

MEDIÇÃO DA UMIDADE NO SISTEMA CONCRETO- MADEIRA

MARIÂNGELA GONÇALVES LUIZ

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre
em Recursos Florestais com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 2005

MEDIÇÃO DA UMIDADE NO SISTEMA CONCRETO- MADEIRA

MARIÂNGELA GONÇALVES LUIZ

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. **IVALDO PONTES JANKOWSKY**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre
em Recursos Florestais com opção em
Tecnologia de Produtos Florestais.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil

Julho – 2005

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Luiz, Mariângela Gonçalves

Medição da umidade no sistema concreto-madeira / Mariângela Gonçalves Luiz. - -
Piracicaba, 2005.
96 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
Bibliografia.

1. Concreto 2. Física da madeira 3. Madeira 4. Pisos de madeira 5. Teor de umidade
I. Título

CDD 674.132

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À memória de meu pai Décio Gonçalves Luiz,
Dedico.

“O impossível só existe
na mente dos acomodados...”

Prof. Ivaldo Pontes Jankowsky

AGRADECIMENTOS

- A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por ter me acolhido desde a graduação.
- Ao Prof. Ivaldo Pontes Jankowsky pela orientação, paciência, amizade, confiança e apoio nos momentos difíceis. Gostaria de agradecer também pela orientação desde o meu terceiro ano de graduação em Engenharia Florestal. São sete anos de trabalho, nos quais eu aprendi lições que vou levar por toda a vida.
- A Eng^a. Florestal Lis Rodrigues Uliana, minha grande amiga e companheira de todos os momentos.
- Ao funcionário do Departamento de Ciências Florestais José Martins Oliveira, pela ajuda na confecção dos corpos de prova de concreto.
- A Valdir Caldas pela ajuda na preparação do material para os ensaios.
- A Profa. Adriana Maria Nolasco, pelo grande incentivo e amizade.
- A Enga. Florestal Inês Galina pelo fornecimento dos sensores para a realização do ensaio.
- A Indusparquet pelo fornecimento do adesivo e dos tacos de jatobá.
- A Maria Carolina e Marcos Rabbi, pela ajuda recebida em todas as fases do trabalho.
- A João e Sueli Kazan pela amizade.apoio, incentivo, compreensão, por não me deixar desistir diante das dificuldades e por nunca ter me deixado enfraquecer diante dos fatos que ocorreram durante esse período..
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida.

- A toda a minha família, especialmente a minha mãe Maria Ângela e aos meus irmãos Rafael e Angélica por compreender a minha ausência, por sempre estarem torcendo por mim, por serem sempre uma luz na minha vida.
- Finalmente, ao meu marido Roberto Kazan, pelo companheirismo, cumplicidade e paciência, por compreender a minha ausência, por ser sempre o meu maior incentivador.
- A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ix
SUMMARY.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O material madeira.....	3
2.2 Relações água-madeira.....	4
2.3 Variação dimensional da madeira.....	5
2.4 O concreto.....	7
2.4.1 O comportamento da água no concreto.....	7
2.4.2 Processo de hidratação do concreto.....	10
2.4.3 Processo de secagem do concreto.....	13
2.5 Métodos para medição do teor de umidade do concreto.....	19
2.5.1 Teste da manta plástica.....	20
2.5.2 Teste da placa colada.....	21
2.5.3 Teste da resistência elétrica.....	21
2.5.4 Teste da impedância elétrica.....	23
2.5.5 Teste do cloreto de cálcio anidro - TCCA.....	25
2.5.6 Umidade relativa.....	28
2.6 Tempos de secagem recomendados para o concreto.....	29
2.7 A indústria de pisos de madeira.....	30
2.7.1 Produção e consumo.....	31

2.7.2 Problemas pós-consumo dos pisos de madeira maciça.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 Corpos de prova de concreto.....	36
3.2 Determinação da quantidade de água evaporável presente no concreto.....	40
3.2.1 Desenvolvimento de metodologia utilizando papel de filtro.....	41
3.2.2 Desenvolvimento de metodologia utilizando MDF.....	43
3.3 Adsorção de água e variação dimensional em tacos de Jatobá (<i>Hymenaea</i> sp)	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Dimensões do corpo de prova de concreto.....	52
4.2 Quantificação da massa de água evaporável no concreto.....	57
4.3 Curva de secagem do concreto.....	67
4.4 Variação do teor de umidade em tacos de jatobá colados sobre substrato de concreto.....	69
4.5 Equações para correção dos medidores elétricos de umidade.....	76
5 CONCLUSÕES.....	79
ANEXOS.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE NO SISTEMA CONCRETO-MADEIRA

Autora: MARIÂNGELA GONÇALVEZ LUIZ

Orientador: Prof. Dr. IVALDO PONTES JANKOWSKY

RESUMO

A aplicação de um piso de madeira maciça sobre um contrapiso de concreto dá origem a um sistema que une dois materiais com diferentes características higroscópicas, e no qual a movimentação da umidade é ainda um fenômeno pouco conhecido. Visando um melhor entendimento desse fenômeno, a presente pesquisa buscou avaliar diferentes equipamentos para medir o teor de umidade do concreto, desenvolver uma metodologia para quantificar a água evaporável presente no substrato mineral e, a partir desses resultados, sugerir o teor de umidade do substrato mais adequado à aplicação de um revestimento de madeira. Corpos de prova de concreto, preparados com traço 3:1:1 e relação água cimento em torno de 0,5, foram submetidos a secagem ao ar, sendo que a variação do teor de umidade do concreto ao longo do tempo foi acompanhada pela perda de massa e com a utilização de medidores elétricos de umidade do tipo resistência e de contato.. Com o auxílio da análise de regressão foi possível estabelecer equações de correção para as leituras de umidade dos aparelhos. Para a quantificação da água evaporável no

concreto, foi desenvolvido um corpo de prova utilizando-se cilindros de MDF com 6,0 cm de comprimento e 4,8 cm de diâmetro, inseridos em tubo de PVC e com uma das extremidades vedada com filme plástico e silicone. O cilindro de MDF mostrou-se um indicador eficiente da presença de água evaporável no concreto, uma vez que as taxas de adsorção pelo MDF puderam ser diretamente correlacionadas às taxas de evaporação pelo concreto. O efeito do adesivo no sistema concreto-madeira foi avaliado através da variação do gradiente de umidade em madeira de Jatobá (*Hymenaea* sp). Tacos de Jatobá, com dimensões de 100 mm x 80 mm x 18 mm e nos quais foram colocados sensores a 4 mm e a 17 mm de profundidade, foram colados em corpos de prova de concreto utilizando-se adesivo a base de PVA com 60% de sólidos. Os resultados mostraram que a água contida no adesivo não foi totalmente adsorvida pelo taco e o gradiente de umidade no sentido da espessura apresentou relação com o teor de umidade à profundidade de 17 mm, confirmando a hipótese de que existe um fluxo de umidade na interface concreto-madeira.

MEASURING MOISTURE CONTENT IN CONCRECT-WOOD SYSTEM

Author: MARIÂNGELA GONÇALVEZ LUIZ

Adviser: Prof. Dr. IVALDO PONTES JANKOWSKY

SUMMARY

The application of solid wood flooring over a concrete subfloor originates a system joining two materials with different hygroscopic characteristics, and in which the moisture movement still is a little known phenomena. Looking for the better understanding of moisture relationship in this system, the present research evaluated different equipments to measure concrete moisture content, to develop a methodology to quantify the vaporizable water present in the mineral substrate and, according to these results, to suggest the substrate moisture content more adequate to application of a wooden covering. Sample test of concrete, prepared with trace 3:1:1 and relation water/cement around 0.5, were submitted to air drying and the variation of the concrete moisture content during the process was registered by the mass loss and with the use of electric moisture meters of resistance and contact types. Through regression analysis it was possible to establish equations to correct moisture meters readings. To quantify the vaporizable water present in concrete, a sample test was developed using cylinders of MDF with 6.0 cm of length and 4.8 cm of diameter, inserted in

a PVC tube and with one of the extremities closed with plastic film and silicone. The MDF cylinder was an efficient indicator to quantify vaporizable water in the concrete, considering that the moisture adsorption rate of MDF samples could be directly correlated to the concrete evaporation rate. The effect of adhesive in concrete-wood system was evaluated through the variation of moisture content gradient in Jatobá lumber (*Hymenaea* sp). Flooring samples of Jatobá, with dimensions of 100 mm x 80 mm x 18 mm and moisture sensors inserted at depths of 4 mm and 17 mm, were glued to concrete sample test using a PVA based adhesive with 60% of solids. Results showed that the water contained in the adhesive was not totally adsorbed by the flooring sample and the moisture gradient across sample thickness is correlated to moisture content at depth of 17 mm, what confirm the moisture flow between concrete and wood.

1 INTRODUÇÃO

Uma das conseqüências da globalização da economia é o acirramento na competitividade entre as indústrias, a qual faz com que se aumente a qualidade da produção industrial e dos produtos finais que chegam até os consumidores.

Os consumidores, por sua vez, estão cada vez mais exigentes e atentos às especificações do produto tais como a qualidade das embalagens, o prazo de validade e o peso; e têm seus direitos garantidos pelo Código de Defesa do Consumidor.

Alguns segmentos industriais, em função da importância econômica e social, têm sido contemplados com políticas governamentais, que buscam incentivar as melhorias na produtividade e qualidade.

Nesse sentido o Governo Federal criou, em 1998, o PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade na Construção do Habitat), o qual tem como objetivos principais: promover o inter-relacionamento entre os diversos setores da construção civil; garantir a qualidade de materiais e componentes do sistema construtivo; promover o aperfeiçoamento da estrutura de elaboração e difusão de normas técnicas; combater a não conformidade intencional de materiais, componentes e sistemas construtivos; e elevar para 90% o percentual médio de conformidade com as normas técnicas dos produtos que compõem a cesta básica de materiais de construção.

Dentre os projetos propostos pelo PBQP-H, destaca-se o Projeto 5: Qualidade de Materiais e Componentes, o qual abrange, dentre outros tipos de materiais, os pisos de madeira maciça.

O setor produtivo está se organizando com o objetivo de estabelecer especificações para o produto (piso de madeira maciça) e criar a sua marca de conformidade. A principal meta é a de estabelecer padrões de qualidade relativos a dimensões e teor de umidade do produto final.

Contudo, esse esforço pode ser inútil, uma vez que, no ambiente construído, o piso de madeira maciça encontra-se inserido em um sistema que envolve diferentes materiais: concreto, adesivo, madeira e acabamento. Por mais rígido que seja o controle da umidade no piso de madeira, uma possível transferência de umidade a partir do substrato causará a movimentação dimensional do piso. A falta de definição da condição ideal de umidade a ser atingida no substrato de concreto para a aplicação dos revestimentos de madeira, a inexistência de métodos padronizados para a medição de umidade do concreto e as deficiências na tecnologia de execução podem comprometer o desempenho dos pisos de madeira maciça.

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

Conhecer o fluxo de umidade no concreto, bem como medir com razoável exatidão o seu teor de umidade, são imprescindíveis para estudar e compreender a interação entre os dois materiais (concreto e madeira); principalmente em relação ao fluxo e a retenção de umidade.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivos: (a) avaliar diferentes equipamentos para medir o teor de umidade do concreto; (b) desenvolver uma metodologia para a quantificação da água evaporável presente em um substrato de concreto, e (c) sugerir o teor de umidade do substrato de concreto mais adequado à aplicação de um revestimento de madeira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O material madeira

A madeira é um dos mais importantes recursos naturais renováveis de que dispomos e, para otimizar o seu uso, torna-se indispensável o maior conhecimento possível de suas características.

De acordo com TOMAZELLO FILHO (2000), a madeira de angiospermas dicotiledônias apresenta uma estrutura anatômica mais complexa do que as coníferas, em função da especialização de seus elementos anatômicos. As principais diferenças anatômicas entre as madeiras desses dois grandes grupos de plantas são:

- a) coníferas: ausência de vasos; estrutura anatômica mais uniforme, com 90 % de traqueídeos; raios unisseriados; disposição dos elementos anatômicos mais alinhada, traqueídeos com função de transporte e sustentação;
- b) folhosas: presença de vasos; estrutura anatômica complexa; raios multisseriados/unisseriados; disposição dos elementos anatômicos em forma não alinhada; perfeita correlação entre forma/função dos elementos anatômicos.

Sob o ponto de vista químico, a madeira apresenta uma composição bastante estável, sendo composta, basicamente, por carbono (50%), hidrogênio (44%), oxigênio (6%) e outros elementos que ocorrem em teores muito pequenos (BRITO, 2000).

Segundo o mesmo autor, estes elementos combinam-se formando diversos compostos presentes no tecido lenhoso da árvore. Os principais compostos formados são: celulose, hemicelulose e lignina.

Os estudos sobre anatomia da madeira indicam que o esqueleto básico que forma a parede das fibras é constituído, principalmente, por cadeias de celulose, que se dispõem paralelamente umas às outras, formando camadas. A formação de tais camadas, no entanto, não dá de modo uniforme ao longo do espessamento da parede, pois a deposição ocorre sob diferentes ângulos, em relação ao eixo principal da fibra. De acordo com tais ângulos, pode-se detectar uma fina camada na parte mais externa da fibra, chamada lamela média, compartilhada por duas células adjacentes. Em direção ao interior da parede, seguem-se a parede primária e a parede secundária. Esta é a mais importante de todas, e se subdivide em camadas S1, S2 e S3. Finalmente, aparece a parede terciária, situada na fronteira com o lúmen da célula, a qual está presente apenas nas células parenquimáticas.

2.2 Relações água-madeira

A madeira, pela sua natureza higroscópica, apresenta alteração nas suas dimensões de acordo com a umidade relativa e a temperatura do ambiente. O conhecimento da variação dimensional das peças de madeira é de fundamental importância, uma vez que afeta a sua estabilidade dimensional e demais propriedades (KOLLMANN & COTÉ, 1968).

Segundo GALVÃO & JANKOWSKY (1985), quando uma peça de madeira é submetida a um ambiente com temperatura e umidade relativa constantes, a mesma atingirá, após um certo período, uma situação de equilíbrio em relação à troca de umidade com o ar externo. O tempo para que isso ocorra depende, principalmente, das dimensões da peça. A umidade correspondente à situação de equilíbrio dinâmico entre a madeira e o ar externo é denominada “umidade de equilíbrio (UE)”. Por exemplo, a umidade de

equilíbrio para uma determinada região que apresente valores médios de umidade relativa e temperatura do ar igual a 60% e 25°C, respectivamente, será aproximadamente igual a 12%. Numa região com valores médios de umidade relativa igual a 80% e temperatura de 30° C, a umidade de equilíbrio da madeira será de 16%. Portanto, o teor de umidade adequado da madeira irá depender da umidade de equilíbrio da região em que for instalada, Assim sendo, para a região sudeste, a umidade de equilíbrio ideal para madeira está em torno de 12%, podendo variar de 8 a 16% de umidade.

2.3 Variação dimensional da madeira

De acordo com GALVÃO & JANKOWSKY (1985), de maneira geral, na medida em que a madeira perde água ela se retrai, ao passo que o inchamento caracteriza a adsorção. Praticamente, toda a movimentação ocorre entre a umidade de saturação ao ar e 0% de umidade. Isto significa que as variações dimensionais correspondem a dessorção ou adsorção de água higroscópica localizada nas paredes celulares.

Segundo GOMIDE (1974), o inchamento e a contração da madeira não são iguais em todos os sentidos. As moléculas de celulose nas paredes das células estão dispostas em grandes cadeias denominadas micelas, as quais se agrupam em grandes filamentos denominados fibrilas. As fibrilas estão dispostas em forma de espiral formando a parede celular. Todos estes elementos em forma de fibra estão dispostos de maneira que sua direção longitudinal é quase paralela ao eixo longitudinal das células. Quando a água penetra na parede celular e nos espaços que existem entre estas partículas, separando-as, as células se alargam transversalmente, mas praticamente continuam estáveis longitudinalmente. Portanto, as maiores variações dimensionais ocorrem nas direções transversais e os valores das contrações e inchamentos são de 2 a 3 vezes maiores na direção tangencial que na radial.

Acredita-se que isto é causado pela distorção da disposição normal em espiral das fibrilas em volta das pontuações nas paredes radiais das células.

Como consequência da movimentação dimensional da madeira, surgem defeitos como: empenos, rachaduras de topo, colapso e rachaduras internas. Os empenos são os defeitos mais comuns em assoalhos de madeira maciça e podem ser agrupados em três categorias: empeno longitudinal, empeno em canoa e empeno torcido.

GOMIDE (1974), define empeno longitudinal como uma curvatura da peça de madeira, segundo seu eixo longitudinal. Esse empeno ocorre devido às discrepâncias de retração nas faces da peça de madeira, quando uma face sofre maior secagem que a outra. Como a retração no plano longitudinal é pequena, o empeno longitudinal não é freqüente e quando ocorre, apresenta-se com valores reduzidos.

O empeno em canoa ou encanoamento consiste no empeno da peça de madeira segundo sua seção transversal. Ocorre devido a fatores como: secagem desigual das faces da peça, plano de corte. Peças de madeira que recebem mais tinta ou verniz em uma das faces poderão apresentar empeno em canoa, quando expostas às mudanças bruscas de umidade atmosférica. A face dotada de cobertura mais resistente à umidade não irá perder ou ganhar umidade tão rapidamente como a outra face. Essas variações diferentes de teor de umidade nas duas faces irão provocar empeno em canoa.

Segundo GOMIDE (1974), o empeno torcido indica a condição de uma peça de madeira que se apresenta com um formato torcido, ou seja, os 4 cantos ou ângulos de sua superfície não estão num mesmo plano. As causas do empeno torcido podem ser as mesmas mencionadas para o empeno em canoa, podendo também ser causado por uma disposição espiralada ou entrelaçada das fibras, o que é característico de algumas espécies.

2.4 O concreto

De acordo com RIOS (2000), o concreto é uma mistura, em determinadas proporções, de quatro componentes básicos: cimento, pedra, areia e água.

A composição do concreto, quantidade presente de cada elemento, é chamada de dosagem ou traço, na linguagem da construção civil. O traço varia de acordo com a finalidade de uso e com as condições de aplicação.

De acordo com RUSCHEL (1974), a resistência típica do concreto é atingida 28 dias após a concretagem. É nesta resistência que se baseiam todos os cálculos de estruturas, podendo suportar-se a estrutura capaz de suportar a máxima carga.

Segundo RUSCHEL (1974), algum tempo depois do concreto ser moldado, inicia-se a reação química do cimento com a água; é o que se denomina “pega”. Em seguida, inicia-se o endurecimento. O início da pega varia de acordo com o tipo de cimento usado; para os cimentos de pega normal, esta se inicia cerca de uma hora após a junção da água e cimento e termina de 5 a 10 horas após; para os cimentos de pega rápida, o fenômeno se inicia e termina em poucos minutos em condições normais de temperatura e pressão.

2.4.1 O comportamento da água no concreto

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

Após o período de cura do cimento, parte da água fisicamente ligada irá continuar combinada com o cimento hidratado e parte será adsorvida nas superfícies dos produtos de hidratação. O restante da água irá evaporar, sendo a evaporação função da idade do concreto, da temperatura e da umidade relativa do ambiente. 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, processos que ocorrem simultaneamente (LOPES, 2003).

De acordo com NEVILLE (1997), em qualquer estágio de hidratação, a pasta endurecida é composta por produtos hidratados dos diversos compostos, denominados genericamente como gel, cristais $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, alguns compostos menores, cimento não-hidratado e vazios 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.

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.

Segundo METHA & MONTEIRO (1994), na pasta de cimento hidratado, a água pode ser classificada em função do grau de dificuldade para sua remoção:

- 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 de forças de atração;
- água interlamelar: água associada à estrutura C-S-H² (silicato de cálcio hidratado), uma das quatro fases sólidas presentes na pasta de cimento, constituindo de 50 a 60% do volume total de sólidos da pasta, também conhecida como água de gel;
- água quimicamente combinada: água que é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento.

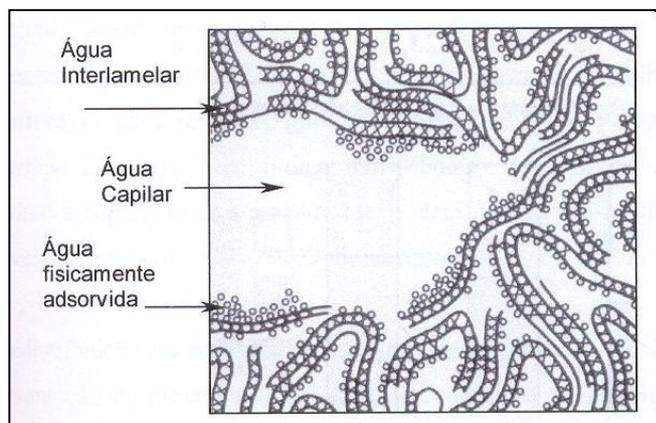


Figura 1 - Tipos de água associadas ao silicato de cálcio hidratado C-S-H²

(Fonte: METHA & MONTEIRO, 1994)

Uma classificação clássica dos tipos de água presentes no concreto é apresentada por POWERS & BROWNYARD (1948). Os autores dividem a água presente na pasta de cimento em duas categorias: evaporável e não evaporável à temperatura ambiente. A água evaporável é a parcela de água livre dos poros de gel e a não evaporável é a água quimicamente ligada, combinada na forma de hidratos e hidróxidos.

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; a qual, por sua vez, é função da relação água/cimento, da temperatura e da umidade relativa do ambiente. (HEDEMBLAND, 1996).

Deve-se também conhecer o desempenho do revestimento após aplicação, uma vez que a quantidade de água não é distribuída de maneira uniforme no substrato de concreto, sendo menor próximo à superfície em contato com o ambiente, 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.

Segundo NILSSON (1980), 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 disso, as propriedades para uma certa composição alteram-se conforme o progresso da hidratação.

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

2.4.2 Processo de hidratação do concreto

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

A hidratação reduz a água capilar adsorvida e, por consequência, a quantidade de água a ser removida na secagem.

De acordo com POWERS et al. (1960), a distribuição da água nos poros durante a saturação é função da relação água/cimento e do grau de hidratação.

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

De acordo com CZERNIN (1962), a velocidade de hidratação do cimento aumenta com o acréscimo na relação água/cimento.

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

Ainda segundo o mesmo autor, a hidratação não se processa a uma velocidade constante e nem mesmo a uma velocidade com variação constante, conforme mostrado na Figura 2; em que se nota a existência de três picos de hidratação no período aproximado de três dias do contato inicial com a água.

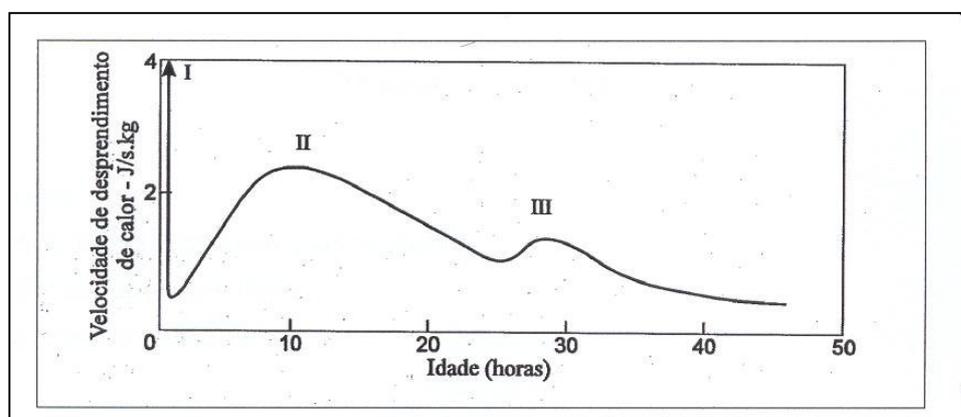


Figura 2 - Velocidade de desprendimento de calor de cimento Portland com uma relação água/cimento igual a 0,4 (fonte: NEVILLE, 1997)

O primeiro pico de hidratação (I) é muito alto, sendo este período de grande velocidade de hidratação muito curto; o 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. O mesmo ocorrendo com o terceiro pico (III) trinta horas após o contato inicial entre o cimento e a água. Decorridas quarenta horas a velocidade de hidratação é bem menor e praticamente constante, fazendo com que a hidratação do cimento seja um processo lento.

Segundo NEVILLE (1997), a elevação da temperatura ambiente faz com que ocorra o aumento da velocidade de desprendimento de calor, que por sua vez, é uma indicação do acréscimo da velocidade de hidratação, como pode ser visto a seguir na Tabela 1.

Tabela 1. Calor de hidratação (J/g) desprendido após 72 horas

TIPO DE CIMENTO	Temperatura 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

Fonte: NEVILLE (1997)

O efeito das condições ambiente no processo de 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 relativa no interior dos poros capilares atinge valores abaixo de 80%, concluindo que, para prosseguimento da hidratação, o interior do concreto deve ser mantido a uma umidade relativa no mínimo igual a 80%.

Das informações disponíveis sobre os diferentes aspectos que afetam a hidratação do concreto, pode-se inferir que:

- a) é importante manter o concreto úmido durante o processo (alta relação água/cimento e alta umidade relativa no interior dos capilares);
- b) a hidratação ocorre quase que completamente nos primeiros dias após a preparação (ou mistura) do concreto.

Como a hidratação está diretamente ligada à resistência mecânica do concreto, é indesejável a secagem da massa durante esse período.

Contudo, a cura do concreto somente se completará com a secagem do mesmo, enfatizando a importância do equilíbrio entre hidratação, secagem e cura.

Sob o enfoque da resistência mecânica, a recomendação do tempo mínimo de 28 dias de cura, pode assegurar que o concreto atinja cerca de 90%

de sua resistência (BAUER, 2000); mas não assegura que a secagem tenha sido suficiente para não afetar o revestimento que venha a ser aplicado sobre o concreto.

2.4.3 Processo de secagem do concreto

Assim como na madeira, a secagem do concreto ocorre através do fluxo de umidade do interior do material para o exterior e a posterior evaporação da água presente na superfície. A secagem do concreto tem início quando as condições do ambiente (umidade relativa e temperatura) permitirem que ocorra a evaporação da água presente.

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 ocorre a redução da água a ser transportada (NEVILLE, 1997).

De acordo com HEDENBLAD (1996), 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 relação à superfície.

Segundo o mesmo autor, 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 aplicação do revestimento. Esta “profundidade equivalente” varia se a secagem da laje ocorre por ambos os lados ou somente por um lado. No 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 será novamente redistribuído, diminuindo junto à superfície revestida. Quando a secagem ocorre por apenas um lado, a umidade no piso de concreto, após o revestimento da superfície, irá atingir o equilíbrio mantendo-se constante em toda a espessura do piso.

Segundo NILSSON (1980), o transporte da água no concreto, assim como em outros materiais porosos, ocorre principalmente através da difusão de vapor de água através dos 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 dos poros do concreto, o fluxo é considerado como uma combinação destes dois fatores.

SATO (1998), mostra que a água 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, como pode ser observado na Figura 3.

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 (Fase 1). Nesta condição, o transporte de água 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 o teor de umidade atinge o valor correspondente a do raio crítico, a água se condensa no interior do poro, preenchendo-o, porém sem formar 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 (Fase 2). À medida em que se estabelece uma continuidade de massa, passa a predominar o mecanismo de transporte de água na fase líquida (Fase 4).

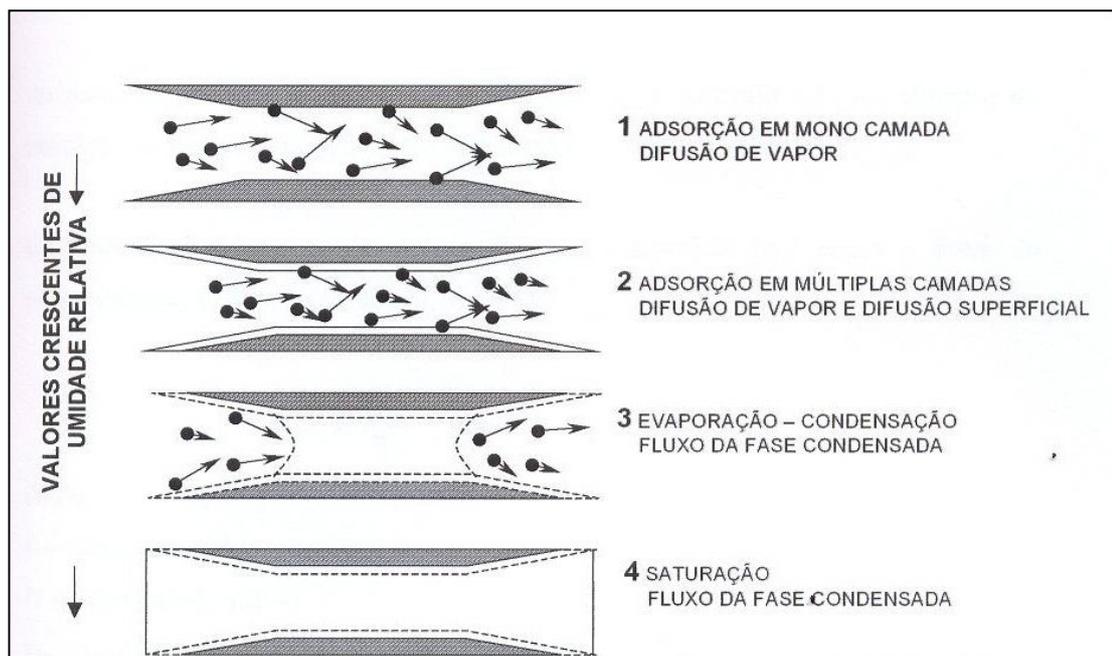


Figura 3 - Mecanismos do transporte da umidade em materiais porosos (Fonte: SATO, 1998)

A secagem ocorre enquanto houver um gradiente de umidade no concreto, direcionando o fluxo de água do interior para a superfície. Após um longo período de tempo, o teor de umidade de equilíbrio é alcançado no interior do concreto e o fluxo de água deixa de existir, findando a secagem.

Uma vez que, o transporte de água no concreto ocorre através de um sistema interligado formado pelos poros capilares, que representam parte do volume total não preenchido pelos produtos da hidratação, deverão também ser conhecidos: a influência do tempo de cura, a relação água/cimento e as condições do ambiente, visto que estes fatores alteram a estrutura do sistema de poros e, por conseqüência, os coeficientes de transporte da umidade.

De acordo com WERING (1965), o tempo de cura influencia a capacidade de transporte de água do concreto, uma vez que o volume do sistema capilar é reduzido com a evolução da hidratação. Isto ocorre pelo fato de que os produtos da hidratação ocupam 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. A Tabela 2 mostra a variação da porosidade capilar para diferentes graus de hidratação.

Tabela 2. Variação da porosidade capilar para diferentes graus de hidratação

Tempo de hidratação	0 dias	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%

Fonte: WERING (1965)

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 da 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 da umidade.

De acordo com WERING (1965), aumentando-se o tempo de cura diminui-se, percentualmente, a capacidade de transporte da umidade em

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

KANARE et al. (1998), recomendam, 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 de água utilizada na produção do mesmo é normalmente maior do que a necessária para a hidratação do cimento Portland (estimada em 30% da massa de cimento), de maneira a proporcionar um meio aceitável de manter o processo de hidratação.

A capacidade de transporte da umidade do concreto é controlada pela porosidade capilar da pasta de cimento que depende tanto do grau de hidratação, quanto da variação água/cimento, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Variação da porosidade capilar para diferentes relações água/cimento

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%

Fonte: METHA, 1994.

A capacidade de transporte da 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).

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 baixa relação água/cimento. Esta seria uma situação esperada porque, apesar da menor capacidade de transporte, há também uma menor quantidade de água a ser removida do sistema.

Em regiões onde o uso de sistema de ar condicionado é freqüente devido às elevadas temperaturas, a medição das condições de umidade do concreto é realizada durante a construção em condições diferentes daquelas quando do uso da edificação, em que a temperatura no interior da mesma 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 da diferença de pressão entre o concreto e o ambiente, resultando em um movimento da umidade em direção à superfície e podendo causar danos ao revestimento.

Assim sendo, é importante que a medição das condições de umidade do substrato de concreto seja realizada em condições mais próximas possíveis daquelas que ocorrerão quando da edificação em uso.

Do exposto acima, conclui-se que o conhecimento de como ocorre o processo de secagem, e dos fatores que a influenciam, 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 no substrato, quando da utilização de materiais suscetíveis à presença de água, reduzindo-se a possibilidade de ocorrência de falhas.

2.5 Métodos para medição da umidade no concreto

Em vários países, organizações como a ASTM (American Society for Testing Materials), a BSI (British Standards Institution) e a 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 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 e percentuais de água. No Brasil, a inexistência de normas próprias sobre o assunto tem levado fabricantes e aplicadores de revestimentos sensíveis à umidade a adotarem procedimentos utilizados em outros países.

Os principais testes para avaliar as condições 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 estabelecer critérios para avaliar a condição do substrato de concreto para receber revestimentos sensíveis à umidade. Os testes e procedimentos contidos na norma ASTM E 1907-97 podem ser classificados em qualitativos e quantitativos. O teste da manta plástica e o teste da placa colada são qualitativos, os demais testes são quantitativos.

A norma ASTM recomenda que os testes sejam realizados após as condições ambiente 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 a temperatura e umidade relativa. Caso isto não seja possível, deverão ser mantidas por pelo menos 48h, as seguintes condições no ambiente para a realização dos testes:

- temperatura = 18° a 29°C;
- umidade relativa = 40 a 60%;

- nenhuma água 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;
- 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.

2.5.1 Teste da manta plástica

Este teste, descrito pela ASTM D 4263-93 – “Método para a indicação da umidade no concreto utilizando manta plástica”, é bastante simples. 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 0,1 mm de espessura, conforme mostrado na Figura 4. 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 24h 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.

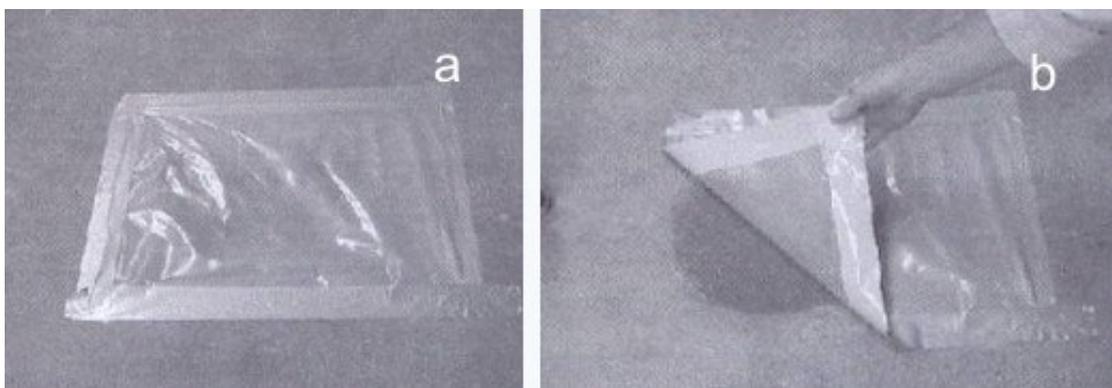


Figura 4 - Teste da manta plástica: (a) colagem da manta plástica sobre o concreto, (b) retirada da manta plástica após 3 dias (Fonte: FARNY. 2001)

2.5.2 Teste da placa colada

Neste teste, uma amostra de 1,0m² de área de material a ser utilizado para revestimento é aplicado sobre o substrato do 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. 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 revestimento.

2.5.3 Teste da resistência elétrica

Este teste permite determinar o teor de umidade através da medição da condutividade elétrica do concreto, utilizando dois eletrodos que podem ser colocados em contato com a superfície do substrato ou no interior de duas perfurações previamente executadas no substrato do concreto, com 25 mm de

profundidade. A condutividade elétrica do concreto varia proporcionalmente ao teor de umidade, sendo que a conversão entre estes valores é indicada pelo fabricante do medidor. Na Figura 5 é mostrado um dos medidores disponíveis nos mercados americano e europeu. Este teste possibilita obter, de uma maneira relativamente rápida, um valor aproximado do teor de umidade do concreto.



Figura 5 - Medidor modelo UNI 2 e sensores modelo M 6 (Fonte GANN, 2004)

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 e que indique uma baixa condutividade significa 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.

De acordo com LOPES (2003), é um método de medição razoavelmente preciso para materiais cuja composição seja perfeitamente conhecida, tais como painéis de gesso acartonado (“drywall”) e determinadas espécies de madeira. No caso do concreto, a sua condutividade é afetada pelo volume de vazios, relação água/cimento, tipo de agregados e o aço utilizado nas armações e, por isso, 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 complementar os resultados obtidos com os medidores, é a realização do teste da manta plástica, sendo que para este caso o período de cobertura da superfície do concreto é de 24h. Após a remoção da manta plástica, faz-se nova medição, sendo que para os pontos nos quais a segunda medição exceda significativamente a primeira, o teor de umidade está em um nível inaceitável.

2.5.4 Teste da 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 na medida em que a umidade diminui.

Os medidores de impedância elétrica são dispositivos portáteis compostos por dois eletrodos, sendo um transmissor e o 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 de umidade do concreto. A variação na impedância 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 a medida em que o nível de umidade em seu interior diminui, aumenta a impedância.

Medidores de impedância elétrica proporcionam informações úteis para uma profundidade de cerca de 50 mm. Um dos modelos disponíveis nos mercados europeu e americano é mostrado na Figura 6. São fáceis de usar, não requerem que sejam feitas perfurações no substrato, produzem resultados rápidos. A calibragem do aparelho deve seguir as recomendações do fabricante, e podem ser considerados como uma ótima ferramenta para as medições preliminares nas investigações de problemas relacionados a umidade no substrato de concreto.



Figura 6 - Medidor modelo TRAMEX CME 4 (Fonte: TRAMEX, 2004)

2.5.5 Teste do cloreto de cálcio anidro – TCCA

De acordo com a ASTM E 1907-97, no início dos anos 50, a RMA (“Rubber Manufactures Association”) desenvolveu o Teste do Cloreto de Cálcio Anidro (TCCA), que mede a taxa de emissão do vapor de umidade (TEVU), expressa em lbs/1000 pés quadrados x 24h ou $\mu\text{g/s.m}^2$. O teste consiste na medição da massa de água absorvida pelo cloreto de cálcio anidro em contato com a superfície do concreto durante determinado período de tempo. Considerando-se o valor obtido, a aplicação do revestimento poderá ou não ser iniciada, em função do tipo de revestimento a ser utilizado.

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

Em 1998 foi publicada, pela ASTM, a norma ASTM F 1869-98 - “Método para medição da taxa de emissão de vapor do substrato de concreto utilizando cloreto de cálcio anidro”, descrevendo 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 consiste de:

- recipiente cilíndrico de plástico com tampa, com aproximadamente 72mm de diâmetro, contendo uma pastilha de cloreto de cálcio anidro e pesando 30g, conhecido como “prato”;
- tampa plástica, chamada de “domo”, quadrada, com flange de 200mm de lado e 30 mm de altura, permitindo que seja isolado o ar entre o domo e o substrato de concreto.

Devido a umidade relativa do ambiente e a temperatura afetarem significativamente os resultados do teste, é recomendado pela ASTM F1869-98 que estes sejam realizados em condições ambiente semelhantes às de uso da edificação quando ocupada. Caso não seja possível, a temperatura ambiente deverá ser de 24°C ($\pm 5,5$) e a umidade relativa do ar 50% (± 10). Estas condições devem ser mantidas por pelo menos 48 h antes do início dos testes.

As áreas de teste devem ser selecionadas de maneira a representar todo o piso de concreto, incluindo o centro e o perímetro do substrato, sendo recomendados pela ASTM F 1869-98 três amostras para áreas 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.

O teste se inicia 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. A seguir remove-se a fita adesiva que fixa a tampa no “prato”, retira-se a tampa e coloca-se o prato aberto sobre o substrato de concreto. Cobre-se imediatamente o prato utilizando-se o domo, cuja flange é vedada ao substrato com material adesivo

Após 72 h o domo é cortado, tampando-se o prato que é novamente pesado, registrando-se o peso e a hora do encerramento do teste. A Figura 7 mostra o kit para teste TCCA.



Figura 7 - Kit de testes TCCA para medir a taxa de emissão de vapor de umidade utilizando o cloreto de cálcio anidro (Fonte: VAPORTEST, 2004)

A taxa de emissão de vapor de umidade (TEVU) é dada pela eq. 1:

$$TEVU = \frac{24.000 * \Delta m}{453.612 * A * T} \quad (1)$$

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 da área do prato, em pés quadrados;

T = tempo do teste, em horas.

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

O teste TCCA determina a umidade emitida dos poucos centímetros medidos a partir da superfície, aproximadamente 1 polegada, não sendo um bom indicador para as condições de umidade no interior do substrato.

Portanto, o teste do TCCA espelha somente o instante da emissão de vapor da umidade da parte superior do substrato de concreto e não pode prever

o comportamento do piso em longo prazo. Assim como os testes qualitativos, 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 mesmo poderá atingir níveis acima dos recomendados pelos fabricantes.

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

2.5.6 Umidade relativa

A umidade relativa interna do concreto é definida por HEDENBLAD (1996), como o fator entre a quantidade de vapor de água presente 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 a umidade relativa que é de interesse, mas o teor de umidade do concreto. Pela medição da umidade relativa e utilizando-se isotermas de sorção, a umidade do concreto pode ser estimada.

Existem vários testes que avaliam de maneiras diferentes a umidade relativa interna do concreto, podendo ser classificadas através da forma como a medição é realizada. São estas:

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

2.6 Tempos de secagem recomendados para o concreto

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 ambiente 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 a seco por um período mínimo de 06 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 ambiente, tipo de concreto, espessura e localização, 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 aplicação de revestimento, uma vez que este prazo é função de um grande número de variáveis.

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, em decorrência da umidade do concreto.

2.7 A indústria de pisos de madeira

Os pisos a base de madeira mais conhecidos no Brasil são os pisos de madeira maciça, manufaturados quase que exclusivamente a partir de espécies de folhosas tropicais, e os denominados pisos laminados ou engenheirados.

O piso engenheirado tem como substrato um painel a base de madeira, tais como o compensado, a chapa de partículas ou a chapa de fibras de média densidade, e são revestidos por uma lâmina de madeira ou por papeis melamínicos.

As indústrias produtoras dos pisos de madeira maciça são predominantemente pequenas e médias empresas, com capacidade limitada para investimentos em máquinas e tecnologia, e cujas cadeias produtivas estão fundamentadas na utilização de espécies provenientes da região amazônica.

Em relação aos pisos engenheirados, a cadeia produtiva está relacionada com as indústrias de painéis a base de madeira, as quais são indústrias de médio e grande porte, utilizam principalmente espécies de reflorestamento e apresentam maior capacidade para investimentos no desenvolvimento tecnológico.

Embora a produção brasileira dos pisos a base de madeira tenha apresentado crescimento constante nos últimos anos, os pisos de madeira maciça ainda são conhecidos por um padrão de qualidade inadequado, e competem no mercado consumidor usando principalmente a estratégia de preços. Esse perfil decorre, principalmente, da desorganização do setor e da ausência de um padrão referencial para a qualidade do produto.

Para suprir essa carência, um grupo de indústrias idealizou a Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira Maciça - ANPM, entidade de classe que visa o aumento da competitividade e o desenvolvimento do setor. Um de seus principais objetivos é, através do Programa de Qualidade para pisos de madeira maciça, contribuir efetivamente para a agregação de qualidade ao produto.

2.7.1 Produção e consumo

Com base nos dados divulgados pela ABIMCI (2003), o Brasil produziu um total de 22,8 milhões de m² de pisos (maciços e engenheirados), enquanto que o consumo interno foi da ordem de 15,2 milhões de m².

Analisando-se a produção e o consumo no período de 1998 a 2002 (Figura 8), observa-se que a produção dos pisos engenheirados apresentou um crescimento de 193%, passando de 6,0 para 17,6 milhões de m²; enquanto que o consumo cresceu 93%, atingindo o volume de 11,6 milhões de m² em 2002. Esse aumento significativo na produção já era esperado, visto que nesse período entraram em plena operação novas plantas produtoras de painéis.

A produção de pisos de madeira maciça aumentou em taxas bem mais modestas (18%), passando de 4,4 para 5,2 milhões de m² anuais. Contudo, deve ser destacado que o aumento no consumo interno (20%), que atingiu 3,6 milhões de m² em 2002, foi maior que o aumento na produção.

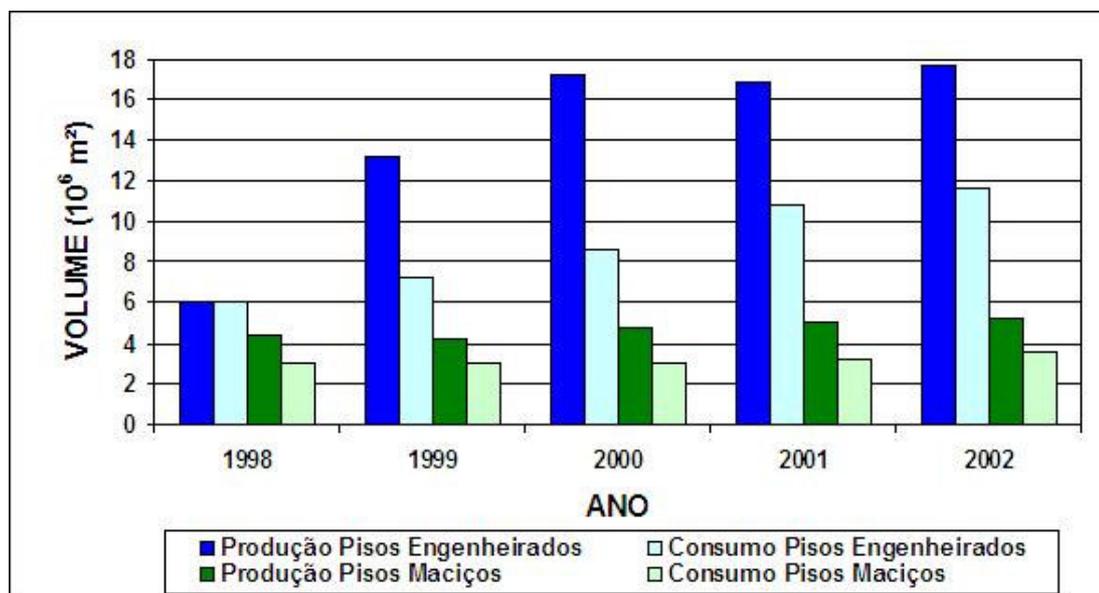


Figura 8 - Produção e consumo, no Brasil, de pisos a base de madeira para o período de 1998 a 2002 (Fonte: ABIMCI, 2003)

Admitindo que a diferença entre a produção e o consumo interno represente os volumes exportados, pode-se verificar na Figura 9, que os volumes permanecem razoavelmente constantes, da ordem de 6,0 milhões de m²/ano para os pisos engenheirados e de 1,6 milhões de m²/ano para os maciços.

Esses números comprovam que o principal destino da produção é o mercado doméstico, desfazendo o mito de que o mercado internacional é o responsável pelo consumo da madeira tropical. Aliás, VERÍSSIMO et al. (2002) e SOBRAL et al. (2002) já haviam demonstrado que o mercado doméstico, principalmente as Regiões Nordeste e Sudeste, responde por até 80% do consumo de madeira tropical no Brasil.

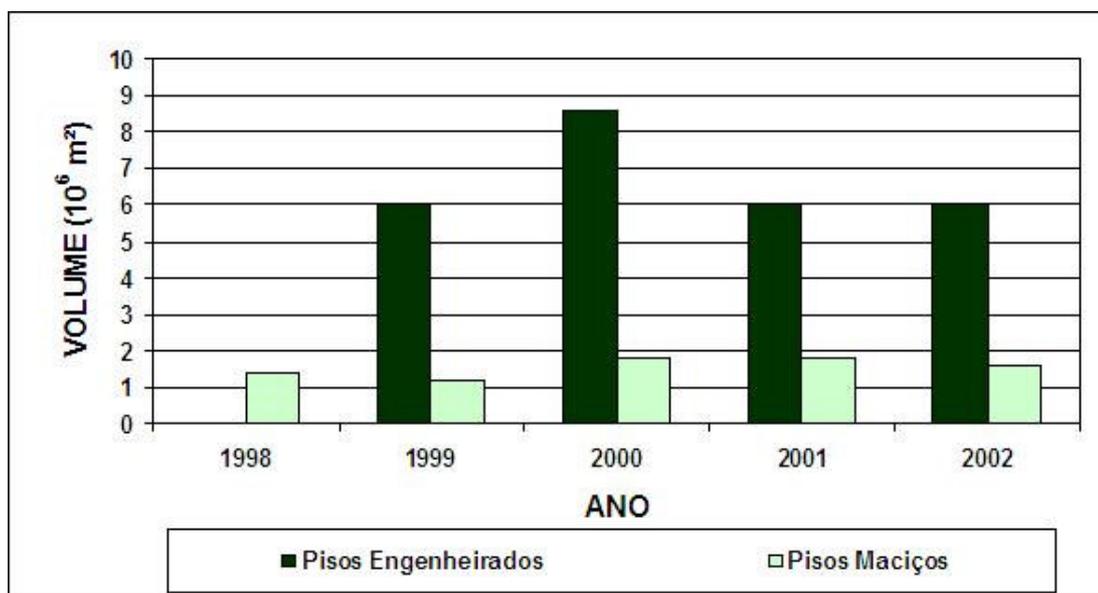


Figura 9 - Exportações brasileiras de pisos a base de madeira (Fonte: ABIMCI, 2003)

No caso dos pisos a base de madeira, englobando os maciços e os engenheirados, o valor das exportações tem sido crescente, passando de US\$ 40 milhões 1998 para US\$ 89 milhões em 2002. Estima-se que os pisos de madeira maciça representem cerca de 30% do valor das exportações em 2002.

Embora os valores obtidos no comércio internacional sejam animadores, a competitividade do produto nacional está fundamentada na estratégia de preços inferiores à média. No mercado europeu, por exemplo, os pisos maciços produzidos no Brasil são comercializados por um valor cerca de 20% menor do que a média praticada por outros fornecedores. Segundo SIMULA (2001), fornecedores da Indonésia praticam um preço médio 38% maior do que o similar nacional.

Dentre as possíveis razões para o descrédito do piso maciço produzido no Brasil, SIMULA (2001) e TISSARI (2001) apontam a falta de confiabilidade no fornecedor brasileiro, padrão variável na qualidade e que usualmente é inferior ao desejável, oferta concentrada em poucas espécies, e estratégia inadequada para a conquista de mercados (preços inferiores). Como estratégias para reverter a situação os mesmos autores recomendam, além de uma política governamental de incentivo à produção e à exportação, o estabelecimento de padrões de qualidade fundamentados em especificações para o produto e aprimoramento no processo produtivo pela incorporação de tecnologia.

No enfoque da indústria nacional (REVISTA DA MADEIRA, 2002), os principais obstáculos são a ausência de especificações técnicas que permitam quantificar a qualidade do produto, e a inexistência de iniciativas ou ações institucionais para atender às necessidades dos usuários.

A ausência de especificações técnicas para o produto (piso de madeira maciça) acarreta, para a indústria, diversos inconvenientes, tais como:

- dificuldade de organizar a produção e criar a mentalidade da “qualidade construída” no processo produtivo;

- comparar produtos originários de diferentes indústrias e destacar as características de qualidade propriamente ditas;
- estabelecer responsabilidades junto ao consumidor doméstico e consolidar a credibilidade perante os consumidores externos.

Tendo como meta prioritária o encaminhamento dessas questões, a ANPM – Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira Maciça, estabeleceu como principal ação institucional o desenvolvimento de um Programa de Qualidade para os pisos de madeira maciça.

A especificação NBR6451 (ABNT, 1984), referente a taco de madeira para assoalho, é bastante antiga e muito simples, insuficiente para atender as demandas atuais do consumidor doméstico. Como alternativa, algumas associações de classe, citando-se o exemplo do SINDIMASP, buscaram definir orientações para o recebimento de materiais; porém são iniciativas de abrangência local.

As especificações existentes nos mercados externos, como, por exemplo, as adotadas na Itália, na Espanha ou na América do Norte, trazem detalhes específicos do mercado local e que nem sempre são facilmente aceitas ou compreendidas pela indústria nacional.

O desafio do Programa de Qualidade da ANPM é o de estabelecer especificações técnicas que possam ser executadas pela indústria e, ao mesmo tempo, atender as diferentes necessidades e demandas dos mercados interno e externo.

2.7.2 Problemas pós-consumo dos pisos de madeira maciça

Os defeitos detectados nos pisos de madeira maciça, quando inseridos no sistema construtivo, têm como causas principais: má qualidade do produto, erros na instalação e má conservação por parte do usuário.

Segundo Galina¹, mesmo quando o produto apresenta uma boa qualidade, podem aparecer defeitos devido ao assentamento incorreto. Erros como excesso ou falta de cola, ausência de espaço para dilatação (entre o piso e o rodapé), excesso de umidade no contrapiso, são comuns.

Quando o piso é instalado utilizando-se uma quantidade excessiva de cola, a água presente no adesivo é absorvida pela madeira, provocando a movimentação dimensional. Como resultado, ocorre o inchamento e o “estouro” do piso. O mesmo ocorre quando o piso é assentado sobre o contrapiso com umidade acima de 3,5%, ou quando é instalado em áreas úmidas (contrapiso abaixo do nível do terreno, próximo a banheiro, cozinha, etc.) sem uma correta impermeabilização. Outro problema provocado pelo excesso de umidade é o surgimento de fungos emboloradores e manchadores por baixo do piso.

Alguns assentadores utilizam uma quantidade de cola menor do que a recomendada pelos fabricantes. Como consequência, o piso descola do contrapiso, podendo provocar acidentes como tropeços, por exemplo.

Outro erro comum na instalação é o de não deixar um espaço de pelo menos 1,5 cm entre o piso e o rodapé. Este espaço é fundamental para que a madeira possa dilatar; na ausência de espaço, o piso não tem para onde expandir e “estoura”.

Também aparecem defeitos devido à má conservação por parte dos usuários. Muitas pessoas acreditam que o piso de madeira resiste a tudo. Não têm o cuidado de evitar que a água escorra para o quarto enquanto lavam o banheiro, deixam a janela aberta em dias de chuva, lavam o piso com o pano de chão e outros. Como consequência, ocorre o empenamento, inchamento e mudança na coloração (Galina¹).

¹ Galina, I.C.M. Comunicação pessoal, 2005.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Considerando-se a inexistência (ou desconhecimento) de um método laboratorial padronizado para acompanhar e avaliar a interação entre o concreto e a madeira, buscou-se desenvolver uma metodologia que permitisse:

- medir o teor de umidade do concreto;
- quantificar a água evaporada durante a secagem;
- avaliar o comportamento do piso de madeira quando aplicado no substrato de concreto.

A implicação sob o enfoque metodológico, é a de que os ensaios foram modificados a medida em que se obtinham resultados.

3.1 Corpos de prova de concreto

Considerando que o tamanho dos corpos de prova de concreto envolve variações em características como a área para evaporação e a massa de água a ser evaporada, dentre outras, o primeiro ensaio teve como objetivo definir a dimensão mais adequada.

Os corpos de prova de concreto foram preparados utilizando-se formas de alumínio com duas dimensões: formas grandes (37,0 cm x 27,0 cm x 6,0 cm) e formas pequenas (26,0 cm x 15,0 cm x 6,0 cm). Optou-se pelas formas de alumínio por se tratar de um material não higroscópico.

O concreto foi preparado com traço 3:1:1 (3 partes de areia: 1 parte de cimento: 1 parte de brita) por se tratar do traço mais utilizado na execução de

contrapisos (BAUER, 2000). Para tanto foram utilizados areia média, pedra 01 e cimento Portland CP 250. A relação água/cimento foi mantida em torno de 0,5.

A Figura 10 mostra a preparação do concreto e a Figura 11 mostra os corpos de prova antes da colocação dos sensores.



Figura 10 – Materiais utilizados para preparação do concreto, (a) areia média e brita 1, (b) componentes do concreto na betoneira

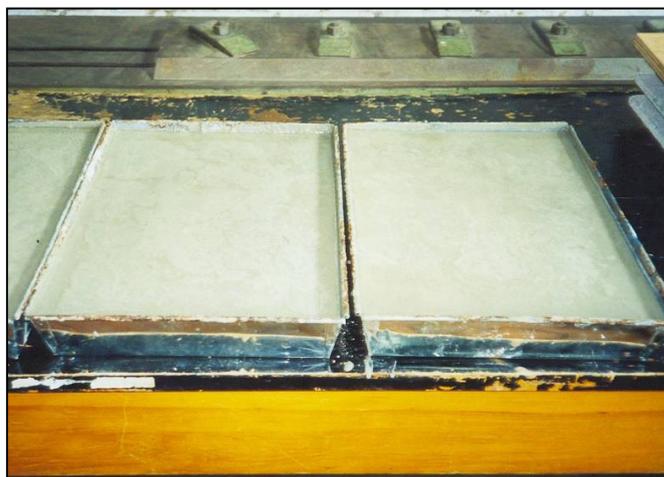


Figura 11 - Corpo de prova de concreto antes da colocação dos sensores

No centro de cada corpo de prova foi colocado um par de sensores, distantes 12,0 cm entre si, para a realização da medição de umidade do

concreto através do medidor elétrico de umidade tipo resistência. Os sensores utilizados têm 5,0 cm de comprimento, corpo isolado com revestimento cerâmico, e a distância entre sensores é uma recomendação do fabricante do aparelho.

O concreto foi mantido nas formas de alumínio, a fim de limitar a área de evaporação superficial de água. As formas e os respectivos sensores para medição do teor de umidade foram previamente pesados para a determinação de suas massas individuais. A Figura 12 mostra o corpo de prova de concreto pronto para o início do ensaio.

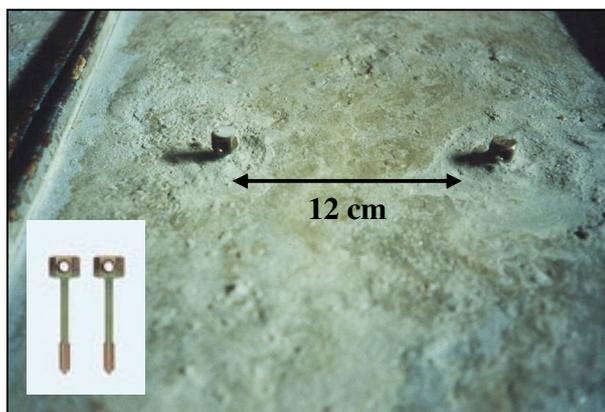


Figura 12 - Corpo de prova de concreto após a colocação dos sensores para medição da umidade. No detalhe, sensores com o corpo isolado.

Foram preparados 10 corpos de prova, 5 em formas e 5 em formas grandes, e colocados para secagem ao ar por 60 dias. Durante o período de secagem foram coletadas informações visando determinar a curva de secagem e obter as equações de correção para os medidores elétricos de umidade.

Os medidores elétricos de umidade são instrumentos úteis por serem portáteis, fáceis de usar e apresentarem resultados imediatos. Contudo, a medição do teor de umidade é baseada em características intrínsecas do material, como a composição química e a massa específica, tornando necessária a elaboração de curvas de correção.

Para estimar o teor de umidade do concreto foram avaliados dois medidores elétricos com diferentes princípios de funcionamento, ou seja, um medidor do tipo resistência (Lignomaster G1000) e um do tipo capacitivo (Merlin PM1-E).

Os corpos de prova de concreto (Figura 12) foram pesados diariamente durante os primeiros 15 dias de ensaio, passando a pesagens a cada 03 dias após este período. Na seqüência de cada pesagem, a umidade do concreto foi medida utilizando-se os dois medidores elétricos de umidade. Assim, o processo de secagem dos 10 corpos de prova foi acompanhado através da perda de massa (método gravimétrico) e com os medidores elétricos de umidade.

Para a realização das medições de umidade do concreto, o aparelho Lignomaster, foi calibrado na escala 1 e temperatura ambiente. O aparelho Merlin foi calibrado para massa específica de $1,00 \text{ g/cm}^3$ (limite máximo do aparelho) e espessuras de 30 mm e 40 mm. A Figura 13 mostra os medidores elétricos de umidade utilizados durante o ensaio.



Figura 13 – Medidores elétricos de umidade: (A) medidor do tipo resistência, (B) medidor do tipo capacitivo

Quando as amostras de concreto atingiram massa constante, as formas foram levadas á estufa com temperatura de 103°C (± 2), para a determinação da massa seca. Com os valores das massas úmidas, registradas ao longo do ensaio, e da massa seca foi calculado o teor de umidade real, para cada amostra de concreto, através eq. 2.

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} * 100 \quad (2)$$

onde:

U = umidade base seca, em porcentagem;

m_u = massa úmida corrente, em g;

m_s = massa seca, em g.

Após a determinação do teor de umidade real dos corpos de prova, através do método gravimétrico, calculou-se a correlação entre o teor de umidade real e o teor de umidade aferido com os medidores elétricos de umidade, aplicando-se análise de regressão.

3.2 Determinação da quantidade de água evaporável presente no concreto

O teste mais aceito pelos fabricantes americanos de revestimentos e adesivos, para medir a emissão de vapor do substrato de concreto, é o teste do cloreto de cálcio anidro, descrito no item 2.5.5. Os resultados obtidos para as taxas de emissão de vapor são adotados como referência para avaliar as condições de umidade do concreto. Porém, o teste do TCCA espelha somente o instante da emissão de vapor da umidade da parte superior do substrato de concreto e seu custo (US\$ 129,00 por caixa com 12 unidades) pode inviabilizar a sua aplicação em construções de pequeno porte.

Assim sendo, neste trabalho buscou-se o desenvolvimento de uma metodologia viável do ponto de vista prático e econômico; utilizando materiais

baratos e de fácil acesso a qualquer consumidor ou profissional que desenvolva atividades relacionadas à fabricação e instalação de pisos de madeira maciça.

3.2.1 Desenvolvimento de metodologia utilizando papel de filtro

Para este ensaio foram utilizados cinco corpos de prova de concreto, preparados em formas grandes de alumínio com dimensões de 37,0 cm x 27,0 cm x 6,0 cm, seguindo os procedimentos descritos em 3.1. No ensaio anterior, os sensores para medição da umidade com o medidor tipo resistência foram colocados no corpo de prova quando já estava em processo de cura, prejudicando o contato entre o sensor e o concreto. No presente ensaio, este conveniente foi evitado colocando-se os sensores no instante da preparação do corpo de prova, utilizando-se um gabarito para manter a distância entre eles.

Os procedimentos de pesagem dos corpos de prova, medições do teor de umidade e calibração prévia dos medidores foram os mesmos descritos em 3.1.

Com o objetivo de quantificar a água evaporável do concreto foram colocados, sobre os corpos de prova, discos de papel de filtro com diâmetro de 7,0 cm, os quais foram pesados antes de serem colocados sobre o substrato de concreto e ao final do ensaio. Os discos foram colocados sobre o substrato de concreto quando o mesmo apresentou teores de umidade estimados em 2,0%, 1,0% e 0,5%. Para cada teor de umidade foi colocado um disco sobre o substrato de concreto e um disco testemunha sobre placa de Petri.

Para evitar as trocas de umidade entre o papel de filtro e o ambiente foram colocadas placas de Petri sobre os discos de papel de filtro, como mostra as Figura 14.



Figura 14 - Corpo de prova com o disco de papel de filtro. No detalhe, disco testemunha em placa de Petri

Ao final do ensaio foi calculada a massa de água adsorvida pelos discos de papel de filtro, tanto para os utilizados como testemunhas (eq. 3), quanto para os discos colocados sobre o concreto (eq. 4).

$$m_{dt} = m_{fd} - m_{id} \quad (3)$$

$$m_{da} = m_{fd} - m_{id} - m_{dt} \quad (4)$$

onde:

m_{dt} = massa de água adsorvida pelo disco testemunha, em mg;

m_{da} = massa de água adsorvida pelo disco de papel de filtro colocado sobre o concreto, em mg;

m_{id} = massa inicial do disco de papel de filtro, em mg;

m_{fd} = massa final do disco de papel de filtro, em mg.

O método empregado não foi eficiente, pois apesar de ter ocorrido a adsorção de água pelo papel de filtro, este não teve capacidade de retenção de umidade ao longo do tempo, tornando necessário o desenvolvimento de uma nova metodologia, utilizando outro tipo de material.

3.2.2 Desenvolvimento de metodologia utilizando MDF

Visando obter uma amostra com capacidade de adsorção e retenção de umidade, optou-se pela utilização do MDF (chapa de fibras de densidade média, ou em inglês, “ **Medium Density Fiberboard**”). O MDF é uma chapa de fibras de madeira, portanto higroscópico, e permite a manufatura de amostras com maior volume do que o papel de filtro.

Três sarrafos de MDF, com dimensões de 60,0 cm x 6,0 cm x 1,8 cm, foram coladas entre si, torneados e seccionados, dando origem a cilindros com 6,0 cm de comprimento e 4,8 cm de diâmetro.

Em seguida, cada cilindro de MDF foi colocado dentro de um tudo de PVC e vedado com filme plástico e silicone somente em uma das extremidades. A extremidade sem vedação foi lixada com o objetivo de melhorar o contato entre o MDF e o concreto. A Figura 15 ilustra o processo de preparação das amostras de MDF.

Para a realização do ensaio foram preparados cinco corpos de prova de concreto, utilizando-se formas com dimensões de 37,0 cm x 27,0 cm x 6,0 cm. Assim como nos ensaios anteriores, foram colocados dois sensores no centro das amostras para a medição do teor de umidade com o medidor elétrico do tipo resistência.

Os procedimentos de pesagem dos corpos de prova, medição do teor de umidade e calibração prévia dos medidores foram os mesmos descritos em 3.1.



Figura 15 - Montagem dos corpos de prova de MDF: (1A) ripa individual de MDF; (1B) ripas coladas; (3B) ripas torneadas e cortadas; (4B) cilindro no interior do cano de PVC; (C) cilindros vedados com filme plástico e silicone

Quando os corpos de prova de concreto atingiram teores de umidade estimados em 2,0%, 1,0% e 0,5 %, as amostras de MDF foram colocadas sobre os mesmos, para que fosse quantificada a massa de água adsorvida no decorrer do tempo. Para cada lote de amostras colocado sobre o concreto foram colocadas, adicionalmente, 05 testemunhas em bandeja de alumínio, para comparação e correção da massa de água adsorvida.

As amostras de MDF foram pesadas no início do ensaio, e a cada três dias no seu decorrer, para o acompanhamento da massa de água adsorvida.

A Figura 16 ilustra as amostras de MDF posicionadas sobre o corpo de prova de concreto, correspondentes aos teores de umidade, no concreto, estimados em 2,0%, 1,0% e 0,5%.

Quando os corpos de prova de concreto atingiram massa constante, as amostras de MDF foram retiradas. Então, as formas de concreto foram levadas à estufa a 103°C (± 2) para a determinação da massa seca do substrato. Da mesma forma, os cilindros de MDF foram retirados do interior do cano de PVC e levados à estufa a 103°C (± 2) para a determinação da massa seca.



Figura

16 -

Corpo de prova de concreto com as amostras de MDF para os teores de umidade de 2,0%, 1,0% e 0,5%.

A adsorção de água das amostras de MDF durante o tempo de ensaio foi calculada, tanto para os cilindros colocados sobre o concreto, como para as testemunhas, através da eq. 5 (adsorção acumulada) e da eq. 6 (adsorção corrente).

$$m_{a(n)} = \frac{(m_{u(n)} - m_{ui})}{18,096} \quad (5)$$

$$m_{c(n)} = \frac{(m_{u(n)} - m_{u(n-1)})}{18,096} \quad (6)$$

onde:

$m_{a(n)}$ = massa de água adsorvida pelo cilindro de MDF até o dia n, em mg/cm²;

$m_{c(n)}$ = massa de água adsorvida pelo cilindro de MDF no período decorrido entre duas pesagens consecutivas, em mg/cm²;

$m_{u(n)}$ = massa úmida corrente do cilindro de MDF no dia n, em mg;

m_{ui} = massa úmida do cilindro de MDF no início do ensaio;

$m_{u(n-1)}$ = massa úmida corrente do cilindro de MDF, obtida na pesagem imediatamente anterior ao dia n, em mg/cm²;

18,096 = área do cilindro de MDF em contato com o substrato de concreto, em cm².

As adsorções de água, acumulada e corrente, foram transformadas em taxas de adsorção (mg/cm².dia) aplicando-se as eq. 7 e 8. O teor de umidade das amostras foi calculado pela eq. 3.

$$Tx_{a(n)} = \frac{m_{a(n)}}{n} \quad (7)$$

$$Tx_{c(n)} = \frac{m_{c(n)}}{N} \quad (8)$$

onde:

$Tx_{a(n)}$ = taxa de adsorção acumulada de umidade, pelo cilindro de MDF, até o dia n, em mg/cm².dia;

$Tx_{c(n)}$ = taxa de adsorção corrente de umidade pelo cilindro de MDF, observada no período decorrido entre duas pesagens consecutivas, em mg/cm².dia;

$m_{a(n)}$ = massa de água adsorvida pelo cilindro de MDF até o dia n, em mg/cm²;

$m_{c(n)}$ = massa de água adsorvida pelo cilindro de MDF no período decorrido entre duas pesagens consecutivas, em mg/cm²;

n = período de tempo para o qual foi calculado $m_{a(n)}$, em dias;

N = período de tempo decorrido entre as pesagens que resultaram $m_{c(n)}$, em dias.

Da mesma forma, foram calculadas a evaporação e a taxa de evaporação, acumuladas e correntes, dos corpos de prova de concreto ao longo do ensaio (eq. 9 a 12), bem como a massa de água evaporável (eq. 13) e o teor de umidade (eq. 3).

$$m_{a(n)c} = \frac{(m_{uic} - m_{u(n)c})}{999} \quad (9)$$

$$m_{c(n)c} = \frac{(m_{u(n)c} - m_{u(n-1)c})}{999} \quad (10)$$

$$Tx_{a(n)c} = \frac{m_{a(n)c}}{n} \quad (11)$$

$$Tx_{c(n)c} = \frac{m_{c(n)c}}{N} \quad (12)$$

$$m_{ec} = \frac{(m_{u(n)c} - m_{sc})}{999} \quad (13)$$

onde:

$m_{a(n)c}$ = massa de água evaporada pelo corpo de prova de concreto, até o dia n, em mg/cm²;

$m_{c(n)c}$ = massa de água evaporada pelo corpo de prova de concreto no período decorrido entre duas pesagens consecutivas. Em mg/cm²;

m_{uic} = massa úmida do corpo de prova de concreto no início do ensaio (n=0), em mg;

$m_{u(n)c}$ = massa úmida corrente do corpo de prova de concreto, no dia n, em mg;

$m_{u(n-1)c}$ = massa úmida corrente do corpo de prova do concreto, obtida na pesagem imediatamente anterior ao dia n , em mg/cm^2 ;

999 = área superficial do corpo de prova de concreto, em cm^2 ;

$Tx_{a(n)c}$ = taxa de evaporação acumulada de água pelo corpo de prova de concreto, até o dia n , em $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$;

$Tx_{c(n)c}$ = taxa de evaporação corrente de água pelo corpo de prova de concreto, observada no período decorrido entre duas pesagens consecutivas, em $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$;

n = período de tempo para o qual foi calculado $m_{a(n)c}$, em dias;

N = período de tempo decorrido entre as pesagens que resultaram em $m_{c(n)c}$, em dias;

m_{ec} = massa de água evaporável ainda contida no corpo de prova de concreto no dia n , em mg ;

m_{sc} = massa seca do corpo de prova de concreto, em mg .

As taxas de evaporação e adsorção foram relacionadas com o tempo de ensaio e também com o teor de umidade do concreto. Finalmente, foi observada a relação entre taxa de adsorção pelo cilindro de MDF e a taxa de evaporação do concreto.

As taxas foram calculadas para cada amostra de concreto e os correspondentes cilindros de MDF. Posteriormente foi calculada a média para cada dia de ensaio e aplicada análise de regressão com o objetivo de analisar a correlação existente entre as diferentes variáveis.

3.3 Adsorção de água e variação dimensional em tacos de Jatobá (*Hymenaea* sp)

O último ensaio visou a avaliação preliminar da interação do adesivo no sistema concreto-madeira, medindo-se a variação do gradiente de umidade em tacos de Jatobá (*Hymenaea* sp) colados sobre o concreto.

Para tanto, foram utilizados 06 tacos de Jatobá com dimensões de 100 mm x 400 mm x 18 mm, os quais foram cortados em amostras com dimensões de 100 mm x 80 mm x 18 mm, como mostra a Figura 17.

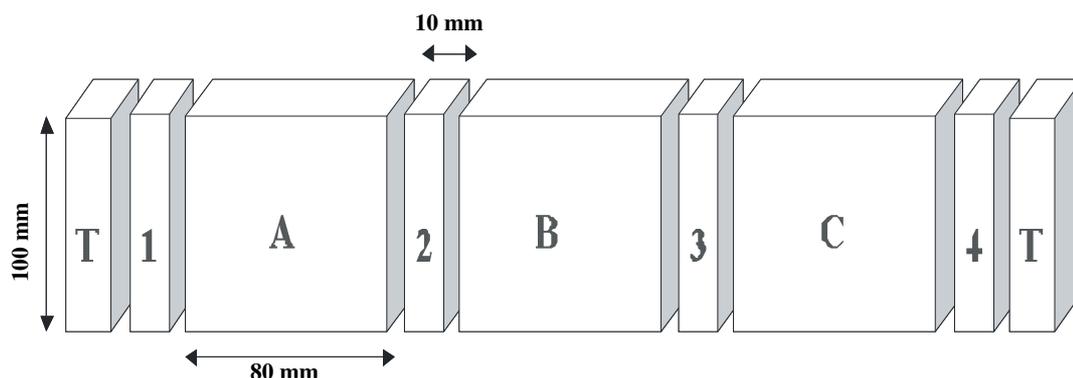


Figura 17 – Esquema de corte dos tacos de Jatobá

Os topos (T) foram descartados. As sub-amostras 1 a 4 foram usadas para determinação do teor de umidade pelo método gravimétrico (eq. 3). A umidade inicial das amostras A, B e C foi considerada como sendo igual a média das umidades das sub-amostras adjacentes, ou seja, $U_A = (U_1 + U_2)/2$; $U_B = (U_2 + U_3)/2$ e $U_C = (U_3 + U_4)/2$.

As amostras “A” foram destinadas ao ensaio, as amostras “B” usadas como testemunhas e as “C” reservadas para eventuais substituições.

Todas as amostras A e B tiveram as quatro laterais vedadas com adesivo epóxi e papel alumínio, e sensores colocados a 4 mm e a 17 mm de profundidade. As amostras “A” foram coladas sobre os corpos de prova de concreto e as amostras “B” foram coladas sobre uma forma de alumínio, material não higroscópico, utilizando-se adesivo a base de PVA com 60% de sólidos e aplicado com gramatura de 1000g/m² (8,0 g por amostra).

Os corpos de prova de concreto foram preparados em formas de alumínio (27,0 cm x 37,0 cm x 6,0 cm), seguindo-se os procedimentos descritos em 3.1

O teor de umidade dos corpos de prova de concreto foi estimado ao longo do ensaio através da aplicação das equações para correção das leituras de umidade obtidas com os medidores elétricos. Dessa forma, as 6 amostras “A” dos tacos de Jatobá foram coladas sobre o substrato quando o teor de umidade estimado do concreto apresentou valores em torno de 3,5%, o que corresponde a uma quantidade de água evaporável de 350 mg/cm². No mesmo instante foram coladas as 6 amostras “D” (testemunhas) sobre forma de alumínio..

A variação do teor de umidade das amostras foi acompanhada com a utilização do medidor elétrico de umidade do tipo resistência, calibrado para madeira de Jatobá de acordo com as recomendações do fabricante. A variação dimensional foi acompanhada por meio das medições com paquímetro, e as deformações na superfície (encanoamentos) foram medidas com o auxílio de lâminas calibradoras.

A Figura 18 ilustra os procedimentos operacionais do ensaio.

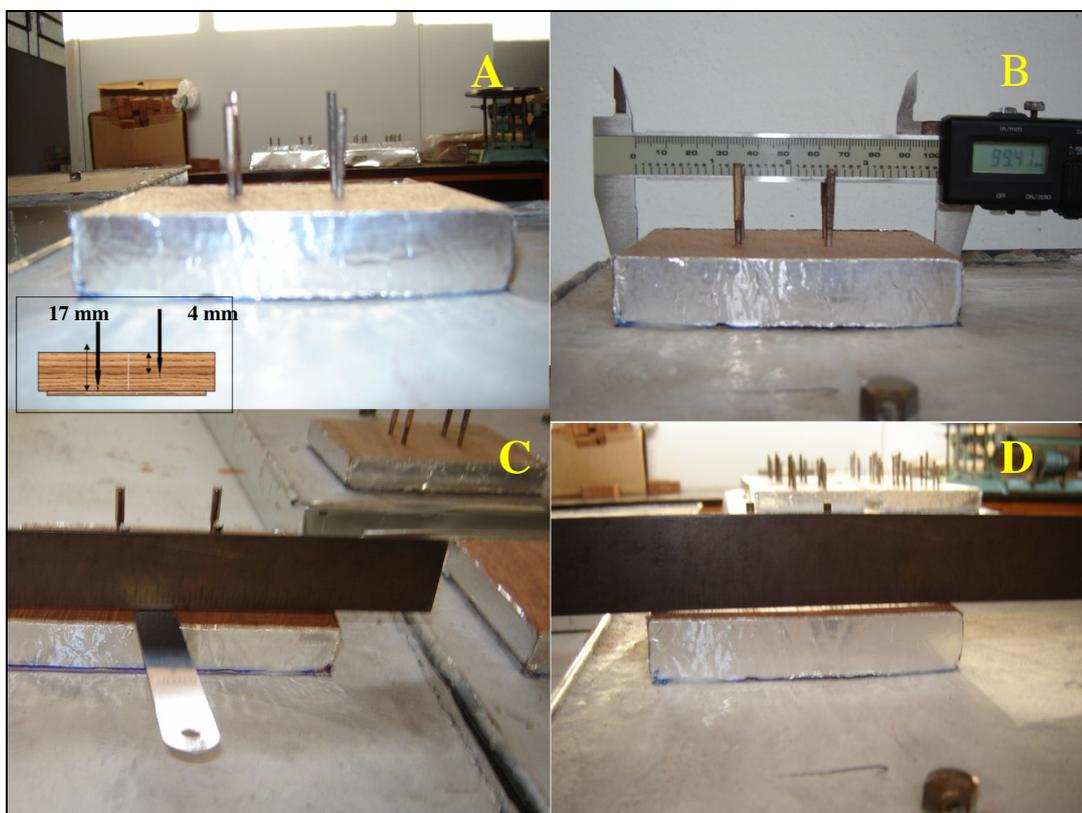


Figura 18 – Ilustrando os procedimentos operacionais do ensaio: (A) sensores colocados a duas profundidades; (B) medição da largura do taco; (C) e (D) medição da flecha

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que os ensaios foram conduzidos seqüencialmente, os resultados e a discussão dos mesmos são apresentados na mesma ordem.

4.1 Dimensões do corpo de prova de concreto

Os valores médios de massa corrente, massa seca e do teor de umidade medido com os dois medidores elétricos, para os dois tamanhos de corpo de prova de concreto, constam dos Anexos A e B.

O resumo da análise de regressão, relacionando a umidade determinada através do método gravimétrico e as leituras de umidade obtidas com os medidores elétricos, é apresentado na Tabela 4. Para o medidor Merlin foram analisadas as duas espessuras utilizadas, ou seja, 30 mm e 40 mm.

Tabela 4. Resumo dos resultados da análise de regressão

MEDIDOR	CORPO DE PROVA PEQUENO			CORPO DE PROVA GRANDE		
	A	B	R	A	B	R
	Lignomaster	-0,3949	0,0291	0,7784**	-0,3976	0,0288
Merlin (e = 30mm)	0,1167	0,0692	0,9342**	0,3868	0,0339	0,9220**
Merlin (e = 40mm)	-0,1638	0,1320	0,8557**	-0,2120	0,0927	0,8678**

** = teste t, aplicado ao coeficiente r, significativo ao nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 4 observa-se que, tanto para o medidor elétrico Lignomaster como para o medidor Merlin, os coeficientes de correlação, obtidos para corpos de prova pequenos e grandes são praticamente iguais. Em todas as equações, o teste t aplicado ao coeficiente R acusou significância ao nível de 1% de probabilidade.

Estes resultados permitem afirmar que tanto a dependência entre as variáveis, quanto o ajuste da equação, não são afetados pelo tamanho do corpo de prova, e que é possível estimar o teor de umidade do concreto com os dois medidores usados no ensaio.

Observa-se também, na Tabela 4, que os parâmetros A e B e o coeficiente R para o medidor Merlin são diferentes, dependendo da profundidade da medição para a qual foi calibrado o aparelho (30 mm ou 40 mm). Como esse medidor é do tipo capacitivo, essa diferença já era esperada, e pode refletir tanto um gradiente de umidade no sentido da espessura do corpo de prova de concreto como uma possível influência da forma de alumínio.

Como o objetivo do ensaio era comparar o tamanho dos corpos de prova de concreto, a discussão sobre a calibração do medidor Merlin será conduzida analisando-se também os resultados dos demais ensaios.

A comparação entre as equações obtidas para as formas pequenas e grandes, aplicando-se o teste t aos parâmetros A e B das equações da regressão linear, pode ser examinada na Tabela 5, enquanto que as retas da correlação entre os teores de umidade medidos por gravimetria e com os medidores elétricos são apresentadas nas Figuras 19 a 21.

No modelo de regressão estudado ($y = A + Bx$), o parâmetro A indica o ponto em que a reta intercepta o eixo das ordenadas, ou o valor de y quando $x=0$. Já o parâmetro B é a inclinação da reta, ou a alteração que ocorre em y, quando x varia em uma unidade.

Tabela 5. Teste t, aplicado aos parâmetros A e B das equações para os diferentes tamanhos de corpos de prova

MEDIDOR	CORPO DE PROVA			CORPO DE PROVA		
	PEQUENO		t	GRANDE		t
	A	A	calculado	B	B	calculado
Lignomaster	-0,3949	-0,3976	-0,32	0,0291	0,0288	0,01
Merlin (e = 30mm)	0,1167	0,3868	4,11**	0,0692	0,0339	5,34**
Merlin (e = 40mm)	-0,1638	-0,2120	3,32**	0,1320	0,0927	2,47**

** = teste t significativo ao nível de 1% de probabilidade

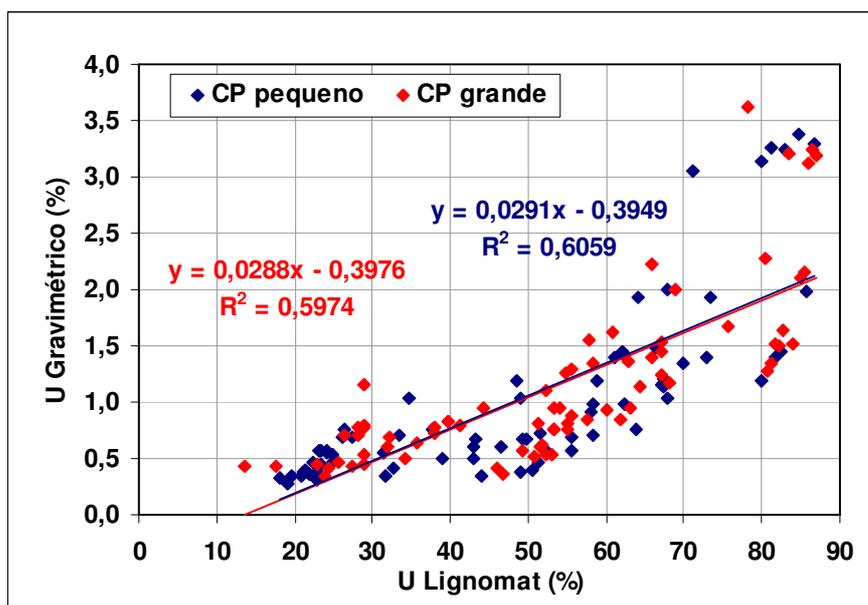


Figura 19 – Correlação entre o teor de umidade do concreto determinado pelo método gravimétrico e a medição feita com o medidor elétrico do tipo resistência, para os dois tipos de corpo de prova

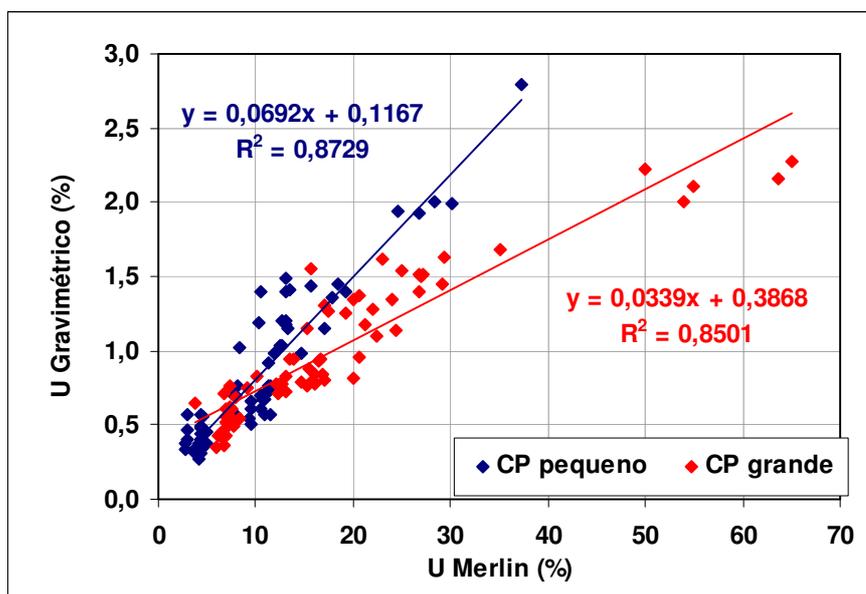


Figura 20 – Correlação entre o teor de umidade do concreto determinado pelo método gravimétrico e a medição feita com o medidor elétrico do tipo capacitivo ($e = 30\text{mm}$), para os dois tipos de corpo de prova

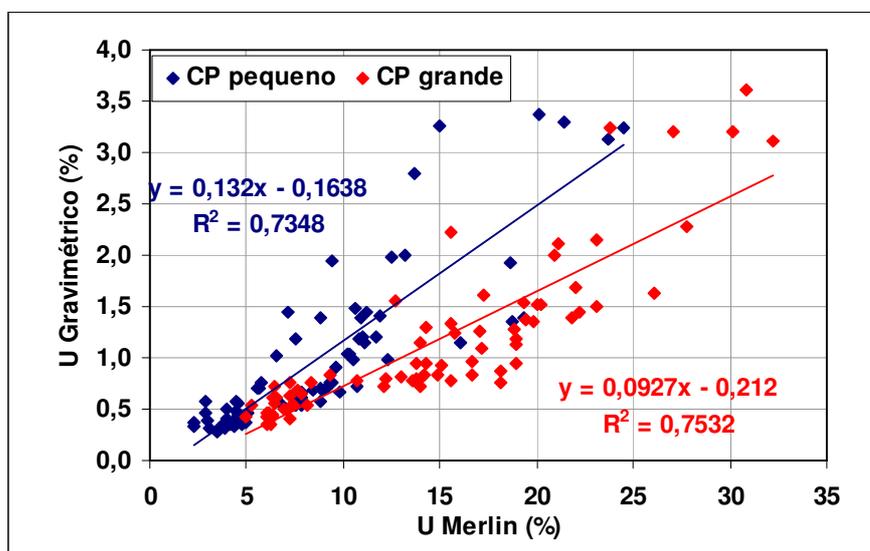


Figura 21 – Correlação entre o teor de umidade do concreto determinado pelo método gravimétrico e a medição feita com o medidor elétrico do tipo capacitivo ($e = 40\text{mm}$), para os dois tipos de corpo de prova

Na análise da Tabela 5 e da Figura 19 verifica-se que a medição da umidade do concreto com o medidor do tipo resistência (Lignomaster) não é afetada pelo tamanho do corpo de prova, com as retas das equações de correlação se sobrepondo. Este padrão de comportamento não foi observado para o medidor do tipo capacitivo (Merlin), conforme pode ser observado nas Figuras 20 e 212.

Contudo, as equações de correlação para o medidor capacitivo são válidas para os dois tamanhos de corpo de prova de concreto, confirmando que as dimensões do corpo de prova não interferem nas estimativas do teor de umidade.

A curva média de secagem dos corpos de prova pequenos e grandes pode ser visualizada na Figura 22. Observa-se que os corpos de prova grandes apresentaram secagem mais lenta a partir do terceiro dia, mas com uma diferença de apenas 0,07% (média de 5 corpos de prova) após 30 dias.

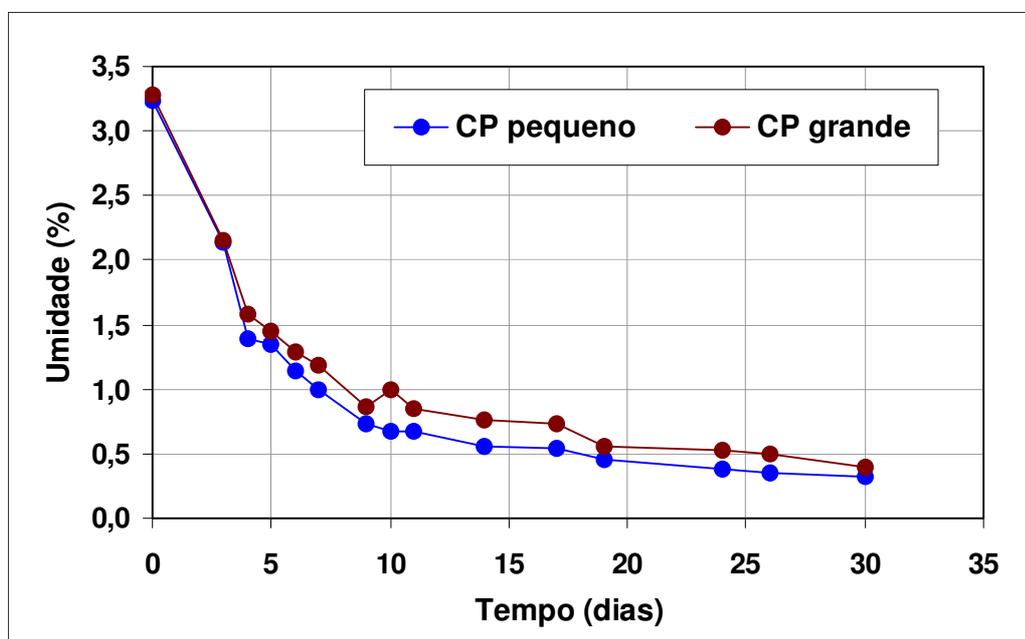


Figura 22 – Curvas de secagem dos corpos de prova de concreto

Considerando o comportamento em secagem, a viabilidade de estimar o teor de umidade com os medidores elétricos e, principalmente, a disponibilidade de maior área superficial para colocação de amostras de material ligno-celulósico (para avaliar a adsorção de umidade); decidiu-se pela utilização dos corpos de prova grandes (27,0 cm x 37,0 cm x 6,0 cm) nos demais ensaios.

Observou-se, neste ensaio, que a colocação dos sensores, para medidor do tipo resistência, quando o concreto já estava parcialmente curado não resultava no contato adequado entre o sensor e o concreto. Para evitar esse inconveniente, decidiu-se que, nos demais ensaios, seriam colocados no momento do enchimento das formas.

4.2 Quantificação da massa de água evaporável no concreto

O primeiro ensaio visando o desenvolvimento de metodologia para quantificação da água evaporável do concreto foi realizado utilizando-se papel de filtro e placas de Petri. Os resultados constam das Tabelas 6 a 8, respectivamente para teores de umidade no concreto iguais a 2,0%, 1,0% e 0,5%.

Tabela 6. Massa de água adsorvida do concreto pelo papel de filtro (umidade do concreto igual a 2,0%, 49 dias de permanência)

Amostra n°	massa (mg)			massa de H ₂ O (mg)			
	inicial	final	seca	inicial	final	adsorvida	corrigida*
Testemunha	380,0	343,0	320,0	60,0	23,0	-37,0	0,0
1	380,0	359,0	300,0	80,0	59,0	-21,0	16,0
2	370,0	357,0	310,0	60,0	47,0	-13,0	24,0
3	370,0	377,0	310,0	60,0	67,0	7,0	44,0
4	370,0	342,0	300,0	70,0	42,0	-28,0	9,0
5	370,0	369,0	320,0	50,0	49,0	-1,0	36,0
MÉDIA	372,0	360,8	308,0	64,0	52,8	-11,2	25,8

Nota: *massa de H₂O corrigida = massa de H₂O adsorvida pela amostra – massa de H₂O adsorvida pela testemunha

Tabela 7. Massa de água adsorvida do concreto pelo papel de filtro (umidade do concreto igual a 1,0%, 37 dias de permanência))

Amostra n°	massa (mg)			massa de H ₂ O (mg)			
	inicial	final	seca	inicial	final	adsorvida	corrigida*
Testemunha	400,0	391,0	350,0	50,0	41,0	-9,0	0,0
1	400,0	401,0	320,0	80,0	81,0	1,0	10,0
2	380,0	379,0	320,0	60,0	59,0	-1,0	8,0
3	390,0	388,0	340,0	50,0	48,0	-2,0	7,0
4	380,0	378,0	320,0	60,0	58,0	-2,0	7,0
5	390,0	397,0	340,0	50,0	57,0	7,0	16,0
MÉDIA	388,0	388,6	328,0	60,0	60,6	0,6	9,6

Nota: *massa de H₂O corrigida = massa de H₂O adsorvida pela amostra – massa de H₂O adsorvida pela testemunha

Tabela 8. Massa de água adsorvida do concreto pelo papel de filtro (umidade do concreto igual a 0,5%, 8 dias de permanência)

Amostra n°	massa (mg)			massa de H ₂ O (mg)			
	inicial	final	seca	inicial	final	adsorvida	corrigida*
Testemunha	350,0	350,0	330,0	20,0	20,0	0,0	0,0
1	350,0	363,0	330,0	20,0	33,0	13,0	13,0
2	350,0	372,0	320,0	30,0	52,0	22,0	22,0
3	350,0	374,0	320,0	30,0	54,0	24,0	24,0
4	350,0	374,0	330,0	20,0	44,0	24,0	24,0
5	350,0	381,0	330,0	20,0	51,0	31,0	31,0
MÉDIA	350,0	372,8	326,0	24,0	46,8	22,8	22,8

Nota: *massa de H₂O corrigida = massa de H₂O adsorvida pela amostra – massa de H₂O adsorvida pela testemunha

Os resultados do ensaio (Tabela 6 a 8) demonstram que o papel de filtro adsorveu umidade em todas as situações avaliadas; mas a dimensão (volume) e o formato do corpo de prova não permitiram a retenção da umidade adsorvida ao longo do tempo.

Os resultados mostram que, para papel de filtro colocado para a umidade do concreto igual a 0,5%, foi possível determinar a quantidade de água

adsorvida, devido ao menor tempo de permanência sobre o substrato de concreto. As amostras de papel de filtro adsorveram, em média, 23 mg de água.

A área de adsorção do disco de papel de filtro é de 38,485 cm². Portanto, a massa de água adsorvida por unidade de área pode ser estimada dividindo-se a massa de água adsorvida pelos discos de papel de filtro pela área total de adsorção. Temos então, um valor estimado de 0,598 mg/cm² ou 5,98 g/m².

Embora o papel de filtro não tenha sido um indicador confiável, foi possível comprovar que mesmo quando o concreto é considerado seco (umidade=0,5%), ainda persiste a liberação de umidade.

O papel de filtro, apesar de ter apresentado adsorção de água, não foi capaz de reter a umidade adsorvida do concreto ao longo do ensaio; provavelmente devido à pequena espessura do disco de papel. Além do volume do papel ser pequeno, a espessura inviabiliza a aplicação de um impermeabilizante para evitar a evaporação da umidade pela superfície lateral da amostra.

Considerando que as superfícies inferior e superior estiveram em contato com o vidro da placa de Petri, a perda de massa das amostras testemunhas ocorreu devido à evaporação pela superfície lateral.

Como alternativa, buscou-se um material higroscópico, também de origem celulósica, e que permitisse a confecção de corpos de prova com dimensões mais adequadas e capazes de proporcionar a retenção da água adsorvida ao longo do tempo. Foram, então, ensaiadas as amostras confeccionadas em MDF.

Os valores médios de massa corrente, massa seca e teor de umidade aferido com os dois medidores elétricos, para os corpos de prova de concreto, estão relacionados nos Anexos E e F. Os valores médios de massa corrente, para as amostras de MDF estão no Anexo G; e as taxas de evaporação do concreto e adsorção do MDF constam dos Anexos H e I.

A evaporação de umidade pelo concreto ao longo do tempo pode ser visualizada na Figura 23. A Figura 24 mostra a variação das taxas de

evaporação (corrente e acumuladas). Como esperado, as taxas são decrescentes, ou seja, a medida em que o concreto vai se tornando mais seco diminui a perda de umidade por unidade de tempo.

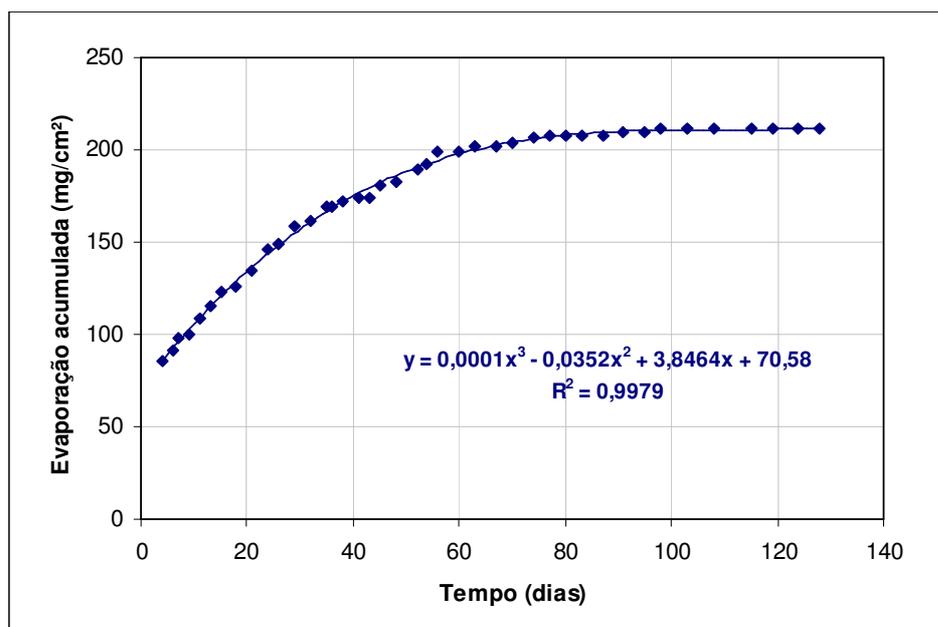


Figura 23 – Evaporação de umidade nos corpos de prova de concreto em função do tempo

Durante os primeiros 20 dias de ensaio, ocorreu uma maior redução da taxa de evaporação acumulada, (período em que o cimento atinge um grau de hidratação em torno de 50% e ocorre uma maior taxa de secagem), caindo de 36,24 mg/cm².dia para valores em torno de 6,41 mg/cm².dia. Esta redução ocorre porque a medida em que aumenta o grau de hidratação do cimento, ocorre uma redução do sistema de poros capilares; os quais são preenchidos pelos produtos da hidratação, reduzindo a capacidade de transporte de água e, conseqüentemente, a evaporação superficial.

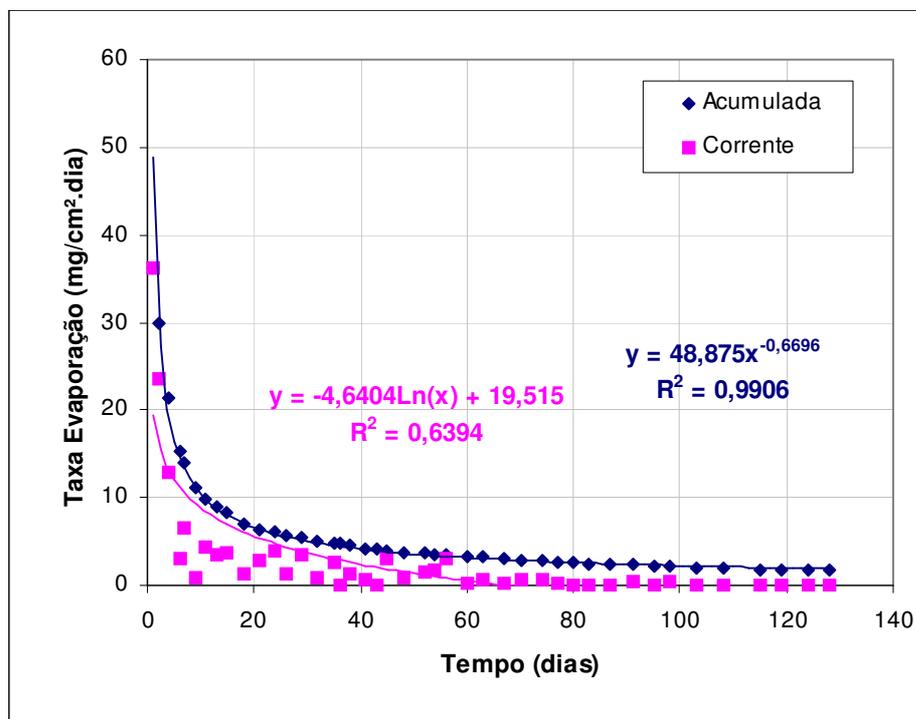


Figura 24 – Taxa de evaporação de umidade nos corpos de prova de concreto em função do tempo

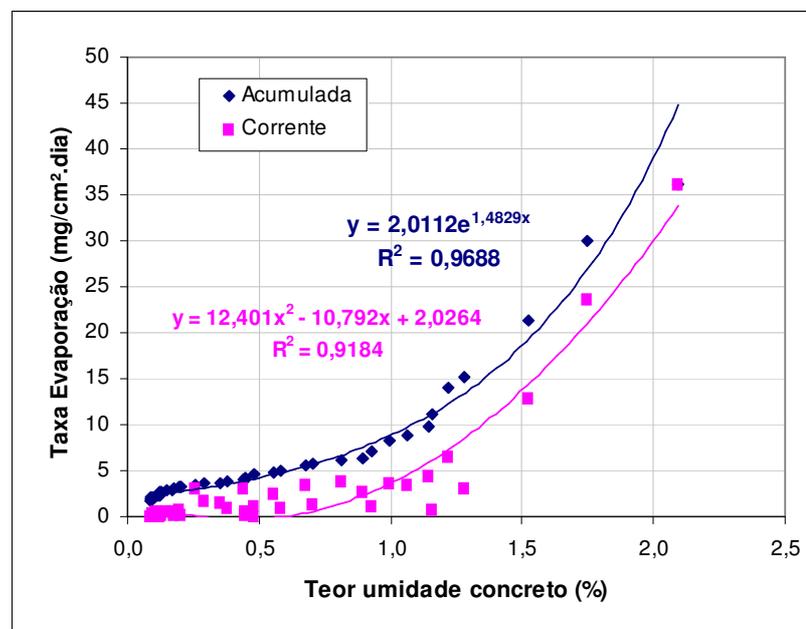


Figura 25 – Relação da taxa de evaporação com o teor de umidade do concreto

Após esse período a taxa de evaporação acumulada foi diminuindo lentamente até atingir valores mínimos de $1,65 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$, após 115 dias de ensaio.

Outro fator a ser observado é a variação na taxa de evaporação corrente. A taxa de evaporação corrente não é constante, ou seja, a quantidade diária de água evaporada pelo concreto varia ao longo do tempo, e tende a valores constantes apenas após 80 dias de ensaio. Aos 35 dias de ensaio, o teor de umidade do concreto era de 0,5%, e a taxa de evaporação correspondente foi de $2,6 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$ (Figuras 24 e 25).

Analisando a variação da taxa de evaporação corrente, pode-se notar que a massa de água evaporada por dia não acompanha a secagem do concreto. Por exemplo, quando o teor de umidade do concreto se encontrava em torno de 0,38%, a taxa de evaporação corrente foi de $3,10 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$ e quando o teor de umidade do concreto estava em torno de 0,30 %, a taxa de evaporação corrente foi de $1,55 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$; porém quando o teor de umidade do concreto se encontrava em torno de 0,35%, a taxa de evaporação corrente apresentou um valor de $0,87 \text{ mg/cm}^2.\text{dia}$. Esses valores mostram que a massa de água evaporada diariamente também sofre influência das condições de temperatura e umidade relativa do ambiente.

Mesmo estando abaixo do teor de umidade do concreto recomendado pelos fabricantes de piso de madeira como adequado á instalação do revestimento (menor ou igual a 3,5%), ainda está ocorrendo liberação de umidade, em quantidade suficiente para provocar a movimentação dimensional do piso de madeira.

Esta tendência pode vir a explicar alguns dos problemas apresentados pelos pisos de madeira, mesmo quando são seguidos todos os procedimentos recomendados para a instalação.

A análise da variação da evaporação da água contida no substrato de concreto tornou mais fácil a compreensão da variação das taxas de adsorção de água pelos cilindros de MDF.

A adsorção de umidade pelos cilindros de MDF é apresentada na Figura 26 e a Figura 27 mostra a variação das taxas de adsorção, em função da duração do ensaio.

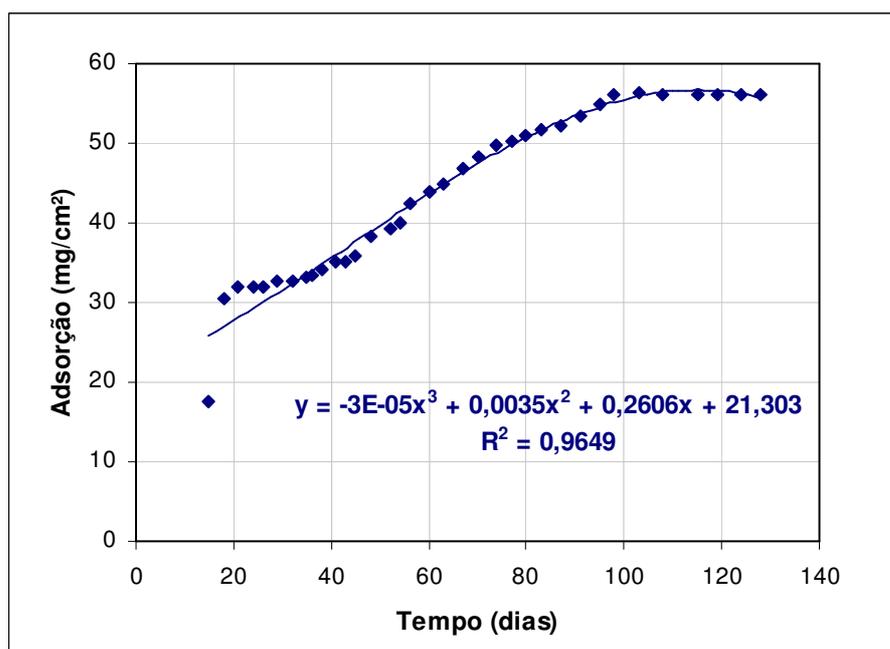


Figura 26 – Adsorção de umidade pelos cilindros de MDF em função do tempo

Os cilindros de MDF, devidamente vedados, foram colocados sobre os corpos de prova de concreto, aos 15 dias de ensaio, quando estes apresentaram teor de umidade estimado em 2,0%.

A adsorção de umidade é acentuada nos primeiros dias após a colocação dos cilindros de MDF sobre o concreto, sendo crescente até o centésimo dia de ensaio, estabilizando-se a partir desse ponto (Figura 26).

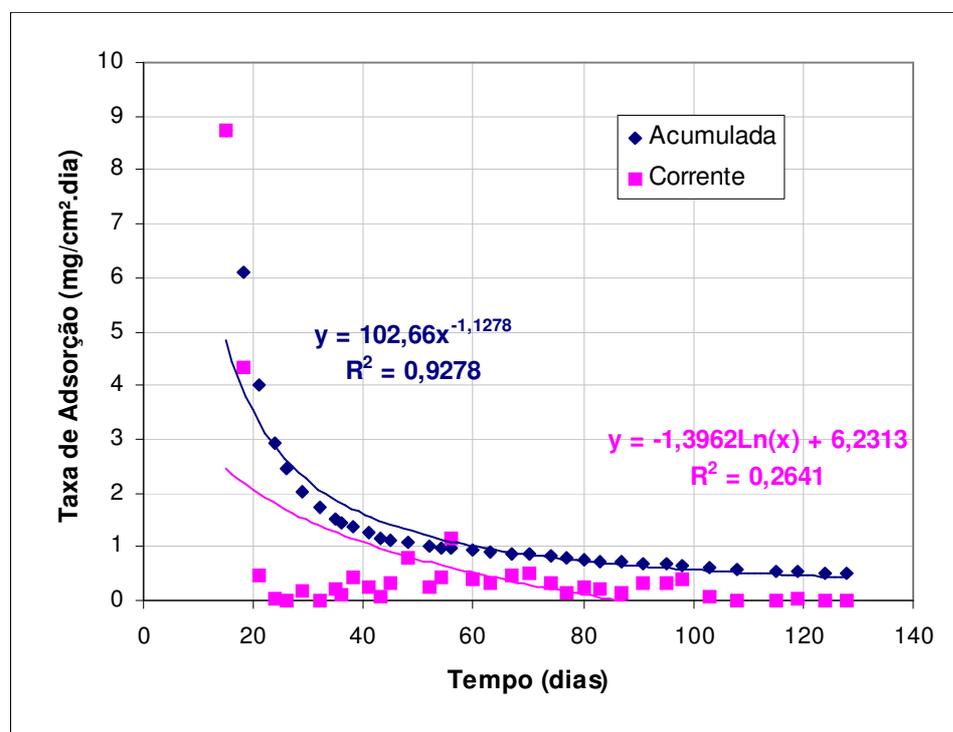


Figura 27 – Taxa de adsorção de umidade pelos cilindros de MDF em função do tempo

Na Figura 27 observa-se que a taxa de adsorção acumulada decresce ao longo do ensaio, seguindo a mesma tendência da taxa de evaporação do concreto. A taxa de adsorção acumulada atingiu o valor máximo de 8,73 mg/cm².dia após 2 dias sobre o concreto, período este que corresponde ao tempo de 15 dias de preparação do substrato de concreto.

Posteriormente, a taxa de adsorção sofre uma grande redução até os 32 dias de permanência sobre o concreto (45 dias de ensaio), atingindo a estabilidade após este período.

Já a taxa de adsorção corrente, ou seja, a massa de água adsorvida por dia, decresce em função do tempo, mas existe uma grande variação na quantidade de água adsorvida a cada dia. Por exemplo, após 30 dias sobre o concreto a taxa de adsorção foi de 0,35 mg/cm².dia; subindo para 0,52 mg/cm².dia após 57 dias, voltando a cair para 0,33 mg/cm².dia, após 61 dias.

Estes valores mostram que a taxa de adsorção corrente, similar à taxa de evaporação corrente do concreto, pode estar também relacionada com as condições de temperatura e umidade relativa do ambiente.

Analisando a taxa de adsorção em função do teor de umidade do concreto (Figura 28), é possível notar que a taxa de adsorção acumulada aumenta em função do teor de umidade do concreto. Já a variação da taxa de adsorção corrente, não segue a mesma tendência.

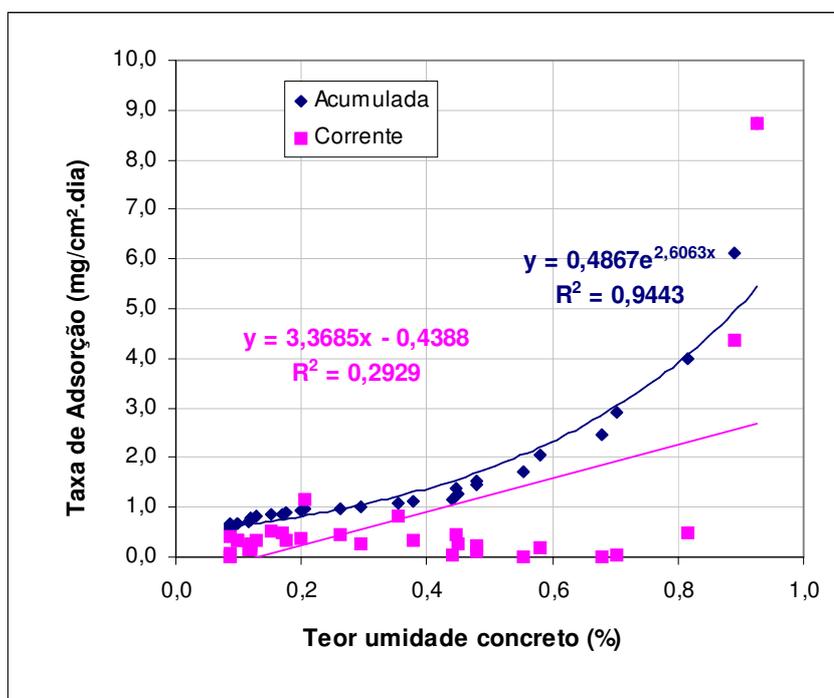


Figura 28 – Taxa de adsorção dos cilindros de MDF em função do teor de umidade do concreto

A relação da taxa de adsorção acumulada pelos cilindros de MDF com a taxa de evaporação acumulada pelo concreto, é ilustrada na Figura 29.

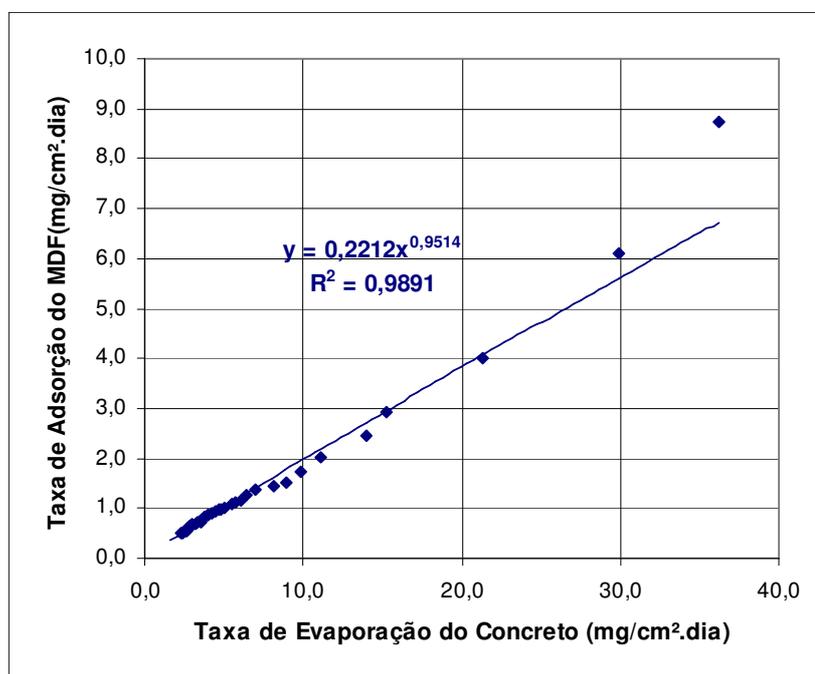


Figura 29 – Relação da taxa de adsorção acumulada dos cilindros de MDF com a taxa de evaporação acumulada do concreto

A Figura 29 mostra que a taxa de adsorção acumulada está correlacionada com a taxa de evaporação acumulada, ou seja, quanto maior a taxa de evaporação, maior a taxa de adsorção de umidade pelo cilindro de MDF.

Estes valores mostram que, mesmo o MDF sendo um material resultante de uma série de processos físicos e químicos que têm como um de seus principais objetivos evitar a adsorção de umidade pelo painel, este se mostrou eficiente como um indicador da presença de água evaporável no substrato de concreto.

Do exposto acima, conclui-se que a equação obtida através da análise de regressão aplicada aos dados de adsorção e evaporação acumuladas, pode vir a ser utilizada para estimar a massa ou a taxa de água evaporável presente no concreto; e que o MDF se mostrou eficiente como indicador da presença de água evaporável no concreto.

4.3 Curva de secagem do concreto

O processo de secagem do concreto foi acompanhado durante a realização dos ensaios descritos em 3.1 e 3,2, através da medição de umidade com os medidores elétricos e através do método gravimétrico. Os resultados constam dos Anexos A a F, e as respectivas curvas de secagem podem ser visualizadas na Figura 30.

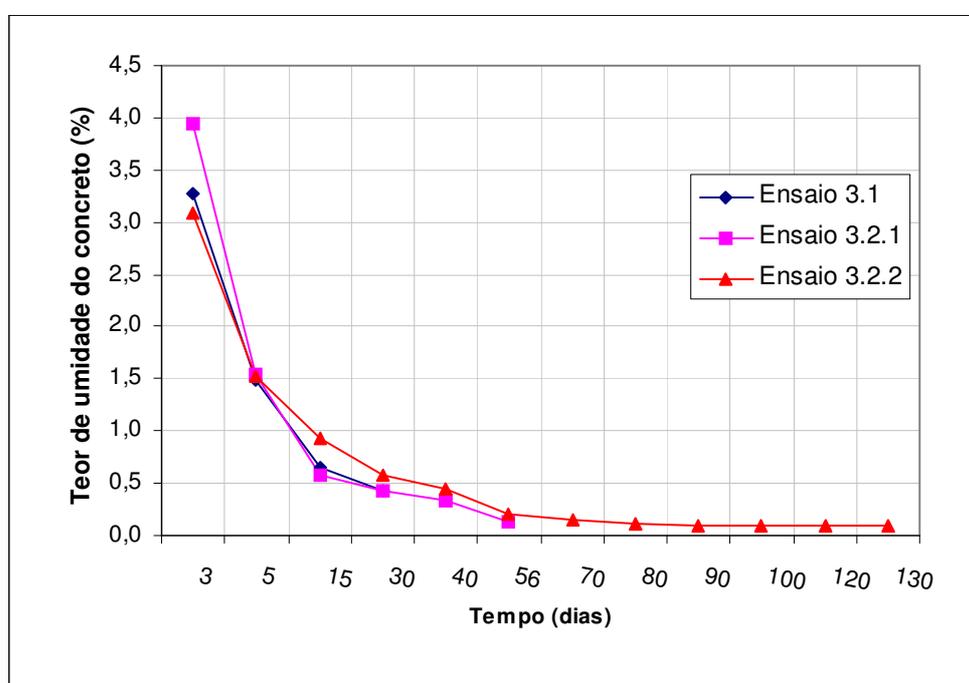


Figura 30 – Curvas de secagem dos corpos de prova de concreto

As curvas mostram uma maior velocidade de secagem durante os primeiros 15 dias, reduzindo-se após este período. De acordo com WIERING (1965), isto se deve ao fato de que o cimento atinge um grau de hidratação de 50% já nos primeiros 07 dias de cura. Após 30 dias, o cimento atinge um grau de hidratação de 75%, diminuindo a velocidade de secagem do concreto.

De acordo com NEVILLE (1997), o coeficiente de secagem do concreto 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 a medida em que a hidratação do cimento progride e menos água será transportada.

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. Em um concreto curado por um curto período de tempo, uma quantidade menor de cimento é hidratada, fazendo com que exista uma maior quantidade de água livre e um sistema capilar com maior capacidade de transporte da umidade.

Após 30 dias de cura, a velocidade de secagem do concreto diminui, mas isto não significa que o substrato está pronto para receber o revestimento de madeira. Isto significa que, mesmo estando curado, o substrato pode não estar pronto para receber revestimentos sensíveis à umidade, como os pisos de madeira maciça.

No Brasil, não existem normas que definam o tempo de ideal de cura para aplicação de pisos de madeira maciça. O revestimento é aplicado em função do cronograma da obra, sendo estabelecido um período mínimo de secagem do concreto de 28 dias. É usual constar, nos contratos de execução de serviços, uma cláusula isentando o aplicador e o fabricante do material utilizado para revestimento, da responsabilidade dos problemas decorrentes da umidade do concreto.

Um resumo dos tempos de secagem do concreto recomendados para a aplicação de revestimentos, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Tempos de secagem recomendados para o concreto

REFERÊNCIA	RECOMENDAÇÃO
ASTM E 1907-97	Seis semanas a seis meses
CRI - Carpet and Rug Institute	12 a 16 semanas
RFCI - Resilient Floor Covering Institute	Mínimo de 6 semanas
PCA - Portland Cement Association	Mínimo de 8 semanas
NBR 14050	A critério do projetista

Pela grande variação existente nos tempos indicados, nota-se a importância da realização de pesquisas para a determinação do tempo ideal de cura para a aplicação de revestimentos susceptíveis a umidade.

Na Figura 30 é possível verificar que após 45 dias de secagem o teor de umidade do concreto está em torno de 0,25%, e que poderia ser considerado como seco. Contudo, os ensaios de adsorção demonstraram que, mesmo com esse teor de umidade, ainda existe a liberação de água pelo concreto.

Esta observação reforça a necessidade de aprofundamento dos estudos para elucidar como ocorre a movimentação de umidade no sistema concreto-madeira.

4.4 Variação do teor de umidade em tacos de jatobá colados sobre substrato de concreto

Os resultados da variação dimensional e do teor de umidade, registrados tanto nos tacos colados sobre concreto quanto nos tacos testemunha, constam do Anexo J.

A variação do teor de umidade dos tacos foi analisada considerando-se os resultados obtidos para os sensores localizados a 17 mm de profundidade (Figura 31) e também para os sensores colocados a 4 mm de profundidade (Figura 32).

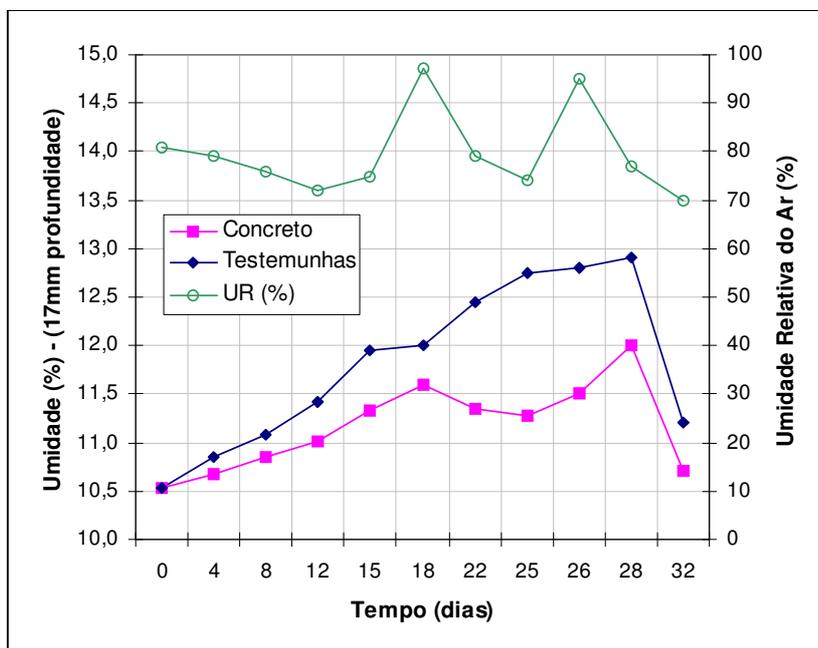


Figura 31 – Teor de umidade nos tacos de jatobá, à profundidade de 17 mm

O teor de umidade à profundidade de 17 mm das testemunhas apresentou um aumento crescente durante os primeiros 28 dias após a colagem. Já as peças coladas sobre o concreto apresentaram um aumento no teor de umidade durante os primeiros 18 dias após a colagem, havendo a redução do teor de umidade até o 25º dia, quando apresentou um pico de adsorção.

O aumento de umidade na superfície inferior do taco, observado entre o 25º e o 28º dia de ensaio, é coincidente com o aumento na umidade relativa do ar no período. A variação no ambiente também afetou a umidade na superfície superior (Figura 32) e, conseqüentemente, reduz a difusão de umidade no sistema (redução no gradiente de umidade entre as superfícies).

O perfil da variação do teor de umidade na superfície inferior, com os tacos colados no concreto sempre menos úmidos do que as testemunhas, é um indício de que parte da água presente no adesivo não é adsorvida pela madeira, uma vez que, foi aplicada uma mesma quantidade de cola para a

colagem das peças. Essa diferença provavelmente foi absorvida pelo concreto e, com o tempo, irá se difundir em direção à madeira.

Os resultados obtidos para os sensores colocados a 4 mm de profundidade (Figura 32), mostram que o teor de umidade na superfície, tanto para as testemunhas quanto para as peças coladas sobre o concreto, apresentou uma mesma tendência de variação, a qual está nitidamente associada a umidade relativa do ar.

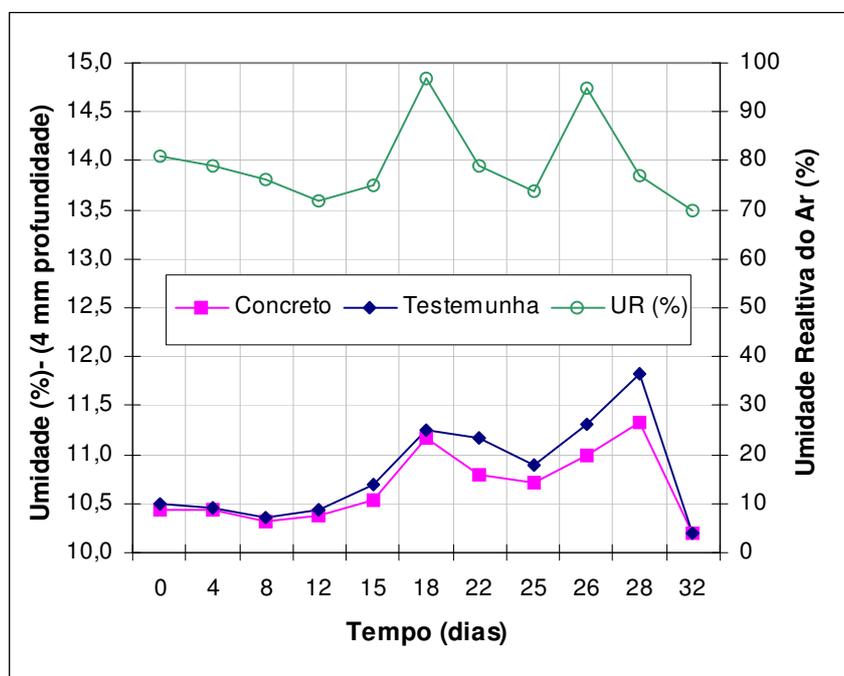


Figura 32 - Teor de umidade nos tacos de jatobá, á profundidade de 4 mm

A Figura 33 mostra a variação do gradiente de umidade em relação ao teor de umidade na superfície inferior das peças. Observa-se que o gradiente de umidade da testemunha apresenta pouca relação com a umidade na base da peça, ao contrário do gradiente de umidade das amostras coladas sobre o concreto. Considerando, adicionalmente, que o gradiente de umidade não apresentou correlação com o teor de umidade na superfície superior, pode-se

concluir que mesmo após a cura do adesivo, continua existindo um fluxo de umidade da base para a superfície.

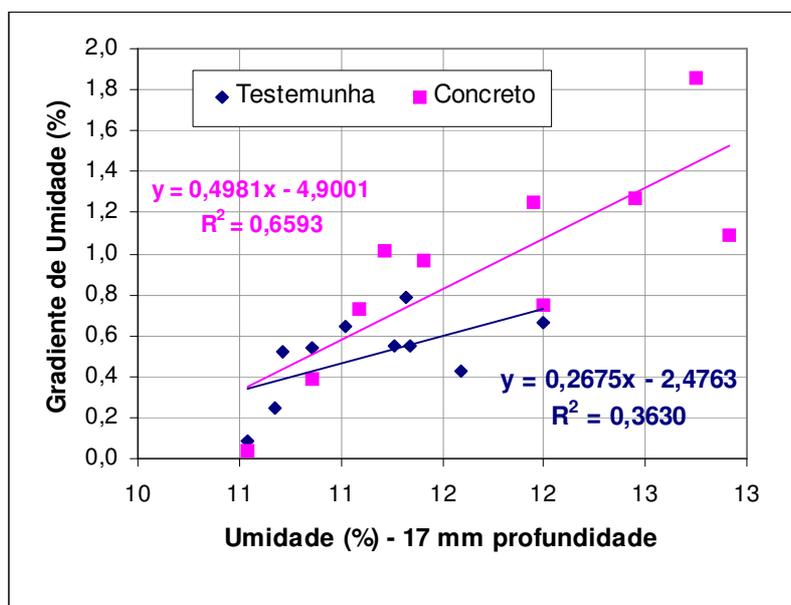


Figura 33 - Gradiente de umidade em função do teor de umidade a profundidade de 17 mm

A variação na largura dos tacos ao longo do ensaio pode ser observada na Figura 34 e a variação na flecha pode ser observada na Figura 35.

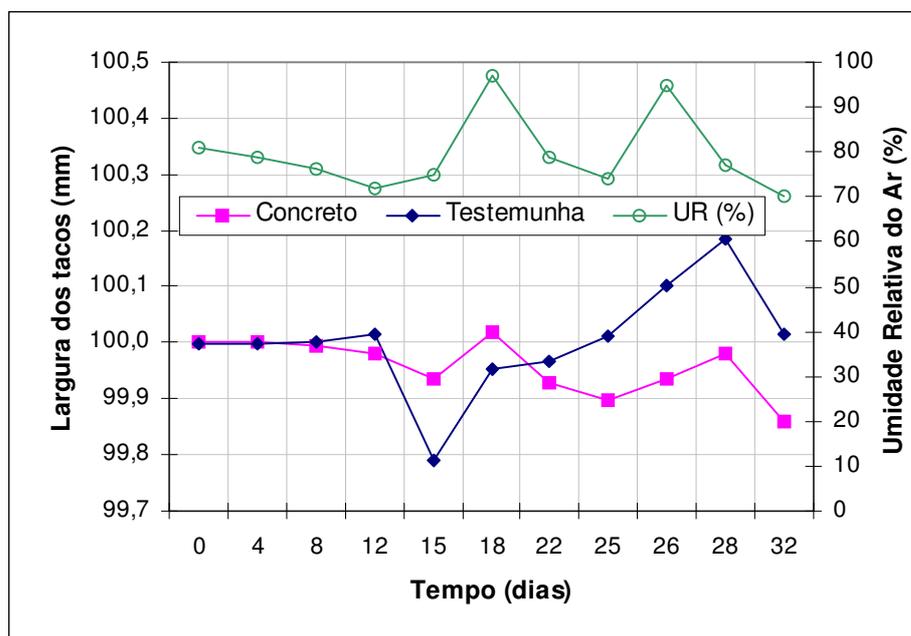


Figura 34 – Largura dos tacos de jatobá ao longo do ensaio

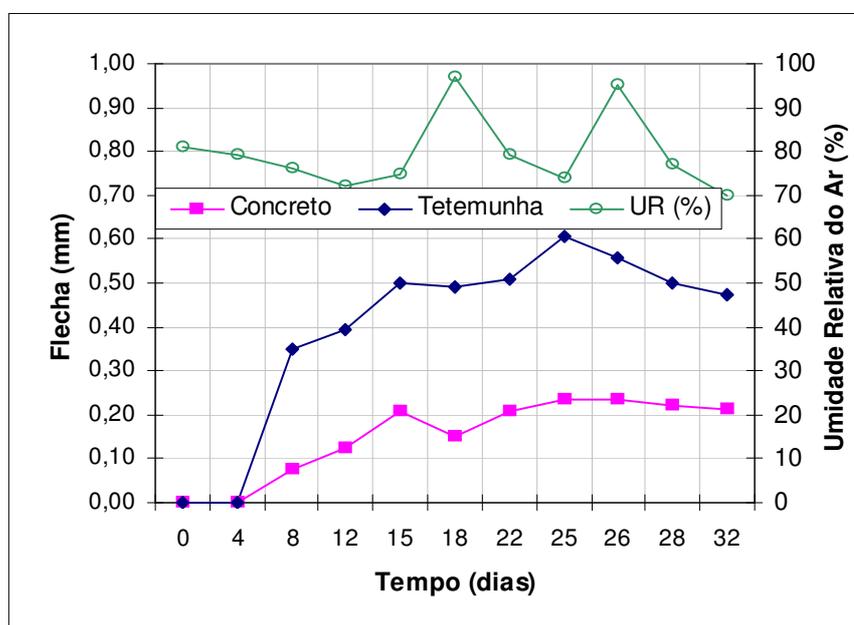


Figura 35 – Flecha dos tacos de jatobá ao longo do ensaio

Pode ser observado na Figura 34 que a variação na largura das peças coladas sobre o concreto seguiu a mesma tendência de variação da umidade

relativa do ar, o que não acontece com as testemunhas. O mesmo comportamento é observado com relação a variação da flecha (Figura 35), uma vez que quanto maior a umidade relativa do ar, menor é a transferência de umidade da peça para o ambiente e, conseqüentemente, menor a flecha.

A Figura 36 mostra a variação na largura das peças em relação ao gradiente de umidade. Pode-se observar que a variação na largura, tanto nas amostras coladas sobre o concreto como nas testemunhas, não apresenta relação com o gradiente de umidade.

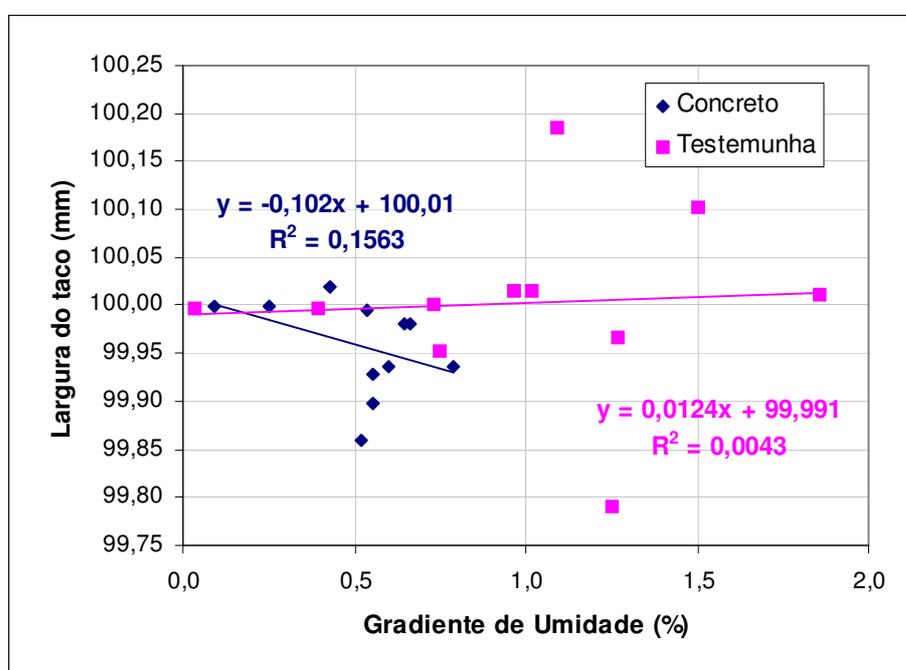


Figura 36 – Largura dos tacos em função do gradiente de umidade

A variação no tamanho da flecha apresentou relação com o gradiente de umidade, tanto para as testemunhas, quanto para as peças coladas sobre o concreto quanto para as testemunhas (Figura 37).

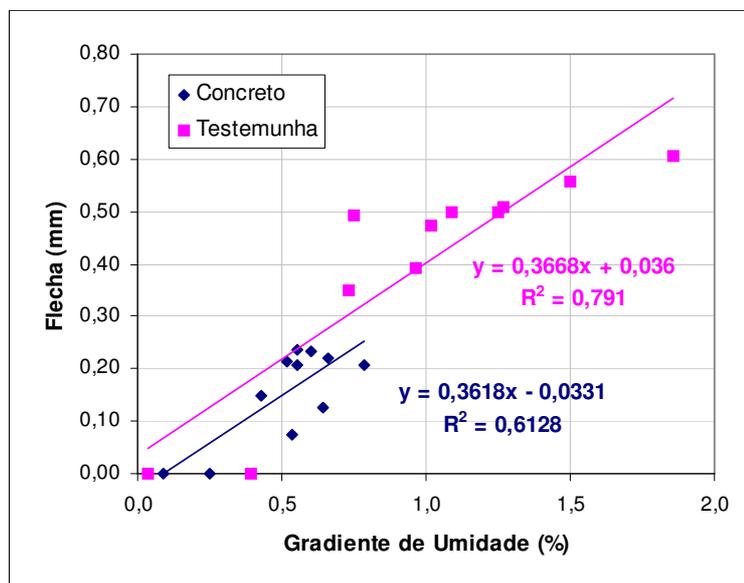


Figura 37 – Tamanho da flecha em função do gradiente de umidade

A Figura 38 mostra que a variação na largura não está relacionada ao teor de umidade na superfície inferior da peça, ao contrário da variação na flecha, que apresentou uma considerável relação. (Figura 39).

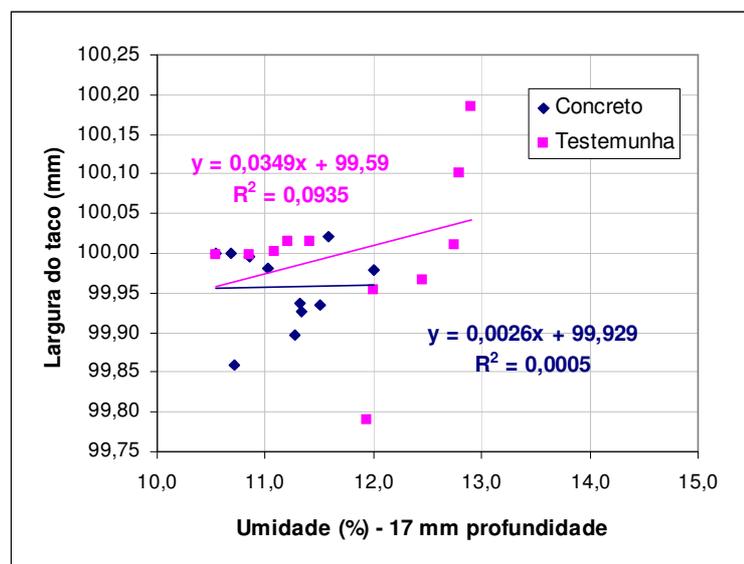


Figura 38 – Largura dos tacos em função do teor de umidade à profundidade de 17 mm

Esse inconveniente foi resolvido nos ensaios subseqüentes (3.2.1 e 3.2.2), através da colocação dos sensores no momento da preparação da massa.

Da mesma forma, a correlação existente entre o teor de umidade aferido com os medidores e o teor de umidade determinado através do método gravimétrico, foi analisada em todos os ensaios.

O medidor elétrico do tipo resistência (Lignomaster) mede a resistência elétrica entre dois pontos, portanto as leituras de umidade independem do tamanho da área superficial, podendo ser utilizados para medir o teor de umidade de um substrato de concreto independente de seu tamanho.

Por outro lado, o medidor elétrico do tipo capacitivo (Merlin) tem suas leituras de umidade afetadas pela espessura e volume da superfície a ser medida, sendo mais difícil se obter uma equação generalizada capaz de corrigir as leituras de umidade do aparelho em todas as situações.

As Figuras 40 a 42 mostram as equações para correção das leituras de umidade dos aparelhos utilizados nos ensaios.

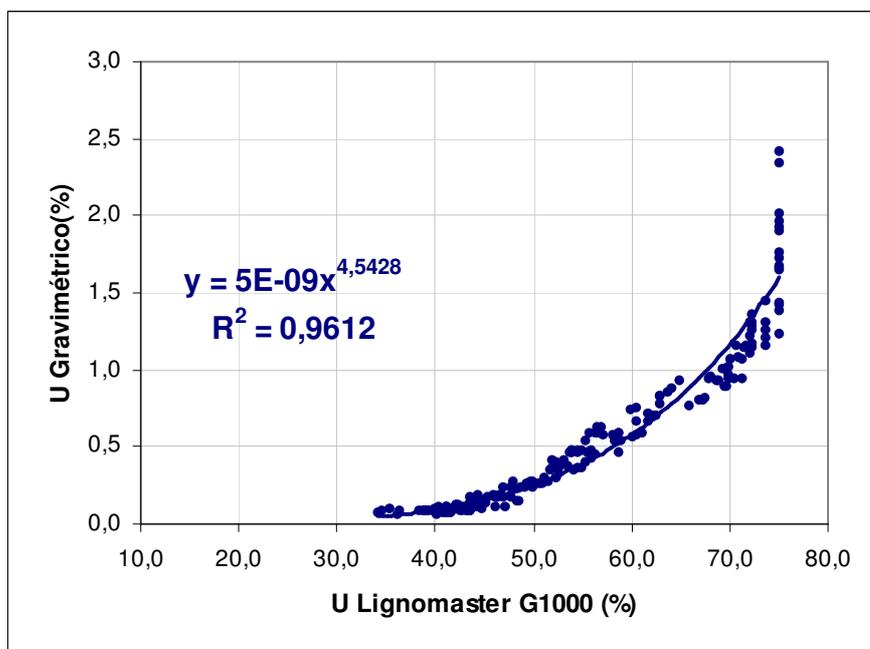


Figura 40 – Equação de correção para o medidor elétrico Lignomaster

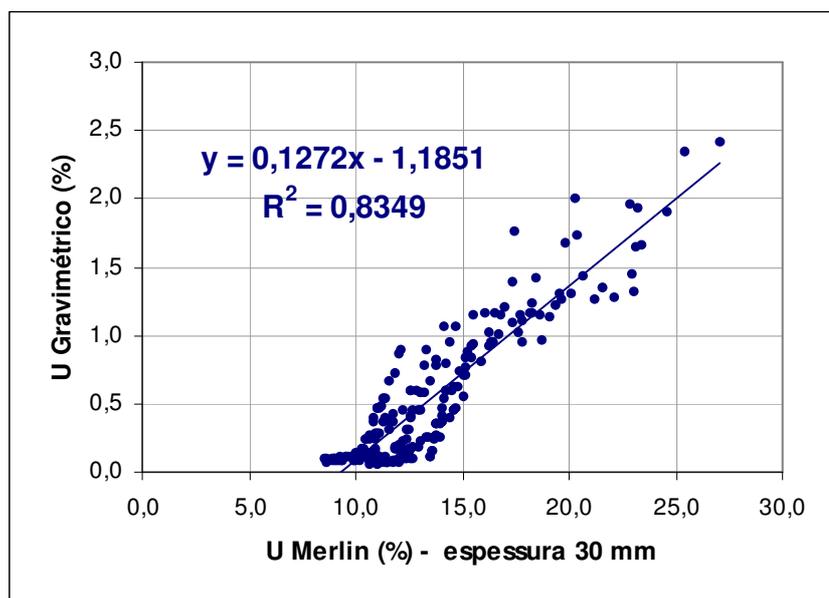


Figura 41 – Equação de correção para o medidor elétrico Merlin, ajustado para espessura de 30 mm

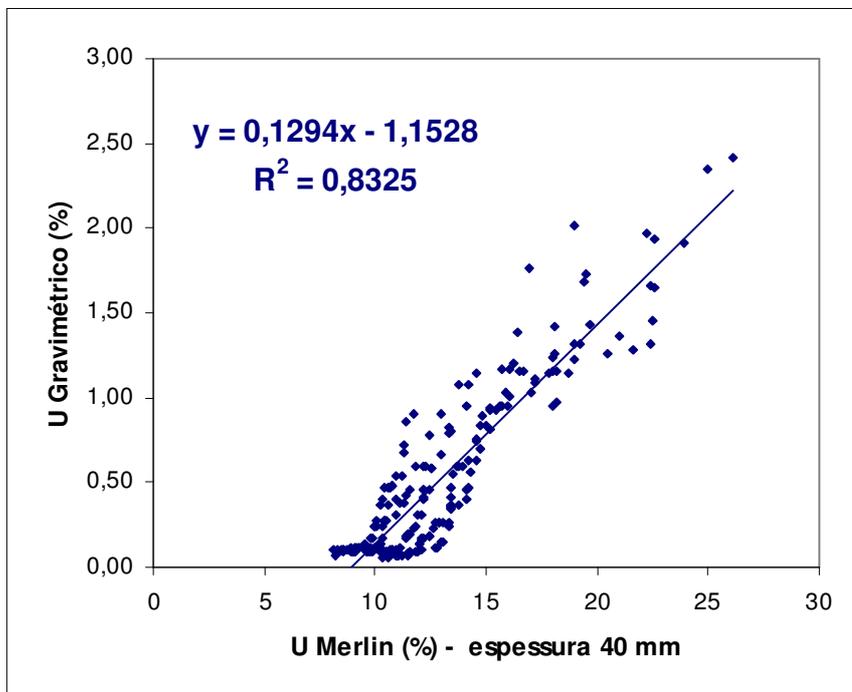


Figura 42 – Equação de correção para o medidor elétrico Merlin, ajustado para espessura de 40 mm

5 CONCLUSÕES

Com base na discussão e análise dos resultados obtidos, e para as condições em que foi desenvolvida a presente pesquisa, é possível concluir que:

- os medidores elétricos podem ser utilizados para estimar o teor de umidade do concreto;
- as medições feitas com o medidor elétrico do tipo resistência (Lignomaster G100) não foram afetadas pelo tamanho dos corpos de prova, e as leituras do medidor podem ser corrigidas pela equação $y = (5 \cdot 10^{-9})x^{4,5428}$, onde y é o teor de umidade do concreto e x é a leitura do aparelho;
- as medições feitas com o medidor elétrico do tipo capacitivo (Merlin PM1-E) foram afetadas pelas dimensões dos corpos de prova, não sendo possível uma equação generalizada para corrigir as leituras do aparelho;
- após 35 dias de cura o concreto apresentou teor de umidade abaixo do recomendado pelos fabricantes de pisos de madeira para a instalação do revestimento (<3,5%), porém ainda ocorreu evaporação de água em quantidade suficiente para causar danos ao revestimento de madeira;
- a taxa de adsorção de umidade pelas amostras de MDF está diretamente relacionada com a taxa de evaporação pelo concreto, e este método poderá ser utilizado para estimar a secagem do concreto;

- as amostras de MDF poderão ser utilizadas como um indicador da presença de água evaporável no concreto;
- quando o taco de madeira é colado sobre o substrato de concreto, parte da água presente no adesivo é absorvida pelo concreto, e mesmo após a cura do adesivo persiste o fluxo de umidade da base para a superfície do taco;
- o gradiente de umidade no sentido da espessura do taco está diretamente relacionado com o teor de umidade na superfície inferior do mesmo;
- tanto o gradiente de umidade como o teor de umidade na superfície superior do taco provavelmente sofrem também a influência das condições de temperatura e umidade relativa do ar;
- a magnitude das deformações (encanoamento) apresentadas pelos tacos estão diretamente relacionadas com o gradiente de umidade e com o teor de umidade na superfície inferior do taco.

Adicionalmente, os resultados obtidos no presente trabalho permitem as seguintes observações:

- recomenda-se a colagem do piso de madeira maciça após 60 dias de cura do concreto;
- a relação entre as variáveis envolvidas na movimentação da umidade no sistema concreto-madeira é complexa, sendo recomendável a continuidade das pesquisas visando um melhor entendimento do fenômeno.

ANEXOS

ANEXO A – Teor de umidade dos corpos de prova de concreto no decorrer do ensaio descrito no item 3.1.

	Data	μ u ⁽¹⁾	μ u corr. ⁽²⁾	ms final ⁽³⁾	ms final corr. ⁽⁴⁾	U real ⁽⁵⁾	U Lig	U Merlin	U Merlin
		(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
FORMAS PEQUENAS	3/11/2003	4289,68	4168,14	4157,96	4036,42	3,26	83,12		20,94
	6/11/2003	4244,00	4122,46	4157,96	4036,42	2,13	69,44	29,42	13,48
	7/11/2003	4214,18	4092,64	4157,96	4036,42	1,39	68,36	15,84	11,98
	8/11/2003	4212,12	4090,58	4157,96	4036,42	1,34	68,26	13,62	12,28
	9/11/2003	4203,90	4082,36	4157,96	4036,42	1,14	66,68	13,04	11,18
	10/11/2003	4198,28	4076,74	4157,96	4036,42	1,00	54,10	11,86	9,78
	12/11/2003	4187,78	4066,24	4157,96	4036,42	0,74	44,68	10,72	8,60
	13/11/2003	4185,28	4063,74	4157,96	4036,42	0,68	41,86	10,24	8,24
	14/11/2003	4185,02	4063,48	4157,96	4036,42	0,67	38,24	9,60	7,56
	17/11/2003	4180,20	4058,66	4157,96	4036,42	0,55	34,80	9,90	7,36
	20/11/2003	4180,02	4058,48	4157,96	4036,42	0,55	34,80	4,70	4,70
	22/11/2003	4176,14	4054,60	4157,96	4036,42	0,45	28,42	4,20	4,22
	27/11/2003	4173,18	4051,64	4157,96	4036,42	0,38	32,48	4,22	4,22
	29/11/2003	4172,06	4050,52	4157,96	4036,42	0,35	28,94	4,04	3,80
	3/12/2003	4170,98	4049,44	4157,96	4036,42	0,32	25,62	3,78	3,50
	5/1/2004	4157,96	4036,42	4157,96	4036,42	0,00	20,52	3,70	3,24
FORMAS GRANDES	Data	μ u ⁽¹⁾	μ u corr. ⁽²⁾	ms final ⁽³⁾	ms final corr. ⁽⁴⁾	U real	U Lig	U Merlin	U Merlin
		(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
	3/11/2003	13413,40	13073,07	12999,4	12658,87	3,27	84,22		28,80
	6/11/2003	13272,20	12931,87	12999,4	12658,87	2,16	74,96	57,54	21,70
	7/11/2003	13199,20	12858,87	12999,4	12658,87	1,58	74,36	28,72	21,56
	8/11/2003	13183,60	12843,27	12999,4	12658,87	1,46	72,16	25,12	19,96
	9/11/2003	13162,40	12822,07	12999,4	12658,87	1,29	69,68	21,62	18,24
	10/11/2003	13149,60	12809,27	12999,4	12658,87	1,19	53,48	19,12	16,60
	12/11/2003	13109,40	12769,07	12999,4	12658,87	0,87	51,82	17,80	14,44
	13/11/2003	13125,60	12785,27	12999,4	12658,87	1,00	48,24	15,00	13,22
	14/11/2003	13106,00	12765,67	12999,4	12658,87	0,84	42,12	14,74	16,08
	17/11/2003	13096,40	12756,07	12999,4	12658,87	0,77	43,00	13,88	14,78
	20/11/2003	13092,80	12752,47	12999,4	12658,87	0,74	43,00	7,44	7,80
	22/11/2003	13070,40	12730,07	12999,4	12658,87	0,56	35,40	7,62	7,18
	27/11/2003	13066,20	12725,87	12999,4	12658,87	0,53	39,38	7,02	6,50
	29/11/2003	13061,80	12721,47	12999,4	12658,87	0,49	37,36	6,74	6,24
3/12/2003	13049,20	12708,87	12999,4	12658,87	0,39	32,80	6,58	6,08	
5/1/2004	12999,40	12659,07	12999,4	12658,87	0,00	26,64	6,02	5,96	

Nota: Valores referentes as médias de 5 corpos de prova de concreto.

- (1) μ u = massa úmida do corpo de prova de concreto incluindo forma e sensor
- (2) μ u corr. = massa úmida do corpo de prova de concreto sem forma e sensor
- (3) ms final = massa seca do corpo de prova de concreto incluindo forma e sensor
- (4) ms final corr. = massa seca do corpo de prova de concreto sem forma e sensor
- (5) U real = teor de umidade do corpo de prova de concreto, determinado através do método gravimétrico

ANEXO B – Teor de umidade aferido com os medidores elétricos do tipo resistência (Lignomaster G1000) e tipo dielétrico (Merlin PM1-E), referentes ao ensaio descrito no item 3.1

	Data	U real	U Lig	U Lig corr.	U Merlin	U Merlin	U Merlin corr.	U Merlin corr.
		(%)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
FORMAS PEQUENAS	3/11/2003	3,26	83,12	1,99		20,94		2,63
	6/11/2003	2,13	69,44	1,60	29,42	13,48	2,20	1,62
	7/11/2003	1,39	68,36	1,57	15,84	11,98	1,23	1,42
	8/11/2003	1,34	68,26	1,57	13,62	12,28	1,07	1,46
	9/11/2003	1,14	66,68	1,52	13,04	11,18	1,03	1,31
	10/11/2003	1,00	54,10	1,16	11,86	9,78	0,94	1,12
	12/11/2003	0,74	44,68	0,89	10,72	8,60	0,86	0,96
	13/11/2003	0,68	41,86	0,81	10,24	8,24	0,83	0,91
	14/11/2003	0,67	38,24	0,71	9,60	7,56	0,78	0,82
	17/11/2003	0,55	34,80	0,61	9,90	7,36	0,80	0,79
	20/11/2003	0,55	34,80	0,61	4,70	4,70	0,43	0,43
	22/11/2003	0,45	28,42	0,42	4,20	4,22	0,40	0,36
	27/11/2003	0,38	32,48	0,54	4,22	4,22	0,40	0,36
	29/11/2003	0,35	28,94	0,44	4,04	3,80	0,39	0,31
	3/12/2003	0,32	25,62	0,34	3,78	3,50	0,37	0,27
	5/1/2004	0,22	20,52	0,20	4,00	3,50	0,38	0,27
FORMAS GRANDES	3/11/2003	3,27	84,22	2,03		28,80		2,49
	6/11/2003	2,16	74,96	1,76	57,54	21,70	2,34	1,80
	7/11/2003	1,58	74,36	1,74	28,72	21,56	1,36	1,79
	8/11/2003	1,46	72,16	1,67	25,12	19,96	1,24	1,64
	9/11/2003	1,29	69,68	1,60	21,62	18,24	1,12	1,47
	10/11/2003	1,19	53,48	1,12	19,12	16,60	1,03	1,31
	12/11/2003	0,87	51,82	1,07	17,80	14,44	0,99	1,11
	13/11/2003	1,00	48,24	0,97	15,00	13,22	0,90	0,99
	14/11/2003	0,84	42,12	0,79	14,74	16,08	0,89	1,26
	17/11/2003	0,77	43,00	0,81	13,88	14,78	0,86	1,14
	20/11/2003	0,74	43,00	0,81	7,44	7,80	0,64	0,47
	22/11/2003	0,56	35,40	0,59	7,62	7,18	0,65	0,41
	27/11/2003	0,53	39,38	0,71	7,02	6,50	0,62	0,34
	29/11/2003	0,49	37,36	0,65	6,74	6,24	0,62	0,32
	3/12/2003	0,39	32,80	0,51	6,58	6,08	0,61	0,30
	5/1/2004	0,00	26,64	0,33	6,02	5,96	0,59	0,29

Nota: Valores referentes as médias de 5 corpos de prova de concreto.

ANEXO C – Valores médios de massa e teor de umidade dos corpos de prova de concreto referentes ao ensaio descrito no item 3.2.1

Data	mu ⁽¹⁾	mu corr. ⁽²⁾	ms final ⁽³⁾	ms final corr. ⁽⁴⁾	U real ⁽⁵⁾	U Lig	U Merlin	U Merlin
	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
29/4/2004	10321,09	10048,78	9939,69	7656,11	21,17	73,82	21,84	21,64
30/4/2004	10138,09	9902,18	9939,69	7655,75	18,43	68,30	21,36	21,36
1/5/2004	10089,69	9864,58	9939,69	7655,65	17,06	64,42	20,94	20,98
4/5/2004	10018,09	9805,98	9939,69	7655,52	14,89	57,26	18,34	18,02
5/5/2004	10056,32	9799,27	9939,69	7655,51	14,62	55,76	18,12	17,82
7/5/2004	10046,12	9791,27	9939,69	7655,49	14,34	53,98	17,64	17,40
11/5/2004	10039,72	9786,87	9939,69	7655,47	13,09	49,34	17,10	16,82
14/5/2004	10034,92	9783,07	9939,69	7655,46	12,97	48,88	16,50	16,10
17/5/2004	10062,50	9778,02	9939,69	7655,44	12,42	47,54	15,94	15,52
20/5/2004	10062,70	9776,42	9939,69	7655,45	12,21	46,74	15,36	15,06
21/5/2004	10060,10	9775,62	9939,69	7655,44	12,11	46,44	14,88	14,62
24/5/2004	10061,50	9775,02	9939,69	7655,44	12,10	45,48	14,58	14,26
25/5/2004	10062,30	9774,02	9939,69	7655,44	11,99	45,20	14,04	13,94
28/5/2004	10055,10	9768,82	9939,69	7655,42	11,61	43,70	13,84	13,72
31/5/2004	10046,70	9767,22	9939,69	7655,40	11,53	43,24	13,80	13,50
2/6/2004	10047,90	9765,82	9939,69	7655,40	11,53	42,62	13,46	13,28
3/6/2004	10052,30	9764,62	9939,69	7655,43	11,46	41,96	13,28	13,00
5/6/2004	10047,90	9762,82	9939,69	7655,41	11,23	41,02	13,08	12,82
8/6/2004	10045,70	9761,42	9939,69	7655,41	11,08	40,56	12,88	12,52
11/6/2004	10044,50	9761,22	9939,69	7655,41	10,91	39,74	12,80	12,40
14/6/2004	10044,30	9759,22	9939,69	7655,40	10,71	39,20	12,52	12,26
15/6/2004	10080,67	9756,44	9939,69	7655,40	10,61	38,90	12,34	12,00
18/6/2004	10080,67	9756,44	9939,69	7655,40	10,41	37,88	11,84	11,60
21/6/2004	10078,47	9752,24	9939,69	7655,40	10,37	37,54	11,64	11,32

Nota: Valores referentes as médias de 5 corpos de prova de concreto.

(1) mu =massa úmida do corpo de prova de concreto incluindo forma e sensor

(2) mu corr.=massa úmida do corpo de prova de concreto sem forma e sensor

(3) ms final=massa seca do corpo de prova de concreto incluindo forma e sensor

(4) ms final corr.=massa seca do corpo de prova de concreto sem forma e sensor

(5) U real=teor de umidade do corpo de prova de concreto, determinado através do método gravimétrico

ANEXO D – Teores médios de umidade aferidos com os medidores elétricos do tipo resistência (Lignomaster G1000) e tipo dielétrico (Merlin PM1-E), referentes ao ensaio descrito no item 3.2.1

Data	U real	U Lig	U Lig corr.	U Merlin	U Merlin	U Merlin corr.	U Merlin corr.
	(%)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
29/4/2004	4,18	89,90	2,19	21,70	21	1,65	2,64
30/4/2004	2,29	84,80	2,04	21,00	21,00	1,60	2,64
1/5/2004	1,77	81,10	1,94	21,00	21,00	1,60	2,64
4/5/2004	0,99	73,60	1,72	18,70	18,20	1,43	2,26
5/5/2004	0,96	72,80	1,70	18,60	18,00	1,43	2,23
7/5/2004	0,73	71,40	1,66	18,20	18,00	1,40	2,23
11/5/2004	0,73	66,10	1,51	17,00	17,00	1,31	2,10
14/5/2004	0,63	65,10	1,48	16,80	16,60	1,30	2,04
17/5/2004	0,58	63,30	1,43	16,10	16,50	1,25	2,03
20/5/2004	0,60	61,90	1,39	15,10	14,70	1,18	1,79
21/5/2004	0,57	61,70	1,38	14,80	14,50	1,15	1,76
24/5/2004	0,60	61,10	1,36	14,30	13,90	1,12	1,68
25/5/2004	0,58	61,10	1,36	14,30	13,50	1,12	1,62
28/5/2004	0,43	59,30	1,31	13,70	13,30	1,08	1,60
31/5/2004	0,29	59,00	1,30	13,60	13,30	1,07	1,60
2/6/2004	0,41	58,90	1,30	13,50	13,20	1,06	1,58
3/6/2004	0,40	58,90	1,30	13,00	13,20	1,03	1,58
5/6/2004	0,32	57,20	1,25	12,80	12,60	1,01	1,50
8/6/2004	0,30	56,30	1,22	12,70	12,40	1,00	1,47
11/6/2004	0,30	55,80	1,21	12,60	12,10	1,00	1,43
14/6/2004	0,36	54,60	1,18	12,40	11,90	0,98	1,41
15/6/2004	0,26	54,40	1,17	12,30	11,70	0,98	1,38
18/6/2004	0,26	53,30	1,14	11,90	11,50	0,95	1,35
21/6/2004	0,26	53,00	1,13	11,80	11,30	0,94	1,33

Nota: Valores referentes as médias de 5 corpos de prova de concreto.

ANEXO E – Valores médios do teor de umidade dos corpos de prova de concreto, referentes ao ensaio descrito no item 3.2.2

Data	$\mu^{(1)}$	$\mu \text{ corr.}^{(2)}$	$ms \text{ final}^{(3)}$	$ms \text{ final corr.}^{(4)}$	$U \text{ real}^{(5)}$	U Lig	U Merlin	U Merlin
	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
7/10/2004	11075,80	10746,27	10855,6	10526,07	2,09	75,00	23,20	22,36
8/10/2004	11039,60	10710,07	10855,6	10526,07	1,75	75,00	20,84	20,24
9/10/2004	11016,00	10686,47	10855,6	10526,07	1,52	75,00	20,38	19,76
11/10/2004	10990,40	10660,87	10855,6	10526,07	1,28	73,60	20,04	19,18
13/10/2004	10984,40	10654,87	10855,6	10526,07	1,22	72,16	19,12	18,60
14/10/2004	10977,80	10648,27	10855,6	10526,07	1,16	71,96	18,32	17,66
16/10/2004	10976,20	10646,67	10855,6	10526,07	1,14	71,50	17,60	17,08
18/10/2004	10967,40	10637,87	10855,6	10526,07	1,06	70,44	17,00	16,52
20/10/2004	10960,40	10630,87	10855,6	10526,07	0,99	69,18	16,66	16,24
22/10/2004	11051,20	10623,60	10855,6	10526,07	0,93	68,76	15,46	15,10
25/10/2004	11047,60	10620,00	10855,6	10526,07	0,89	68,28	14,14	13,70
28/10/2004	11039,40	10611,80	10855,6	10526,07	0,81	63,30	13,86	13,40
31/10/2004	11027,80	10600,20	10855,6	10526,07	0,70	61,16	13,68	13,24
2/11/2004	11025,20	10597,60	10855,6	10526,07	0,68	61,10	13,50	13,00
5/11/2004	11015,00	10587,40	10855,6	10526,07	0,58	58,70	13,34	12,84
8/11/2004	11012,20	10584,60	10855,6	10526,07	0,55	57,98	13,12	12,72
11/11/2004	11103,80	10576,89	10855,6	10526,07	0,48	55,22	13,06	12,64
12/11/2004	11103,80	10576,89	10855,6	10526,07	0,48	54,66	12,98	12,48
14/11/2004	11101,40	10574,49	10855,6	10526,07	0,46	54,42	12,86	12,36
17/11/2004	11099,40	10572,49	10855,6	10526,07	0,44	54,08	12,64	12,26
19/11/2004	11099,20	10572,29	10855,6	10526,07	0,44	53,78	12,62	12,06
22/11/2004	11093,00	10566,09	10855,6	10526,07	0,38	53,24	12,46	11,96
25/11/2004	11090,40	10563,49	10855,6	10526,07	0,35	51,72	12,40	11,86
29/11/2004	11084,20	10557,29	10855,6	10526,07	0,29	49,78	12,34	11,80
1/12/2004	11080,60	10553,69	10855,6	10526,07	0,26	49,02	12,26	11,76
3/12/2004	11074,60	10547,69	10855,6	10526,07	0,20	47,72	12,20	11,62
7/12/2004	11074,00	10547,09	10855,6	10526,07	0,20	47,58	12,16	11,52
10/12/2004	11071,80	10544,89	10855,6	10526,07	0,18	46,96	11,98	11,46
14/12/2005	11071,20	10544,29	10855,6	10526,07	0,17	45,44	11,88	11,36
17/12/2004	11069,20	10542,29	10855,6	10526,07	0,15	44,56	11,56	11,12
21/12/2004	11066,60	10539,69	10855,6	10526,07	0,13	44,10	11,40	10,94
24/12/2004	11065,80	10538,89	10855,6	10526,07	0,12	43,32	11,22	10,80
27/12/2004	11065,60	10538,69	10855,6	10526,07	0,12	43,22	11,08	10,72
30/12/2004	11065,60	10538,69	10855,6	10526,07	0,12	43,00	11,02	10,62
3/1/2005	11065,40	10538,49	10855,6	10526,07	0,12	41,96	10,84	10,48
7/1/2005	11063,40	10536,49	10855,6	10526,07	0,10	41,48	10,80	10,40
11/1/2005	11063,40	10536,49	10855,6	10526,07	0,10	41,14	10,64	10,34
14/1/2005	11062,20	10535,29	10855,6	10526,07	0,09	41,12	10,52	10,12
19/1/2005	11062,20	10535,29	10855,6	10526,07	0,09	40,98	10,48	10,08
24/1/2005	11062,20	10535,29	10855,6	10526,07	0,09	40,84	10,44	10,00
31/1/2005	11062,20	10535,29	10855,6	10526,07	0,09	40,56	10,30	9,94
4/2/2005	11062,20	10535,29	10855,6	10526,07	0,09	40,40	10,16	9,78
9/2/2005	11062,00	10535,09	10855,6	10526,07	0,09	40,04	9,96	9,58
13/2/2005	11062,00	10535,09	10855,6	10526,07	0,09	35,34	9,80	9,40

Nota: Valores referentes as médias de 5 corpos de prova de concreto.

(1) μ = massa úmida do corpo de prova de concreto incluindo forma e sensor

(2) $\mu \text{ corr.}$ = massa úmida do corpo de prova de concreto sem forma e sensor

(3) $ms \text{ final}$ = massa seca do corpo de prova de concreto incluindo forma e sensor

(4) $ms \text{ final corr.}$ = massa seca do corpo de prova de concreto sem forma e sensor

(5) U real = teor de umidade do corpo de prova de concreto, determinado através do método gravimétrico

ANEXO F – Teores médios de umidade aferidos com os medidores elétricos do tipo resistência (Lignomaster G1000) e tipo dielétrico (Merlin PM1-E), referentes ao ensaio descrito no item 3.2.2

Data	U real	U Lig	U Lig corr.	U Merlin	U Merlin	U Merlin corr.	U Merlin corr.
	(%)	(%)	(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)	(e=30mm)(%)	(e=40mm)(%)
7/10/2004	2,09	75,00	1,76	23,20	22,36	1,75	2,83
8/10/2004	1,75	75,00	1,76	20,84	20,24	1,58	2,54
9/10/2004	1,52	75,00	1,76	20,38	19,76	1,55	2,47
11/10/2004	1,28	73,60	1,72	20,04	19,18	1,53	2,39
13/10/2004	1,22	72,16	1,68	19,12	18,60	1,46	2,32
14/10/2004	1,16	71,96	1,67	18,32	17,66	1,41	2,19
16/10/2004	1,14	71,50	1,66	17,60	17,08	1,35	2,11
18/10/2004	1,06	70,44	1,63	17,00	16,52	1,31	2,03
20/10/2004	0,99	69,18	1,59	16,66	16,24	1,29	2,00
22/10/2004	0,93	68,76	1,58	15,46	15,10	1,20	1,84
25/10/2004	0,89	68,28	1,57	14,14	13,70	1,11	1,65
28/10/2004	0,81	63,30	1,43	13,86	13,40	1,09	1,61
31/10/2004	0,70	61,16	1,36	13,68	13,24	1,07	1,59
2/11/2004	0,68	61,10	1,36	13,50	13,00	1,06	1,56
5/11/2004	0,58	58,70	1,29	13,34	12,84	1,05	1,53
8/11/2004	0,55	57,98	1,27	13,12	12,72	1,03	1,52
11/11/2004	0,48	55,22	1,19	13,06	12,64	1,03	1,51
12/11/2004	0,48	54,66	1,18	12,98	12,48	1,02	1,49
14/11/2004	0,46	54,42	1,17	12,86	12,36	1,02	1,47
17/11/2004	0,44	54,08	1,16	12,64	12,26	1,00	1,46
19/11/2004	0,44	53,78	1,15	12,62	12,06	1,00	1,43
22/11/2004	0,38	53,24	1,14	12,46	11,96	0,99	1,41
25/11/2004	0,35	51,72	1,09	12,40	11,86	0,98	1,40
29/11/2004	0,29	49,78	1,04	12,34	11,80	0,98	1,39
1/12/2004	0,26	49,02	1,02	12,26	11,76	0,97	1,39
3/12/2004	0,20	47,72	0,98	12,20	11,62	0,97	1,37
7/12/2004	0,20	47,58	0,97	12,16	11,52	0,97	1,35
10/12/2004	0,18	46,96	0,96	11,98	11,46	0,95	1,35
14/12/2005	0,17	45,44	0,91	11,88	11,36	0,95	1,33
17/12/2004	0,15	44,56	0,89	11,56	11,12	0,92	1,30
21/12/2004	0,13	44,10	0,87	11,40	10,94	0,91	1,28
24/12/2004	0,12	43,32	0,85	11,22	10,80	0,90	1,26
27/12/2004	0,12	43,22	0,85	11,08	10,72	0,89	1,25
30/12/2004	0,12	43,00	0,84	11,02	10,62	0,88	1,23
3/1/2005	0,12	41,96	0,81	10,84	10,48	0,87	1,21
7/1/2005	0,10	41,48	0,80	10,80	10,40	0,87	1,20
11/1/2005	0,10	41,14	0,79	10,64	10,34	0,86	1,19
14/1/2005	0,09	41,12	0,79	10,52	10,12	0,85	1,16
19/1/2005	0,09	40,98	0,79	10,48	10,08	0,85	1,16
24/1/2005	0,09	40,84	0,78	10,44	10,00	0,84	1,15
31/1/2005	0,09	40,56	0,77	10,30	9,94	0,83	1,14
4/2/2005	0,09	40,40	0,77	10,16	9,78	0,82	1,12
9/2/2005	0,09	40,04	0,76	9,96	9,58	0,81	1,09
13/2/2005	0,09	35,34	0,62	9,80	9,40	0,80	1,07

Nota: Valores referentes as médias de 5 corpos de prova de concreto.

ANEXO G – Valores médios de massa corrente para as amostras de MDF, referentes ao ensaio descrito no item 3.2.2

Data	Umidade do concreto=2%			Umidade do concreto =1%		
	Tempo (dias)	Massa Corrente (g)		Tempo (dias)	Massa Corrente (g)	
		amostra	testemunha		amostra	testemunha
7/10/2004	0			0		
8/10/2004	1			1		
9/10/2004	2			2		
11/10/2004	4			4		
13/10/2004	6			6		
14/10/2004	7			7		
16/10/2004	9			9		
18/10/2004	11			11		
20/10/2004	13	71,87	72,16	13		
22/10/2004	15	72,18	72,16	15		
25/10/2004	18	72,42	72,16	18		
28/10/2004	21	72,44	72,16	21		
31/10/2004	24	72,45	72,15	24		
2/11/2004	26	72,45	72,15	26		
5/11/2004	29	72,46	72,15	29		
8/11/2004	32	72,46	72,15	32		
11/11/2004	35	72,47	72,15	35	72,27	73,61
12/11/2004	36	72,47	72,15	36	72,27	73,61
14/11/2004	38	72,49	72,15	38	72,29	73,61
17/11/2004	41	72,50	72,15	41	72,30	73,61
19/11/2004	43	72,50	72,15	43	72,30	73,61
22/11/2004	45	72,52	72,15	45	72,32	73,60
25/11/2004	48	72,56	72,15	48	72,33	73,60
29/11/2004	52	72,58	72,16	52	72,36	73,62
1/12/2004	54	72,59	72,15	54	72,39	73,62
3/12/2004	56	72,63	72,15	56	72,43	73,62
7/12/2004	60	72,67	72,16	60	72,44	73,63
10/12/2004	63	72,68	72,16	63	72,46	73,64
14/12/2005	67	72,72	72,16	67	72,48	73,64
17/12/2004	70	72,74	72,16	70	72,49	73,64
21/12/2004	74	72,77	72,16	74	72,53	73,64
24/12/2004	77	72,79	72,17	77	72,60	73,66
27/12/2004	80	72,80	72,18	80	72,63	73,67
30/12/2004	83	72,82	72,18	83	72,66	73,66
3/1/2005	87	72,83	72,18	87	72,66	73,67
7/1/2005	91	72,85	72,18	91	72,68	73,66
11/1/2005	95	72,88	72,19	95	72,70	73,66
14/1/2005	98	72,90	72,18	98	72,71	73,66
19/1/2005	103	72,91	72,19	103	72,71	73,66
24/1/2005	108	72,91	72,19	108	72,71	73,66
31/1/2005	115	72,91	72,19	115	72,71	73,67
4/2/2005	119	72,91	72,19	119	72,71	73,67
9/2/2005	124	72,91	72,19	124	72,71	73,66
13/2/2005	128	72,91	72,19	128	72,71	73,66

ANEXO H – Valores médios de evaporação de umidade dos corpos de prova de concreto, referentes ao ensaio descrito no item 3.2.2

Data	Tempo	massa evaporada (mg)	taxa de evaporação (mg/cm ² .dia)	
	(dias)		corrente	acumulada
7/10/2004	0	0,000	0,000	0,000
8/10/2004	1	36,236	36,236	24,491
9/10/2004	2	59,860	23,624	28,494
11/10/2004	4	85,485	12,813	34,099
13/10/2004	6	91,491	3,003	33,498
14/10/2004	7	98,098	6,607	37,235
16/10/2004	9	99,700	0,801	36,500
18/10/2004	11	108,509	4,404	41,304
20/10/2004	13	115,516	3,504	44,006
22/10/2004	15	122,791	3,638	47,143
25/10/2004	18	126,394	1,201	48,532
28/10/2004	21	134,603	2,736	52,780
31/10/2004	24	146,214	3,871	58,028
2/11/2004	26	148,817	1,301	58,706
5/11/2004	29	159,027	3,403	63,810
8/11/2004	32	161,830	0,934	64,921
11/11/2004	35	169,554	2,575	69,043
12/11/2004	36	169,554	0,000	68,518
14/11/2004	38	171,956	1,201	70,386
17/11/2004	41	173,958	0,667	71,875
19/11/2004	43	174,158	0,100	72,419
22/11/2004	45	180,364	3,103	76,156
25/11/2004	48	182,967	0,868	77,278
29/11/2004	52	189,173	1,552	80,908
1/12/2004	54	192,777	1,802	82,860
3/12/2004	56	198,783	3,003	85,929
7/12/2004	60	199,383	0,150	86,511
10/12/2004	63	201,586	0,734	88,440
14/12/2005	67	202,186	0,150	89,779
17/12/2004	70	204,188	0,667	91,619
21/12/2004	74	206,791	0,651	93,814
24/12/2004	77	207,592	0,267	94,953
27/12/2004	80	207,792	0,067	95,953
30/12/2004	83	207,792	0,000	96,931
3/1/2005	87	207,992	0,050	98,347
7/1/2005	91	209,994	0,501	100,498
11/1/2005	95	209,994	0,000	101,665
14/1/2005	98	211,195	0,400	103,199
19/1/2005	103	211,195	0,000	104,732
24/1/2005	108	211,195	0,000	106,398
31/1/2005	115	211,195	0,000	108,732
4/2/2005	119	211,195	0,000	110,065
9/2/2005	124	211,395	0,040	111,812
13/2/2005	128	211,395	0,000	113,132

ANEXO I – Valores médios de adsorção de umidade pelas amostras de MDF, referentes ao ensaio descrito no item 3.2.2

Data	Umidade do concreto=2%			Umidade do concreto=1%		
	Tempo	taxa de adsorção (mg/cm ² .dia)		Tempo	taxa de adsorção (mg/cm ² .dia)	
	(dias)	corrente	acumulada	(dias)	corrente	acumulada
7/10/2004	0			0		
8/10/2004	1			1		
9/10/2004	2			2		
11/10/2004	4			4		
13/10/2004	6			6		
14/10/2004	7			7		
16/10/2004	9			9		
18/10/2004	11			11		
20/10/2004	13	0,000	0,000	13		
22/10/2004	15	8,731	8,731	15		
25/10/2004	18	4,347	6,101	18		
28/10/2004	21	0,479	3,993	21		
31/10/2004	24	0,037	2,914	24		
2/11/2004	26	0,000	2,465	26		
5/11/2004	29	0,184	2,038	29		
8/11/2004	32	0,000	1,716	32		
11/11/2004	35	0,221	1,512	35	0,000	0,000
12/11/2004	36	0,111	1,451	36	0,000	0,000
14/11/2004	38	0,442	1,370	38	0,387	0,031
17/11/2004	41	0,258	1,251	41	0,184	0,047
19/11/2004	43	0,055	1,172	43	0,055	0,048
22/11/2004	45	0,332	1,119	45	0,497	0,076
25/11/2004	48	0,810	1,093	48	0,295	0,095
29/11/2004	52	0,249	1,006	52	0,387	0,125
1/12/2004	54	0,442	0,979	54	0,829	0,159
3/12/2004	56	1,160	0,987	56	0,995	0,198
7/12/2004	60	0,387	0,936	60	0,221	0,200
10/12/2004	63	0,332	0,900	63	0,295	0,206
14/12/2005	67	0,470	0,868	67	0,332	0,215
17/12/2004	70	0,516	0,849	70	0,221	0,215
21/12/2004	74	0,332	0,815	74	0,442	0,230
24/12/2004	77	0,147	0,784	77	1,400	0,285
27/12/2004	80	0,258	0,760	80	0,516	0,295
30/12/2004	83	0,221	0,737	83	0,553	0,306
3/1/2005	87	0,138	0,705	87	0,028	0,291
7/1/2005	91	0,332	0,686	91	0,221	0,288
11/1/2005	95	0,332	0,669	95	0,249	0,286
14/1/2005	98	0,405	0,659	98	0,184	0,282
19/1/2005	103	0,066	0,626	103	0,022	0,268
24/1/2005	108	0,000	0,591	108	0,000	0,254
31/1/2005	115	0,000	0,549	115	0,000	0,236
4/2/2005	119	0,028	0,530	119	0,000	0,227
9/2/2005	124	0,000	0,506	124	0,000	0,217
13/2/2005	128	0,000	0,488	128	0,000	0,210

ANEXO J – Valores médios do teor de umidade (estimado com o medidor elétrico do tipo resistência) e da variação dimensional (largura e flecha) nos tacos de jatobá colados nos corpos de prova de concreto, referentes ao ensaio descrito no item 3.3

Tacos colados sobre concreto (U concreto = 3.5%)					
Data	Tempo (dias)	Teor de umidade (%)		Movimentação Dimensional (mm)	
		4 mm	17 mm	Largura	Flecha
2/6/2005	0	10,5	10,4	100,00	0,00
6/6/2005	4	10,7	10,4	100,00	0,00
10/6/2005	8	10,9	10,3	100,00	0,08
14/6/2005	12	11,0	10,4	99,98	0,13
17/6/2005	15	11,3	10,5	99,94	0,21
20/6/2005	18	11,6	11,2	100,02	0,15
24/6/2005	22	11,3	10,8	99,93	0,21
27/6/2005	25	11,3	10,7	99,90	0,24
28/6/2005	26	11,5	11,0	99,94	0,23
30/6/2005	28	12,0	11,3	99,98	0,22
4/6/2005	32	10,7	10,2	99,86	0,21
Tacos colados sobre forma de alumínio (testemunha)					
Data	Tempo (dias)	Teor de umidade (%)		Movimentação Dimensional (mm)	
		4 mm	17 mm	Largura	Flecha
2/6/2005	0	10,5	10,5	100,00	0,00
6/6/2005	4	10,9	10,5	100,00	0,00
10/6/2005	8	11,1	10,4	100,00	0,35
14/6/2005	12	11,4	10,4	100,01	0,39
17/6/2005	15	11,9	10,7	99,79	0,50
20/6/2005	18	12,0	11,3	99,95	0,49
24/6/2005	22	12,4	11,2	99,97	0,51
27/6/2005	25	12,8	10,9	100,01	0,61
28/6/2005	26	12,8	11,3	100,10	0,56
30/6/2005	28	12,9	11,8	100,19	0,50
4/6/2005	32	11,2	10,2	100,01	0,47

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2003**: produtos de madeira sólida. Curitiba: ABIMCI, 2003 67p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6451**: taco de madeira para assoalho. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for concrete floor e slab construction**. Michigan: Farmington Hills, 1996. COMMITTEE 302,1 R-96

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Standard practice for curing concrete**. Michigan: Farmington Hills, 1992. COMMITTEE 308-92.

ARMSTRONG TECHNIQUES. [S.l]: Armstrong World Industries. (AWI), **Technical Bulletin**, n.5, 15p .1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4263-93**: standard test method for indicating moisture in concrete by plastic sheet method, 1993. 23p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1907-97**: standard practices for determining moisture-related acceptability of concrete floors to receive moisture sensitive finishes, 1997. 236p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F 1869-98**. standard test method for measuring moisture vapor emission rate of concrete sub floor using anhydrous calcium chloride, 1998. 68p.

BRITO, J.O. **Natureza e constituição química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 2000. 5p.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**: novos materiais para construção civil. 5 ed. Rio de Janeiro: Nobel, 2000. vol. 1. 449p.

CZERNIN, W. **Cement chemistry and physics for civil engineers**. New York: Chemical Pub. Co, 1962. 139p.

GALVÃO, A. P. M. & JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 112p.

GOMIDE, J. L.. **Secagem de Madeira**. Viçosa: UFV, 1974. 76p.

HEDENBLAD, G. **Drying of construction water in concrete**. Lund: Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1996. 22p

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

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JUNIOR. W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968, v.1, 592p.

- LOPES, E. M. A influência da umidade do substrato no desempenho de revestimentos de pisos de edifícios. São Paulo, 2003. 97p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- METHA, K.; MONTEIRO, J.M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Editora Pini, 1994. 573p.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1997. 749p.
- NILSSON, L.O. **Hygroscopic moisture in concrete**: drying measurements and related material propriets. Lund: Lund Institute of Technology, 1980. 127p.
- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Understanding concrete floors and moisture insues**. Illinóis: PCA, 2000. 320p.
- POWERS, T.C; BROWNYARD, T.L. Studies on the physical properties of hardened Portland cement paste. Chicago: P C A, 1948. 21p. (Boletim 22)
- POWERS, T.C.; COPELAND, L.E.; MANN, H.M. Capillary continuity or discontinuity in cement pastes. **Journal of PCA Research and Development Laboratory**, v.1, n.2, 6p,1960.
- PROTIMETER plc. Disponível em : <http://www.protimer.com>. Acesso em: (02 nov. 2004).
- RIOS, R. **Fundamentos do concreto armado**. Porto Alegre: UFRS, 2000. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/disciplinas> Acesso em: (12 nov. 2004).

- RUSCHEL, R. **Curso básico de concreto armado**. Porto Alegre: Globo, 1974. 341p.
- SATO, N.M.N.S. Análise da porosidade e das propriedades de transporte de massa em concretos. São Paulo, 1998. 163p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SIMULA, M. A Evolução da indústria de madeira de produtos de maior valor agregado. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL 5., Belém, 2001. **Anais**. Belém, 2001. Disponível em: <http://www.tropicalcongress.com.br/portugues/anais.php>. Acesso em: (04 fev. 2004.)
- SOBRAL, L; VERÍSSIMO, A.; LIMA, E. et al. **Acertando o Alvo 2**: Consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. Belém: AMAZON/IMAFLOTA/AMIGOS DA TERRA, 2002. 71p.
- TISSARI, J. Produtos de maior valor agregado: madeira tropical versus produtos sintéticos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL 5., Belém, 2001. **Anais**. Belém, 2001. Disponível em: <http://www.tropicalcongress.com.br/portugues/anais.php>. Acesso em: (04 fev. 2004.)
- TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e anatomia da madeira**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 2000.120p.
- TRAMEX. **Moisture detection equipment concrete ecouter**. Disponível em: <http://www.tramexltd.com>. Acesso em (14 jul. 2004.)

VAPORTEST. Disponível em: <http://www.vaportest.com>. Acesso em (14 jul. 2004.)

VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; LENTINI, M. **Pólos madeireiros do Estado do Pará**. Belém: IMAZON, 2002. 72p.

WIERING, H.J. Die wasserdampdurchlässigkeit von zementmörtel und beton. **Zement-Kalk-Gips**, Berlin, n.9, p. 471-482, 1965.