis à umidade, através de medições do fluxo de umidade e da umidade relativa interna do concreto, cujos resultados serão vistos na sequência.

4.2. Tempo de secagem

4.2.1. Tempo de secagem em função do fluxo de umidade através da superfície do concreto

Brewer (1965) estudou o movimento da umidade através do concreto, para compreender o fluxo de umidade através de substratos de construções residenciais.

Os dados originais da pesquisa de Brewer (1965), relativos ao fluxo de umidade, foram expressos em “quantidade de umidade por pés quadrados por hora”, sendo que nos Estados Unidos os valores do fluxo são expressos em lbs/1000 pés quadrados.24h ou $\mu\text{g/s.m}^2$ (ASTM E 1907-97, 1997).

A figura 4-1 expressa o resultado do trabalho de Brewer (1965) e mostra a variação da taxa de emissão de vapor de umidade em amostras de concreto com espessura de 4” e relação água/cimento variando de 0,4 a 1,0, secas a uma umidade relativa do ar de 50% e 21 °C de temperatura, em função do tempo de secagem, medido em amostras de concreto após um período de cura de sete dias.

Nota-se que todas as curvas apresentam a mesma tendência, ou seja, uma alta taxa inicial de emissão de vapor, que diminui substancialmente para valores abaixo de 10 lbs/1000 pés quadrados.24h ou $560\mu\text{g/s.m}^2$ e o tempo para que seja atingida a taxa de emissão de vapor dentro dos limites aceitáveis para a aplicação dos revestimentos sensíveis à umidade vistos no item 4.1 é superior a 60 dias à exceção da amostra de concreto com relação água/cimento igual a 0,4 que atingiu este valor em cerca de 28 dias.

Figura 4-1: Comportamento do fluxo de umidade com o tempo e em função do fator a/c (Fonte: BREWER, 1965).

Pela tabela 4-2, a relação água/cimento tem efeito significativo sobre o tempo de secagem necessário para que a taxa de emissão de vapor atinja o valor de 3 lbs/1000 pés quadrados.24h ou $170\mu\text{g/s.m}^2$. Variando a relação água/cimento de 0,4 para 0,5 ocorre um acréscimo de cerca de 78% no tempo de secagem e de 0,5 para 0,6 um aumento de 43%. Acima de 0,6 os acréscimos são da ordem de 13%.

Brewer (1965) também realizou testes com amostras de concreto com a base exposta ao vapor de água e em contato com a água. Para o concreto com relação água/cimento de 0,4, estas condições de exposição não alteraram significativamente os tempos de secagem para atingir a taxa de emissão de vapor determinada. No

entanto, para fatores água/cimento elevados, a alteração foi notável. Para uma amostra com relação água/cimento de 0,5 e a base exposta ao vapor de água, o tempo de secagem sofreu um acréscimo de dois meses em relação à amostra com a base selada e para a amostra com a base em contato com a água este aumento foi de praticamente quatro meses.

Para relação água/cimento acima de 0,7, as amostras, com as bases expostas ao vapor de água e em contato com a água, não atingiram a taxa de emissão de vapor de 3 lbs/1000 pés quadrados.24h ou $170 \mu\text{g/s.m}^2$ após um ano de observação. O mesmo acontecendo para as amostras de concreto com o fundo em contato direto com a água incluindo-se para esta situação a relação água/cimento igual a 0,6.

Tabela 4-2: Tempo de secagem, em dias, para atingir a taxa de emissão de vapor de 3 lbs/1000 pés quadrados.24h ($170 \mu\text{g/s.m}^2$) (Fonte: BREWER, 1965).

TEMPO DE SECAGEM, EM DIAS, PARA ATINGIR A TAXA DE EMISSÃO DE VAPOR DE 3 lbs/1000 pés quadrados.24h ($170 \mu\text{g/s.m}^2$)			
FATOR Á/C	CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO DO FUNDO DA AMOSTRA DE CONCRETO		
	SELADA	VAPOR DE ÁGUA	ÁGUA
0,4	46	52	54
0,5	82	144	199
0,6	117	365	NÃO ATINGIU A TAXA
0,7	130	NÃO ATINGIU A TAXA	NÃO ATINGIU A TAXA
0,8	148	NÃO ATINGIU A TAXA	NÃO ATINGIU A TAXA
0,9	166	NÃO ATINGIU A TAXA	NÃO ATINGIU A TAXA
1,0	190	NÃO ATINGIU A TAXA	NÃO ATINGIU A TAXA

4.2.2. Tempo de secagem em função da umidade relativa interna do concreto

A Divisão de Materiais de Construção do Instituto de Tecnologia Lund, na Suécia, realizou medições do tempo de secagem para que sejam alcançadas as umidades relativas de 85% e 90% em amostras de concreto com 180mm de espessura e relação água/cimento de 0,4 – 0,5 – 0,6 e 0,7, secas por ambos os lados, a uma temperatura de 18° C e umidade relativa ambiente de 60%. As medições foram realizadas a uma “profundidade equivalente” a 20% da espessura das amostras de concreto, ou seja, 36mm.

Os tempos de secagem obtidos para atingir as umidades relativas de 85% e 90%, são mostrados na tabela 4-3.

Tabela 4-3: Tempos de secagem do concreto (dias) (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

UMIDADE RELATIVA DO CONCRETO (%)	RELAÇÃO ÁGUA / CIMENTO			
	0,4	0,5	0,6	0,7
85	50	90	135	180
90	20	45	65	95

Nota-se pela tabela 4-3 que o tempo necessário para que seja alcançada a umidade relativa de 85% é praticamente o dobro do necessário para que seja alcançada a umidade relativa de 90%.

Baseados em trabalhos experimentais, pesquisadores da Divisão de Materiais de Construção do Instituto Lund de Tecnologia da Suécia desenvolveram um método que permite estimar o tempo de secagem, iniciado após o período de cura, para o concreto com cimento Portland comum, utilizando-se como referência os tempos de secagem do concreto indicados na tabela 4-3. Sobre estes valores devem ser aplicados fatores de correção, conforme a condição do concreto para a qual deseja-se estimar o tempo de secagem.

Este procedimento, conhecido como método sueco, ajuda a estimar o tempo necessário para que seja atingido o nível de umidade adequado do concreto, aumentando as chances para que a instalação do revestimento do substrato seja bem sucedida.

Inicialmente há duas variáveis que devem ser conhecidas: relação água/cimento do concreto e a umidade relativa a ser atingida. A umidade relativa a ser atingida no interior do concreto é normalmente baseada no tipo de material e adesivo utilizado para o revestimento, sendo que revestimentos mais sensíveis à umidade necessitam de uma umidade relativa do concreto mais baixa. Devem ser consultados os fabricantes dos revestimentos para saber a umidade relativa apropriada para a aplicação dos produtos.

Através da relação água/cimento e da umidade relativa a ser alcançada, 85 ou 90%, estima-se, através da tabela 4-3, o número de dias necessários para a secagem do

concreto. Sobre estes valores devem ser aplicados fatores de correção, apresentados a seguir, que consideram: a espessura do substrato de concreto, tipo de secagem, condições ambientes e o método de cura utilizado.

4.2.2.1. *Espessura das peças*

Na medida em que as peças de concreto tornam-se mais espessas, o tempo de secagem necessário aumenta. A relação água/cimento tem um efeito muito menor sobre o tempo de secagem, quando comparada ao aumento da espessura do substrato de concreto; porém, altos valores para a relação água/cimento normalmente conduzem a um pequeno aumento no tempo de secagem, conforme mostrado pelos fatores de correção da tabela 4-4.

Tabela 4-4: Fatores de correção devido à espessura da peça de concreto (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

ESPESSURA (mm)	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO			
	0,4	0,5	0,6	0,7
100	0,4	0,4	0,4	0,4
150	0,8	0,8	0,8	0,7
180	1,0	1,0	1,0	1,0
200	1,1	1,1	1,1	1,2
250	1,3	1,4	1,5	1,8

4.2.2.2. *Tipo de secagem*

A secagem pode ocorrer por um ou dois lados da peça de concreto: quando a secagem ocorre pelos dois lados da peça de concreto, ela é mais rápida, de acordo com a tabela 4-5. As paredes de concreto são típicas peças de concreto que secam pelos dois lados, já as lajes podem secar por um lado quando executadas diretamente sobre o solo, barreira de vapor ou fôrmas metálicas e por dois lados no caso de estarem suspensas, como em edificações de vários pavimentos.

Tabela 4-5: Fatores de correção devido ao tipo de secagem (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

SECA POR:	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO			
	0,4	0,5	0,6	0,7
UM LADO	2,0	2,3	2,6	3,2
DOIS LADOS	1,0	1,0	1,0	1,0

4.2.2.3. *Condições de secagem*

As condições de secagem são uma combinação da umidade relativa do ambiente e temperatura do ar. Os fatores de correção para as condições de secagem são

mostrados na tabela 4-6. Em presença de ar quente e seco a secagem do concreto ocorre de maneira mais rápida do que em presença de ar frio e úmido. Em geral, o efeito da temperatura do ar é mais pronunciado do que o nível de umidade no ar, porque o ar mais frio não permite a secagem do concreto tão bem quanto o ar quente, independentemente do grau de umidade relativa do ar.

Tabela 4-6: Fatores de correção devido às condições climáticas (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	TEMPERATURA DO AR ° C			
	10	18	25	30
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

4.2.2.4. Tipo de cura

Concretos a serem revestidos secam mais rapidamente se expostos apenas ao ar úmido (acima de quatro semanas) ou se curados por um curto período de tempo (um dia em ar úmido). A cura úmida, simulando um período entre duas a quatro semanas de chuva, aumentou o período de secagem no caso das três relações água / cimento testados, conforme mostrado na tabela 4-7.

Tabela 4-7: Fatores de correção para os tipos de cura (Fonte: HEDENBLAD, 1996).

CONDIÇÕES DE CURA	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO					
	0,5		0,6		0,7	
SECAGEM DO CONCRETO PARA UMIDADE RELATIVA DE:	85%	90%	85%	90%	85%	90%
PERÍODO DE CURA CURTO	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,7
DUAS SEMANAS COM CHUVA E DUAS SEMANAS COM UMIDADE	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
QUATRO SEMANAS COM UMIDADE	1,0	0,5	1,0	0,7	1,0	0,8
QUATRO SEMANAS COM CHUVA	1,4	1,0	1,4	1,3	1,4	1,3

4.2.2.5. Estimando o tempo de secagem

O exemplo a seguir demonstra a facilidade na utilização do método sueco, sendo as condições do substrato de concreto e a umidade relativa do concreto que deverá ser atingida para a aplicação do revestimento dadas a seguir:

- *relação água/cimento: 0,6;*
- *espessura da peça: 100mm;*
- *aplicação: sobre uma barreira de vapor (base impermeável);*

- *umidade relativa a ser atingida antes de revestir o substrato: 85%*
- *cura: 4 semanas em ar úmido; e*
- *condições climáticas: umidade relativa do ar igual a 70% e temperatura ambiente de 25 °C.*

Inicialmente, utilizando-se a relação água/cimento de 0,6 e a umidade relativa a ser atingida pelo concreto de 85%, calcula-se, pela tabela 4-3, o tempo de secagem de 135 dias, sobre este tempo de secagem calculado, de 135 dias, aplicam-se os fatores de correção, retirados das tabelas anteriormente apresentadas:

Da tabela 4-4, obtém-se o fator de correção igual a 0,4, devido à espessura de 100 mm do substrato e a relação água/cimento do concreto igual a 0,6;

Da tabela 4-5, obtém-se o fator de correção de 2,6 decorrente do substrato ser seco por apenas um lado e relação água/cimento do concreto igual a 0,6;

Da tabela 4-6, obtém-se o fator de correção de 0,8, considerando-se a temperatura ambiente de 25° C e umidade relativa do ambiente de 70%;

Da tabela 4-7, o fator de correção é igual a 1,0 devido ao tipo de cura utilizada, úmida por 4 semanas, a relação água/cimento igual a 0,6 e a umidade relativa do concreto de 85% a ser atingida para início do revestimento. Portanto, o tempo estimado necessário para a secagem do substrato é:

$$135 \times 0,4 \times 2,6 \times 0,8 \times 1,0 = 112 \text{ dias ou cerca de } 16 \text{ semanas}$$

4.2.3. Tempos de secagem recomendados

Segundo a ASTM E 1907-97, o tempo de secagem necessário para que o substrato atinja um nível de umidade satisfatório, de forma que o revestimento não seja prejudicado, varia de seis semanas a seis meses, em função da composição do concreto, tempo de cura e condições ambientes em que ocorre a secagem.

O CRI – “Carpet and Rug Institute” recomenda um período de 90 a 120 dias para que o substrato de concreto atinja um nível de umidade satisfatório para a aplicação de revestimentos têxteis e de borracha.

O RFCI – “Resilient Floor Covering Institute” estabelece que o substrato de concreto seja curado e seco por um período mínimo de 6 semanas, antes da aplicação de qualquer tipo de revestimento resiliente.

A PCA – “Portland Cement Association” salienta que o período de secagem varia em função das condições ambientes, tipo de concreto, espessura e localização do substrato de concreto, podendo ser necessários alguns meses de secagem para que seja atingido o nível de umidade satisfatório, sendo o mínimo de 60 dias.

A WFCA – “World Floor Covering Association” faz restrição ao prazo de secagem de 28 dias, recomendado por alguns fabricantes para a aplicação do revestimento, uma vez que, este prazo é função de um grande número de variáveis, conforme visto anteriormente.

A norma brasileira NBR 14050 (1998) não faz referência ao assunto. No Brasil o revestimento é aplicado em função do cronograma da obra, não sendo estabelecido um período mínimo de secagem do concreto, sendo usual constar, nos contratos de execução de serviços, uma cláusula eximindo o aplicador e o fabricante do material utilizado para revestimento, da responsabilidade por problemas causados ao revestimento, decorrentes da umidade do substrato.

Um resumo dos tempos de secagem recomendados é apresentado na tabela 4-8 notando-se, pela grande variação existente nos tempos indicados, a importância da realização da medição da umidade do concreto, devendo estas recomendações serem consideradas para efeito da elaboração do cronograma de obra.

Tabela 4-8: Tempos de secagem recomendados.

REFERÊNCIA	RECOMENDAÇÃO
ASTM E 1907-97	Seis semanas a seis meses
CRI - Carpet and Rug Institute	90 a 120 dias
RFCI – Resilient Floor Covering Institute	Mínimo 6 semanas
PCA – Portland Cement Association	Mínimo de 60 dias
NBR – 14050	Não especifica

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Quanto ao objetivo proposto

O objetivo deste trabalho foi a definição de recomendações para a avaliação da condição de umidade do substrato de concreto, aceitável para a aplicação de revestimentos de substratos sensíveis à umidade.

Para este objetivo ser atingido foram considerados objetivos específicos deste trabalho: o comportamento da umidade no substrato de concreto, os fatores que a influenciam, os métodos de medição da condição da umidade do concreto e os valores, tidos como parâmetros internacionais, adequados para a aplicação do revestimento para a condição de umidade.

O estudo permitiu entender e diferenciar os mecanismos da hidratação do cimento e da secagem do concreto e de que maneira a condição de umidade é influenciada pela composição do concreto, tempo de cura, umidade relativa e temperatura ambiente.

Um aspecto relevante foi apresentado em relação à maneira como a umidade distribui-se no interior do concreto, determinante na metodologia da medição da umidade através do teste da umidade relativa interna do concreto.

Desta maneira, foi possível a compreensão da metodologia adotada em cada tipo de teste apresentado para a medição da condição da umidade do concreto e concluiu-se que aqueles que melhor refletem o comportamento da umidade são os testes do cloreto de cálcio e o da umidade relativa interna do concreto, tendo este último predominado na Europa e sendo cada vez mais aceito nos Estados Unidos, em função, principalmente, de ser o menos afetado pelas condições ambientes e possibilitar a medição em vários pontos do concreto.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi atingido, uma vez que as informações obtidas, em cada uma das etapas estudadas, permitiram a elaboração das recomendações necessárias para a avaliação da condição de umidade do substrato, as quais estão sintetizadas como uma proposta da autora, mostradas adiante no item 5.3.

5.2. Quanto à metodologia adotada

Este trabalho baseou-se em uma primeira etapa constituída por uma revisão bibliográfica sobre o tema, que não se limitou a trabalhos e livros publicados, mas também em contato, via correio eletrônico, com os pesquisadores dos principais centros de estudos de umidade no concreto, na Suécia e Finlândia.

A maior dificuldade encontrada nesta etapa da pesquisa foi a inexistência, no Brasil, de estudos relacionados ao tema, muito embora, haja uma grande preocupação sobre o assunto, manifestada por fabricantes de materiais para revestimento e profissionais do setor nas visitas realizadas. Tal situação fez com que todo o trabalho fosse baseado em estudos e pesquisas americanos e europeus.

Em contrapartida, ficou claro o consenso existente entre pesquisadores, projetistas, contratantes, construtores, empreiteiros, fabricantes de materiais e aplicadores do revestimento, europeus e americanos, acerca da importância da determinação da condição de umidade do concreto, da definição dos fatores que a influenciam, dos testes para a medição e, principalmente, dos valores tidos como aceitáveis para a aplicação de revestimentos sensíveis à umidade.

A importância e complexidade da condição da umidade do concreto levaram à publicação em 25/10/2001, nos Estados Unidos, de um documento subscrito pelas principais entidades representativas dos fabricantes e aplicadores de materiais de revestimentos para substratos, no qual recomenda-se que os testes para medir o nível de umidade do substrato sejam realizados por empresas independentes e qualificadas, tendo-se em vista os diversos fatores que afetam a secagem do concreto.

Acerca da abordagem utilizada, ressalta-se que se procurou dar um enfoque global aos fatores que afetam o comportamento da umidade do concreto, de forma a contribuir para a discussão, por exemplo, de que se por um lado a diminuição da relação água/cimento reduz a quantidade de água a ser removida, por outro, diminui a trabalhabilidade do concreto e afeta outras propriedades mecânicas que também devem ser consideradas.

O mesmo ocorre com a redução do tempo de cura que, se por um lado, facilita a secagem, pois, permite uma maior capacidade de transporte de umidade do concreto, através do sistema de poros capilares, devido a diminuição da hidratação do cimento que tem como consequência o não preenchimento dos vazios capilares pelos produtos da hidratação, por outro, prejudica o aumento da resistência do concreto, aumenta a retração plástica e reduz a resistência à abrasão.

Foi possível, através da pesquisa realizada, realizar uma comparação entre as vantagens e desvantagens de cada teste utilizado para a medição da umidade, estabelecendo-se as condições ideais e as limitações para a aplicação de cada um deles.

A segunda etapa constituída por visitas a fabricantes de revestimentos, obras, edificações existentes e participação nas reuniões do Comitê Técnico 501-RAD do IBRACON, em que foi constatada a necessidade de um estudo sobre o assunto, pois se pode observar a inexistência de uma metodologia adequada para a medição da condição de umidade, prevalecendo, portanto, o empirismo para a avaliação da condição do substrato de concreto para a liberação da execução do revestimento, acarretando com isto que estes, na maioria das vezes, sejam executados apenas em função do cumprimento do prazo estipulado em cronograma.

Nos casos em que as medições da condição de umidade são realizadas, constatou-se que estas não seguem uma padronização, quanto à metodologia utilizada e valores considerados adequados para a liberação dos serviços de revestimento, sendo adotados aqueles recomendados pelos fabricantes dos revestimentos que, na maioria das vezes, por se tratarem de empresas estrangeiras, adotam as mesmas recomendações do país de origem, nem sempre adequadas às condições brasileiras.

Pode-se, no entanto, constatar um grande interesse existente pelo tema, a ponto desta autora ser convidada a participar do Conselho Consultivo da revista “Pisos Industriais”, publicação voltada a apoiar e divulgar novas tecnologias para o avanço do mercado de pisos industriais no Brasil.

5.3. Quanto às recomendações para a avaliação da condição da umidade do substrato

Conclui-se por este trabalho que, para a aplicação de revestimentos sensíveis à umidade, deverá ser permitida a secagem do concreto de maneira a serem atingidos os níveis de umidade compatíveis com os materiais utilizados.

Para que o tempo de secagem não seja demasiadamente longo, a ponto de comprometer o cronograma da obra, as seguintes recomendações deverão ser seguidas, tanto pelo projetista como pelos executores do piso de concreto e aplicadores do revestimento, a fim de facilitar a secagem do concreto:

- *utilização de concreto com baixa relação água/cimento;*
- *tempo de cura de sete dias;*
- *não umedecer o substrato antes da aplicação do revestimento;*
- *diminuir a umidade relativa ambiente: e*
- *aumentar a temperatura ambiente.*

A fim de que os valores obtidos com a medição da umidade do concreto sejam confiáveis, os testes deverão ocorrer dentro das seguintes condições:

- *a temperatura e umidade relativa ambiente devem ser o mais próximo possível daquelas que ocorrerão quando da utilização da edificação;*
- *as medições não deverão ocorrer antes da execução da cobertura e fechamento da edificação; e*
- *quando as medições forem realizadas utilizando-se aparelhos ou dispositivos colocados sobre a superfície do substrato de concreto é recomendável que seja realizado o teste da manta plástica, conforme item 3.1.1 e, posteriormente, sejam repetidas nestes locais as medições da umidade.*

Os valores propostos neste trabalho para a condição de umidade do substrato de concreto, em conformidade com o teste utilizado, para a aplicação de revestimentos suscetíveis à presença de água são:

- *teor de umidade inferior a 4,5%;*
- *umidade relativa interna do concreto inferior a 75%; e*

- *taxa de emissão de vapor de umidade, medida com a utilização do teste da pastilha do cloreto de cálcio anidro, de 3 a 5 lbs/1000 pés quadrados.24h ou 170 a 280 ($\mu\text{g/s.m}^2$).*

Embora no Brasil ainda não exista uma normalização em relação à metodologia para a medição da umidade de lajes de concreto em substratos e nem ao menos valores, em função do tipo de teste utilizado, que possam servir de parâmetro para definir a condição aceitável de umidade do concreto, para a aplicação de revestimentos sensíveis à umidade, alguns procedimentos podem ser adotados, de forma a minimizar os problemas causados pelo excesso de umidade do concreto:

- *utilização de testes qualitativos, conforme itens 3.1.1 e 3.1.2 ; e*
- *estimativa do tempo de secagem, através do “método sueco”, mostrado no item 4.2.2.*

Para facilitar a análise, no caso de uma eventual falha após a execução do revestimento, recomenda-se que seja elaborado um cadastro contendo as principais informações quando da execução do substrato de concreto e da aplicação do revestimento, contendo informações, tais como:

- *as condições em que ocorreram a concretagem e a aplicação do revestimento, anotando-se: data, hora, temperatura, umidade relativa do ar e condições do tempo;*
- *composição do concreto utilizado;*
- *tipo e tempo de cura utilizado;*
- *método utilizado para a medição da umidade no concreto; e*
- *registro dos dados obtidos na medição da umidade, em conformidade com o método adotado.*

5.4. Sugestões para trabalhos futuros

A inexistência de estudos sobre o tema condição de umidade do concreto no Brasil, possibilita que sejam recomendados alguns temas, para pesquisas futuras, de grande importância para a evolução tecnológica dessa área de conhecimento, sendo as principais sugestões:

- *adequação dos valores propostos neste trabalho para a condição da umidade, às condições climáticas brasileiras;*

- *desenvolvimento de uma metodologia para a medição da condição da umidade do substrato de concreto, baseado no fluxo de umidade e umidade relativa interna do concreto;*
- *desenvolvimento de uma metodologia para a desumidificação do ambiente, a fim de reduzir o tempo de secagem para que o concreto atinja uma condição de umidade adequada para a aplicação do revestimento;*
- *caracterização quanto ao comportamento do fluxo de umidade e secagem do concreto de alto desempenho em substituição às lajes revestidas com RAD; e*
- *determinar o nível ideal de umidade para aplicação dos tipos de revestimentos que utilizam materiais susceptíveis à presença da água.*

No entanto, o grande trabalho a ser desenvolvido neste campo é o envolvimento de todos os segmentos que compõem a chamada “cadeia de responsabilidades” formada por projetistas, contratantes, construtores, empreiteiros, fabricantes e aplicadores, a fim de que, juntamente com centros de pesquisas, o tema seja amplamente discutido e pesquisado de maneira que seja estabelecido um consenso em relação aos valores adequados para a condição de umidade do concreto, metodologia de medição da umidade do concreto e composição adequada do concreto a ser utilizado, condizente com as condições brasileiras, concluindo-se, então, este trabalho com a normalização dos resultados alcançados.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for concrete floor and slab construction.** (ACI) COMMITTEE 302.1 R-96. Michigan: Farmington Hills, 1996

_____. **Standard practice for curing concrete.** (ACI) COMMITTEE 308-92. Michigan: Farmington Hills, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de revestimento de alto desempenho, a base de resinas epoxídicas e agregados minerais: projeto, execução e avaliação do desempenho – procedimento – NBR 14050.** Rio de Janeiro, 1998.

ANON, G. Durability, rheology, moisture. Lund Institute of Technology - Division of Building Technology, Lund, Report 22, 1971.

ARMSTRONG TECHNIQUES. [S.I]: Armstrong World Industries. (AWI), Jan. 1998. Technical Bulletin, n.5.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for indicating moisture in concrete by the plastic sheet method.** (ASTM) - D 4263-93, 1993.

_____. **Standard practices for determining moisture-related acceptability of concrete floors to receive moisture-sensitive finishes.** (ASTM) - E 1907-97, 1997.

_____. **Standard test method for measuring moisture vapor emission rate of concrete sub floor using anhydrous calcium chloride.** (ASTM) - F 1869-98, 1998.

_____. **Standard practice for preparing concrete floors to receive resilient flooring.** (ASTM) - F 710-98, 1998.

_____. **Standard test method for determining relative humidity in concrete floors slabs using in situ probes.** (ASTM) - F 2170-02, 2002.

BARROS, M.M.S.B; SABBATINI, F.H. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais.** São Paulo: EPUSP, 1991. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/44).

BARROS, M.M.S.B.; FLAIN, E.P.; SABBATINI, F.H. **Tecnologia de produção de revestimentos de pisos.** São Paulo: EPUSP, 1993. (Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/05).

BARROS, M.M.S.B; SABBATINI, F.H. **Tecnologia de produção de contrapisos internos para edifícios.** São Paulo: EPUSP, 1995. (Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/13).

BARRY, R. **The construction of building**. 4 ed. London: Granada, 1980. 76p.

BAUER, R.J.F. **Análise das principais causas de manifestações patológicas em pisos de argamassa de alta resistência e revestimentos de alto desempenho**. São Paulo: IBRACON, 2000. (Boletim do Comitê Técnico - CT-501, Instituto Brasileiro do Concreto).

BAZANT, Z P; NAJJAR, L J. Nonlinear water diffusion in non saturated concrete. *Materials & Construction*, [S.I.], v.5, n.25, p.3 – 20, 1972.

BREWER, H.W. **Moisture migration: concrete slab-on-ground construction**. Illinois: Portland Cement Association-Research and Development Laboratories, 1965. (Bulletin D89).

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. (BSI) **Code of practice for installation of textile floor covering - BS 5325**. London, 2001.

_____. (BSI) **Durability of buildings and building elements, products and components - BS 7543**. London, 1992.

_____. (BSI) **Code of practice for installation of resilient floor coverings - BS 8203**. London, 2001.

BUTT, T. K. Avoiding and repairing moisture problems in slab on grade. *The Construction Specifier*. Virginia, p.107 – 122, Dec. 1992.

COPELAND, L.E; BRAGG, R.H. **Self desiccation in portland cement pastes**. [S.I.]: American Society for Testing and Materials. (ASTM), 1955. (Bulletin n. 204).

CZERNIN, W. **Cement chemistry for engineers**. 2.ed. Berlin: Malmö och Bauverlag, 1964. (Svenska Cementföreningen)

FARNY, J. A. **Concrete floors on ground**. Illinois: Portland Cement Association. (PCA), 2001. (Engineering Bulletin, EB075).

FLOOR COVERING INDUSTRY WHITE PAPER POSITION STATEMENT ON MOISTURE EMISSION TESTING. [S.I.]: World Floor Covering Association, Oct. 2001.

GANN MESS U. REGELTECHNIK GMBH. Disponível em: <http://www.gann.de>. Acesso em: 05 Dez. 2002.

GÄRLIN, C; HJORT, M. Measuring relative humidity in concrete, *Building Physics*, Sweden, 1995. Report SP-AR 1995:62: Swedish National Testing and Research Institute.

GAUL, R.W. Moisture-caused coating failures: facts and fiction. **Concrete Repair Digest**, Illinois, Nov. 1996.

HEDENBLAD, G. **Drying of construction water in concrete**. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 1996. (T9:1997).

_____. **Moisture permeability of mature concrete, cement mortar and cement paste**. 1993. 250p. Tese (Doutorado) – Lund Institute of Technology. Lund, 1993. (The Swedish Council for Building Research).

_____. **Drying times for concrete after water damage**. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 1993. (T27:1993).

KANARE, H.; CRAIG, P.; JENKINS, R. Repair options for floor moisture problems. *Aberdeen's Concrete Construction*, Illinois, n.1460, p.26-29, 1998.

KRISCHER, O. **Die wissenschaftlichen grundlagen der trocknungstechnik**. Berlin: Springer Verlag, 1963.

L'HERMITE, R. Perda de água em função da umidade relativa. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENTS, 4., Washington D.C., 1960.

MENZEL, CARL.A. **A method for determinig the moisture condition of hardened concrete in terms of relative humidity**. Illinois: Portland Cement Association – Research and Development Laboratories, 1955. (Bulletin D4).

METHA, K; MONTEIRO, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Editora Pini, 1994. 573p.

MOORE, A.E. No attempt to predict the maximum forces that could be generated by alkali-silica reaction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFECTS OF ALKALIS IN CEMENT & CONCRETE, 4., Purdue University, 1978. **Anais**. Publication n° CE-MAT-1-78.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**, São Paulo: Editora Pini, 1997. 749p.

NILSSON, L.O. **Hygroscopic moisture in concrete** –drying measurements and related material properties. Lund: Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, 1980. (TVBM-1003).

OLIVEIRA, P.S.F. O mercado de RAD para pisos. *Revista PI – Pisos Industriais*, São Paulo, n.1, p.20-22, 2003.

ESTADOS UNIDOS. Portland Cement Association. **Understanding concrete floors and moisture issues**. Illinois: PCA, 2000. 1 CD-ROM.

PETEL, R.G. Influence of curing at different relative humidities upon compound reactions and porosity of portland cement paste. **Materials and Structures**, v.21, n.123, p.192-197, 1988.

PIHLAJAVAARA, S.E. **On the main features and methods of investigation of drying and related phenomena in concrete**. 1965. 176p. Tese (Doutorado) - State Institute for Technology Research. Helsinki, 1965.

POWERS, T.C. **A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete**. Washington: Highway Research Board, 1947.

POWERS, T C; BROWNYARD, T. L. **Studies on the physical properties of hardened portland cement paste**. Chicago: Portland Cement Association, 1948. (Bulletin 22).

POWERS, T.C.; COPELAND, L.E.; MANN, H.M. Capillary continuity or discontinuity in cement pastes. **Journal of PCA Research and Development Lab.**, v.1, n.2, 1960.

PROTIMETER plc. Disponível em: <http://www.protimeter.com>. Acesso em: 08 de dez. 2002.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 298p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

SAKATA, K. A study on moisture diffusion in drying and drying shrinkage of concrete. *Cement and Concrete Research*, [S.I.], v.13, n.2, p.216-224, 1983.

SATO, N.M.N.S. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. 1998. 163p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SUPRENANT, BRUCE A.; MALISCH, WARD R. Are moisture tests on target?. *Concrete Construction*, Illinois, Jan. 2000.

SWEDISH BUILDING CENTRE. **General materials and workmanship specifications for buildings** - HusAMA 83. Solna, 1983.

TRAMEX LTD. Moisture Detection Equipament Concrete Encounter. Disponível em: <http://www.tramexltd.com>. Acesso em: 08 de dez. 2002.

VAISALA Oyj. Disponível em: <http://www.vaisala.com>. Acesso em: 08 de dez. 2002.

VAPORTEST Inc. Disponível em: <http://www.vaportest.com>. Acesso em: 08 de dez. 2002.

WIERIG, H J. Die wasserdampfdurchlässigkeit von zementmörtel und beton. *Zement-Kalk-Gips*, [S.I.], n.9/1965, p.471-482, 1965.

BIBLIOGRAFIA LEVANTADA

ADAMSON, B. **Moisture problems in floors in contact with soil**. 3.ed. Stockholm: Byggmästaren, 1970. 22p.

AHLGREN, L. **Moisture fixation in porous building materials**. Lund: Lund Institute of Technology, Division of Building Technology, 1972. (Report 36).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Use of epoxy compounds with concrete: appendix a, test methods**. (ACI) COMMITTEE 503R-93. Michigan: Farmington Hills, 1993.

AKITA, H.; FUJIWARA, T.; OZAKA, Y. A practical procedure for the analysis of moisture transfer within concrete due to drying. **Magazine of Concrete Research**, n.179, p.129-137, 1997.

AKITA, H.; FUJIWARA, T. Capillary flow analysis of water movement within mortar. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., Canada: 1997. **Anais**. Canadá: SP 170-67, 1997. p.1317 – 1332.

AMUNDSON, JOHN A.; PASHINA, BRIAN J.; SWOR, TERRANCE E. Analyzing moisture problems in concrete slabs. **Concrete Construction**, Mar. 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for liquid membrane-forming compounds having special properties for curing and sealing concrete**. (ASTM) - C 1315-95, 1995.

_____. **Standard practice for maintaining constant relative humidity by means of aqueous solutions**. (ASTM) - E 104-85, 1996.

_____. **Standard test method for pull-off strenght of coating using portable adhesion testers**. (ASTM) - D 4541, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de piso, com argamassa de alta resistência mecânica – Procedimento - NBR – 12260**. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **Argamassa de alta resistência mecânica para pisos - NBR –11801**. Rio de Janeiro, 1992.

BARROS, M.M.S.B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. 1996. 409p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

_____. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. 1991. 265p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

BASHEER, P.; McCAULEY, A. LONG, A. Influence of moisture condition of concrete on the performance of surface treatments. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., Canada: 1997. **Anais**. Canada: SP 170-54, 1997. p.1050-1072.

BENGTSSON, H.; LUNDBERG, B. **Floor adhesive**. Stockholm: BPA Development, 1975. (Internal Report).

BERGSTRÖM, S.G. **Curing temperature, curing time and concrete strength**. Stockholm: Swedish Cement & Concrete Research Institute, 1953. (Report 27).

BERGSTRÖM, S G WASTESEN, A. **Studies of drying, moisture distribution and depth of orating**. Stockholm: Swedish Cement & Concrete Research Institute, 1954. (Report 29).

BJÖRKMAN, E. **On storage decay in pulp wood yards and its prevention**. Stockholm: State Institute for Forest Research, 1946. (Report 35).

BRAY, W H. **Diffusion of water in hardened portland cement paste**. Stanford: Department of Civil Engineering, Stanford University, 1969. (Report 112).

BRUNAUER, S. **Some aspects of the physics and chemistry of cement**. Chicago: Portland Cement Association, 1948. (Bulletin 80).

COPELAND, L.E. Specific volume of evaporable water in hardened Portland cement pastes. *Journal of the American Concrete Institute*, v.52, p.863, 1956.

COPELAND, L E; HAYES, J C. Porosity of hardened portland cement pastes. *Journal of the American Concrete Institute*, v.52, p.633, 1956.

COPELAND, L E; VERBECK, G J. Structure and properties of hardened cement pastes. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 6., Moscow: 1974.

DANIELSSON, U. **Conduction calorimeter studies of heat of hydration of portland cement**. Stockholm: Swedish Cement & Concrete Research Institute, 1966. (Report 38).

ELDER, A. J.; VANDENBERG, M. **Construcción: manuales aj**. Madrid: H. Blume, 1977. p.280-341.

GREENSPAN, L. A Physics and Chemistry. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, v.81, n.1, p.89-95, 1977.

HEDEN, B. **Moisture changes in a concrete with an underlying heat insulation on the ground**. Lund: Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, 1977.

HEDENBLAD, G. Concrete Drying Time. *Concrete Technology Today*, Illinois, v.19, n.2, p.4-6, July 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.

Performances standards in building: principles for their preparation and factors to be considered – ISO 6241, 1. ed. London, 1984.

KONDO, R; UEDA, S. Kinetics and mechanism of hydrations of cements. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CHEMISTRY AND CEMENT, 5., Tokyo: 1968. **Anais.** Tokyo, v.2, 1968. p.203-255.

KOSMATKA, S.H. Don't apply floor coverings too soon. **Concrete Construction**, Mai 1998.

LIDHOLM, E.H. Slab moisture testing: is it always reliable? **Concrete Construction**, June 1996.

MALISCH, W.R. Keeping your moisture meter honest. **Concrete Construction**, Oct. 1998.

MARTYS, N.S; FERRARIS, C. F. Capillary transport in mortars and concrete. *Cement and Concrete Research*, [S.I.], v. 27, n.5, p.747-760, 1997.

MENZEL, C.A. **Fallacies in the current percent of total absorption method for determining and limiting the moisture content of concrete block.** Chicago: Portland Cement Association, 1957. (Bulletin 84).

NILSSON, L.O. **Moisture measurement, part 2 of excess moisture in a concrete slab on the ground, methods of drying and measurement.** Lund: Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, 1979. (Report TVBM-3008).

_____. **Moisture problems at concrete floors.** Lund: Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, 1977. (Report TVBM-3002).

PERSSON, B. Moisture in concrete subjected to different kinds of curing. **Materials and Structures**, v.30, p.533-544, 1997.

POWERS, T. C. **The nonevaporable water content of hardened portland cement paste – Its significance for concrete research and its method of determination.** Chicago: Portland Cement Association, 1949. (Bulletin 29).

_____. Physical properties of cement paste. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 4., Washington: 1960. **Anais.** Tokyo, v.2, 1960.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – Formulação e aplicação de uma metodologia.** 1989. 308p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SANTOS, M.V; TEZUK, A.Y. **Adaptação de método de medida da água quimicamente ligada, para avaliação da hidratação em Pastas de cimento Portland.** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1992. (Boletim Técnico BT/PCC/74, ISSN 0103-9830).

SUPRENANT, B.A. Moisture movement through concrete slabs. Moisture problems in concrete floor: analysis and prevention, Illinois, n.1460, p.13-17, 1998. The Aberdeen Group – Reprint Collection, ISBN 0-924659-41.

SUPRENANT, B.A.; MALISCH, W.R. Are your slabs dry enough for floor coverings? Moisture problems in concrete floor: analysis and prevention, Illinois, n.1460, p.13-17, 1998. The Aberdeen Group – Reprint Collection, ISBN 0-924659-41.

_____. Why won't the concrete dry? **Concrete Construction**, July 1999.

VTT SYMPOSIUM, 174., Espoo, 1997. **Moisture measurement in concrete constructions exposed to temperature and moisture variations.** Finland: Technical Research Centre of Finland, 1997.