

**Humberto Ramos Roman** é engenheiro civil (1980) e mestre (1983) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutor (1990) pela University of Sheffield, Inglaterra. Membro do British Masonry Society desde 1993, do International Council for Building Research Studies (CIB) desde 1997. Colaborador da Universidade do Minho, Portugal, desde 1999. É professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desde 1992. Atua nas áreas de Alvenaria Estrutural e Processos Construtivos. Atualmente é supervisor do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e coordenador do Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA).  
E-mail: [humberto@ecv.ufsc.br](mailto:humberto@ecv.ufsc.br)

**Orestes E. Alarcon** é engenheiro metalúrgico (1972) na Universidade Federal Fluminense (UFF). Fez mestrado (1985) e doutorado (1988) em Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atua nas áreas de Propriedades Mecânicas dos Metais e Ligas e Materiais Cerâmicos. É pesquisador Bolsista do CNPq.  
E-mail: [orestes@materiais.ufsc.br](mailto:orestes@materiais.ufsc.br)

**Denise Antunes da Silva** é engenheira civil (1989) e mestre (1993) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutora em 2001 em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atua nas áreas de Materiais e Componentes de Construção e Cerâmica. É professora da UFSC desde 1996.  
E-mail: [denise@ecv.ufsc.br](mailto:denise@ecv.ufsc.br)

**Leslie Maria Finger Roman** é engenheira civil Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, e mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi professora substituta no Departamento de Engenharia Sanitária e na Escola de Engenharia da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Atualmente trabalha na área de certificação de produtos e sistemas da construção civil, assumindo o cargo de Gerente de Certificação da Certificadora Habitat. É doutoranda do Programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Produção, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), desenvolvendo tese no tema Gestão da Qualidade e Produtividade.  
E-mail: [leslie@habitat.org.br](mailto:leslie@habitat.org.br)

**André Matte Sagave** é engenheiro civil (1997) pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e mestre (2001) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) desde 1999. Atualmente é coordenador dos Laboratórios do Curso de Engenharia Civil da UNIVALI. Atua nas áreas de Materiais e Componentes de Construção.  
E-mail: [sagave@cttmar.univali.br](mailto:sagave@cttmar.univali.br)

# 7.

## Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critérios de desempenho de materiais e componentes da Construção

Humberto Ramos Roman, Orestes Alarcon, Denise Antunes da Silva, Leslie Maria Finger Roman e André Mate Segave

### 1 Introdução

A área de revestimentos cerâmicos tem carências de normas, tanto na avaliação das propriedades mecânicas deles quanto nas especificações para os processos de assentamento, responsáveis pelo desempenho e durabilidade de paredes e pisos revestidos com cerâmica.

O NPC e o LabMat têm desenvolvido grande número de pesquisas nessa área, visando à avaliação de normas existentes, assim como à criação de métodos de ensaios e coleta de dados de desempenho de sistemas de revestimentos que possam auxiliar na elaboração de novas normas e na reformulação das normas existentes.

Através do convênio FINEP HABITARE 78.98.0141.00 foram desenvolvidas pesquisas nos seguintes temas:

1. estudo da durabilidade da aderência de revestimentos cerâmicos;
2. desenvolvimento de aparato de ensaio de cisalhamento para sistemas de revestimentos cerâmicos;
3. desenvolvimento de metodologia de ensaio para avaliação da consistência de argamassas colantes nos estados frescos;

4. desenvolvimento de ensaio de resistência à abrasão superficial e de resistência de risco de cerâmicas de revestimento; e
5. desenvolvimento de ensaio de resistência ao escorregamento (coeficiente de atrito) de pisos cerâmicos.

Os resultados detalhados desse convênio podem ser vistos na *homepage* do Infohab/Habitare, em <http://habitare.infohab.org.br/habitare.htm>. Apresenta-se aqui um resumo dos resultados obtidos.

## 2 Aderência de revestimentos cerâmicos – Estudo da durabilidade

### 2.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho foi o estudo da durabilidade da aderência de revestimentos cerâmicos e o desenvolvimento de metodologia para estimativa da vida útil das argamassas colantes.

O trabalho objetivou, ainda, a avaliação da durabilidade de sistemas de revestimentos cerâmicos com placas de grandes dimensões aplicadas com junta seca.

### 2.2 Metodologia de ensaio

#### A) Materiais

Painéis de 91 cm x 91 cm, revestidos com peças cerâmicas de dimensões 45 cm x 45 cm ou 9 cm x 13 cm, foram definidos para simular paredes reais. Alguns painéis foram executados em alvenaria de blocos cerâmicos de vedação de dimensões 19,5 cm x 14 cm x 10 cm, como mostra a Figura 1. Sobre a alvenaria foi aplicada uma camada de argamassa de emboço, com espessura média de 2 cm e traço em volume de areia seca de 1:2:6. As peças cerâmicas foram coladas no painel com argamassa do tipo AC-II (NBR 14081:1998). Nos painéis rejuntados foi utilizada argamassa de rejunte industrializado flexível para fachada, na espessura de 6 mm.

Foram também confeccionados oito painéis em concreto armado, nas mesmas dimensões planas que os anteriores, e de espessura igual a 3 cm. Peças cerâmicas de seção quadrada, com aresta igual a 5 cm, foram aplicadas, conforme determinação da norma brasileira NBR 14082:1998. Foram usados dois tipos diferentes de argamassa colante: AC-I e AC-II, denominações segundo a norma brasileira NBR 14081:1998. Em quatro painéis foi usada argamassa colante do tipo AC-I, e nos restantes foi utilizada argamassa colante AC-II.

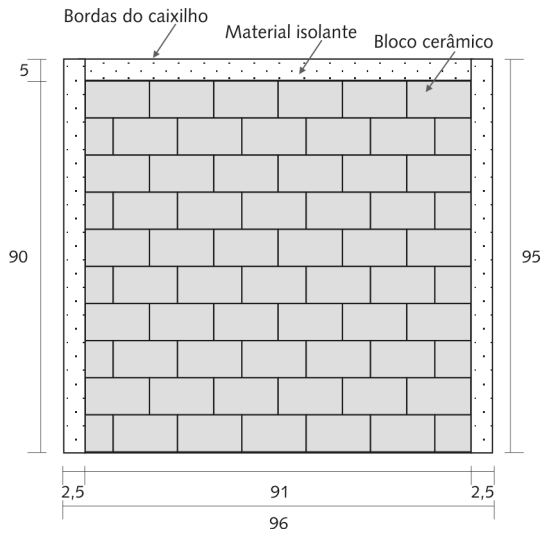


Figura 1 – Substrato em alvenaria

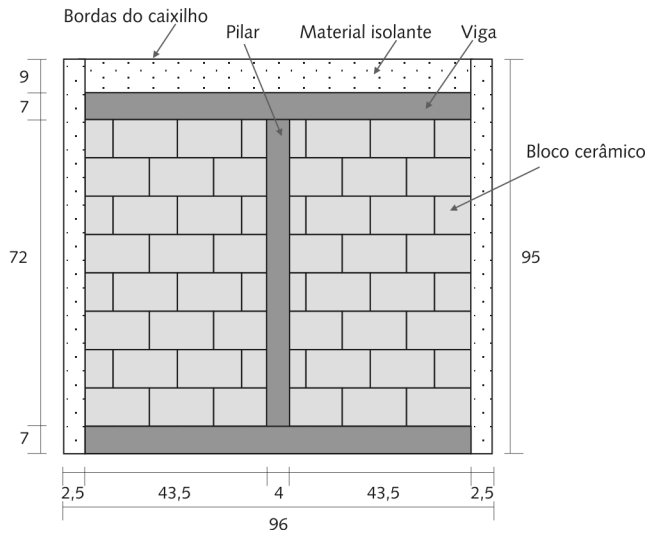


Figura 2 – Substrato misto

## B) Ensaio de durabilidade de aderência

### B.1) Ensaios climáticos

Após 28 dias, os painéis executados foram submetidos a ensaios climáticos acelerados. Convém salientar que não existe nenhuma norma nacional ou internacional que regule esses ensaios. O painel a ser ciclado foi colocado em um caixilho metálico encaixado na porta de uma câmara climática (FITOCLIMA 1500EDTU20 da Aralab), com a face revestida voltada para o seu interior. Essa face foi, então, submetida a ciclos de temperatura e umidade, através de variações controladas no interior da câmara, sendo a face não revestida submetida às condições ambientais do laboratório.

Os números de ciclos programados foram de 120, 240 e 360 ciclos. A Figura 3 esquematiza os ciclos de temperatura aplicados, e o ciclo de variação da umidade é esquematizado na Figura 4, sendo 60% e 98% os valores mínimo e máximo, respectivamente. Os valores-limite foram estabelecidos de forma a simular condições de clima úmido para temperaturas máximas, e de clima seco para as temperaturas mínimas, estabelecendo-se, assim, as condições extremas de dilatação térmica e contração higroscópica, respectivamente.

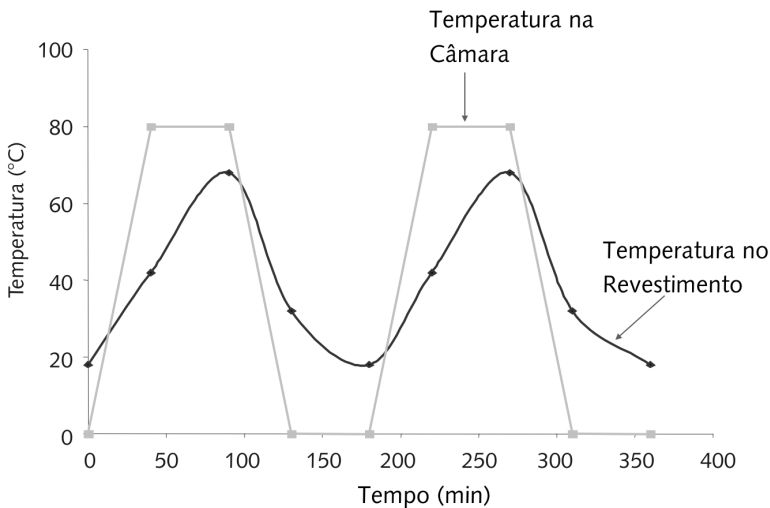


Figura 3 – Variação da temperatura no interior da câmara climática e na superfície do revestimento cerâmico, durante programa de ciclagem

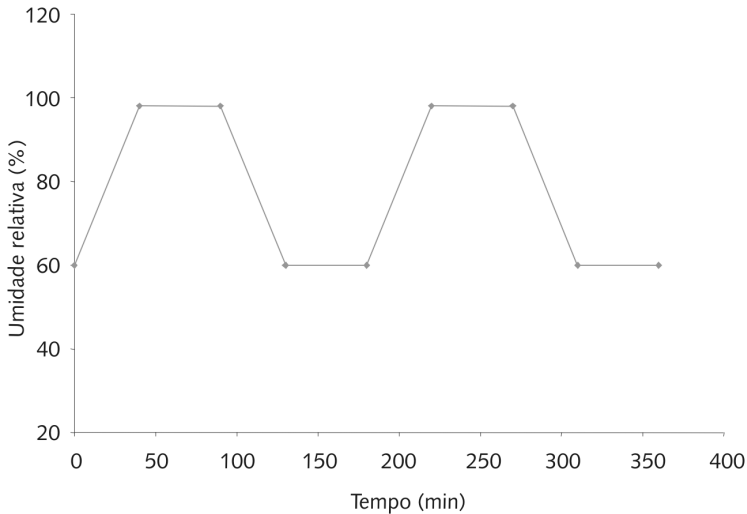


Figura 4 – Variação da umidade relativa do ar no interior da câmara de ensaio, durante programa de ciclagem

Valores de temperatura e deformação foram obtidos em diversos pontos do sistema, através da instalação de termopares e extensômetros elétricos (*strain gauges*).

## B.2) Ensaio de aderência por arrancamento

Os ensaios de arrancamento das peças cerâmicas assentadas nos painéis de concreto seguiram as recomendações da NBR 14084.

## 2.3 Resultados

Os principais resultados obtidos são apresentados a seguir.

### 2.3.1 Ensaio de durabilidade

A figura 5 mostra os picos de deformações registrados, ao longo do programa de ciclagem, para os painéis assentados utilizando o sistema tradicional (com rejunte) e o sistema junta seca, na interface entre o tardo e a argamassa colante. Pode-se observar que, quando o sistema é resfriado, as deformações parecem não sofrer influência do tipo de assentamento. Por outro lado, o aquecimento produz uma maior expansão no painel assentado com junta seca do que naquele assentado usando-se o sistema tradicional.

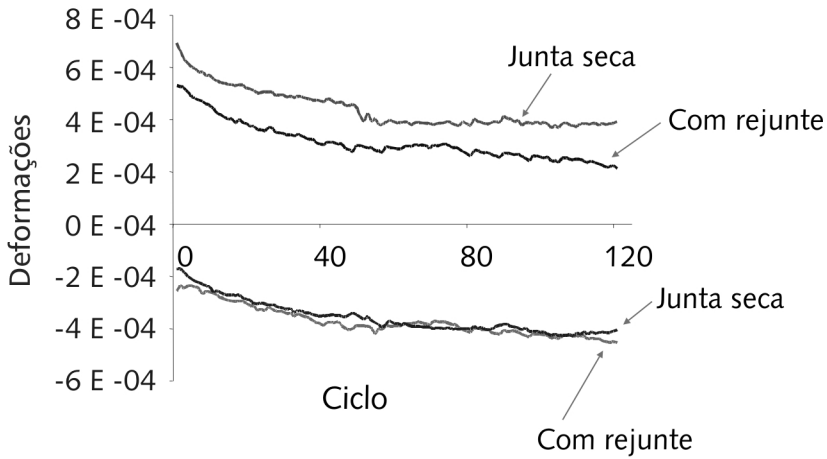


Figura 5 – Deformações máxima e mínima registradas na interface do tardoz com argamassa colante nos painéis assentados com peças de dimensão 9 cm x 13 cm

A amplitude das deformações registradas, em cada ciclo, foi maior para o sistema junta seca que para o sistema tradicional, como pode ser visto na Figura 6. Essa maior amplitude no sistema junta seca ocorreu em função dos maiores valores de deformação quando do acréscimo de temperatura.

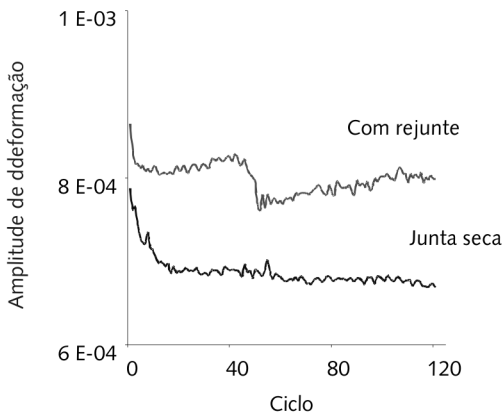


Figura 6 – Amplitude da deformação registrada na interface do tardoz com argamassa colante, nos painéis assentados com peças de dimensão 9 cm x 13 cm

### 2.3.2 Ensaio de arrancamento

A resistência ao arrancamento depende do tipo de argamassa colante utilizada, como mostra a Tabela 1.

	Resistência Média ao Arrancamento (MPa)
Substrato padrão: argamassa AC-I	1,045
Substrato padrão: argamassa AC-II	1,520

Tabela 1 – Resistência média ao arrancamento obtida em ensaios sobre os painéis de concreto

As altas temperaturas e umidades, empregadas durante a primeira metade de cada ciclo, parecem ter beneficiado o desempenho do sistema cerâmico, revestido com placas de dimensões 9 cm x 13 cm. Foi observado aumento na resistência ao arrancamento para a maioria dos painéis ciclados durante 120 ciclos, como mostra a Tabela 2. Porém, verificou-se que, após os 120 ciclos, a resistência volta a diminuir. Para conclusões mais definitivas, deverão ser realizados ensaios com maior número de ciclos.

Substrato	Dimensão placas cerâmicas (cm)	Sistema de Assentamento	Resistência Média ao Arrancamento (Mpa)		
			Sem ciclagem	120 ciclos	240 ciclos
Cerâmico	9 x 13	Tradicional	0,87	1,27	-
		Junta Seca	1,37	1,62	1,53
	45 x 45	Tradicional	1,15	1,04	-
		Junta Seca	1,01	0,92	-
Misto	9 x 13	Tradicional	0,93	1,44	-
		Junta Seca	1,01	1,47	-

Tabela 2 – Resistência média obtida dos ensaios de arrancamento

Nos painéis revestidos com peças de maior dimensão, 45 cm x 45 cm, observou-se o inverso, a resistência ao arrancamento diminui após 120 ciclos. Nesses painéis o beneficiamento da hidratação da argamassa colante parece não ter auxiliado nas condições de aderência do sistema. A forma de ruptura pode ser a responsável por essa diferença. Nos primeiros painéis, a ruptura ocorreu na superfície da cola ou na interface desta com o emboço. Para os painéis onde foram utilizadas placas cerâmicas maiores, observou-se a ocorrência de ruptura na interface entre o tardoz e



a argamassa colante, retratando uma maior fragilidade dessa ligação para esses painéis. Portanto, o beneficiamento experimentado pelas camadas formadas por materiais cimentícios não influenciou no desempenho do sistema como um todo. Para o painel revestido com placas de 45 cm de lado, assentadas por meio do sistema tradicional, não houve diferença significativa entre as médias das resistências antes e depois da ciclagem.

A escolha do sistema junta seca não parece ter influenciado estatisticamente a resistência ao arrancamento para os painéis e número de ciclos testados.

### **3 Desenvolvimento de aparato para ensaio de cisalhamento de sistemas de revestimento cerâmico**

#### **3.1 Objetivo**

A norma brasileira prevê a realização de ensaios de arrancamento à tração para avaliação da resistência de sistemas de revestimento. No entanto, sabe-se que as principais tensões atuantes nas interfaces dos sistemas são tensões de cisalhamento. Além disso, a variabilidade dos ensaios de tração é bastante alta e o número de ensaios necessários para a obtenção de resultados significativos torna-se elevado.

Pelas razões acima, buscou-se o desenvolvimento de um aparato e de uma metodologia para realização de ensaios de cisalhamento.

O método de ensaio é descrito abaixo.

#### **3.2 Desenvolvimento do método de ensaio**

Adotou-se o substrato padrão de concreto, conforme indicado pela norma técnica para ensaios de aderência por tração, NBR 14082:1998.

118

Quanto ao tamanho das cerâmicas a serem submetidas a ensaio, adotaram-se, inicialmente, peças quadradas, com 5 cm, e, posteriormente, peças retangulares, com altura de 8 cm e largura de 4 cm, com a finalidade de estudar a influência da forma dos corpos-de-prova nos resultados dos ensaios de cisalhamento.

##### **3.2.1 Confecção de suporte para substrato**

Optou-se pela utilização do mesmo equipamento utilizado nos ensaios de arrancamento para a realização do ensaio de cisalhamento. A utilização desse equipamento permitiu uma melhor comparação entre os métodos.

Entretanto, para a utilização desse equipamento, no método de ensaio para cisalhamento, foi necessário o desenvolvimento de um suporte que mantivesse o substrato de concreto em posição vertical. Deveria, ainda, permitir a fixação do substrato padrão, de forma que o movimento do pistão da máquina de arrancamento se movimentasse em sentido paralelo à superfície de colagem da peça cerâmica sobre o substrato.

O suporte ainda deveria garantir a estabilidade do substrato durante o processo de aplicação da carga, impedindo sua movimentação em todas as direções, como mostra a Figura 7.

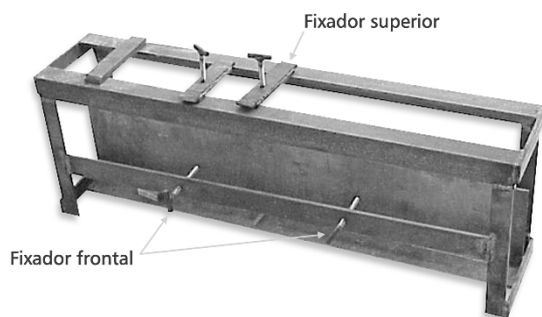


Figura 7 – Suporte metálico para ensaio de cisalhamento

### 3.2.2 Desenvolvimento de metodologia para aplicação de carga ao corpo-de-prova

Determinados o tipo de substrato, o equipamento a ser utilizado para execução do ensaio e a maneira de fixação do substrato ao suporte desenvolvido, procedeu-se ao desenvolvimento de método de aplicação da carga à peça cerâmica. Assim, para os corpos-de-prova com dimensões de 5 cm x 5 cm, foi confeccionado um caixilho com dimensões internas de 6 cm x 6 cm, o qual foi inicialmente conectado ao equipamento de arrancamento. O aparato pronto para ensaio pode se visto nas Figuras 8 e 9.

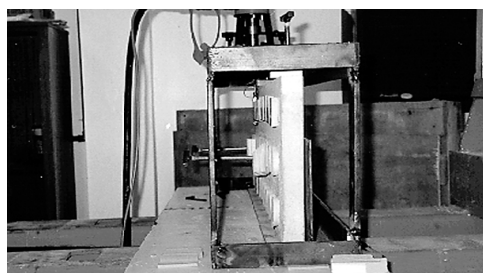


Figura 8 – Substrato fixado ao suporte, pronto para o ensaio



Figura 9 – Substrato fixado ao suporte, com caixilho metálico posicionado na cerâmica de teste

### 3.2.3 Programa experimental para avaliação do método de ensaios

Para estudo e avaliação do ensaio, foi desenvolvido um programa experimental dentro da pesquisa que avaliava a durabilidade de aderência de revestimentos cerâmicos. Neste trabalho foram submetidas a ensaio peças cerâmicas coladas em substratos padrão de concreto, os quais foram submetidos a ciclos climáticos, em condições idênticas às dos painéis de alvenaria.

Nessas condições, foram executados conjuntos de 120 ciclos com duração de três horas cada. As temperaturas médias máximas, medidas na face interna dos painéis, ficaram em torno de 68 °C, e as médias mínimas, em torno de 18 °C.

Foram moldados painéis comparadores, os quais foram submetidos a ensaio com idade de 43 dias, equivalentes à soma do período de cura (28 dias), com o período de 120 ciclos (15 dias). Esses painéis foram mantidos em ambiente de laboratório até a data de ensaio.

O comportamento das resistências de aderência para cada tipo de ensaio e para cada tipo de argamassa pode ser visto nas Figuras 10 e 11.

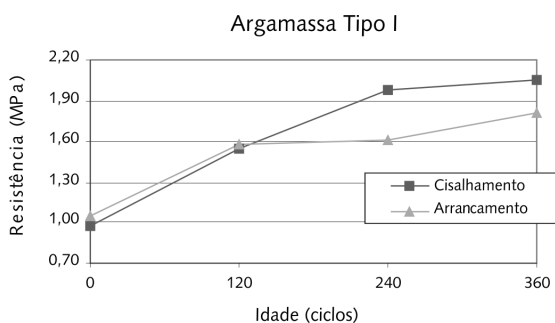


Figura 10 – Comportamento das resistências de aderência para argamassa AC-II

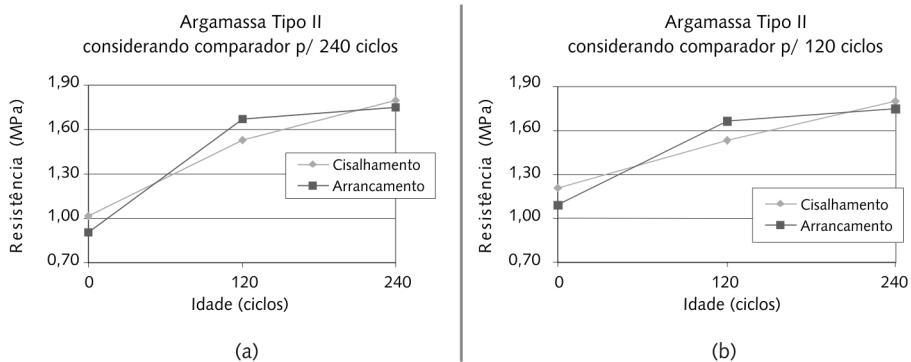


Figura 11 – (a) Comportamento das resistências de aderência para argamassa AC-I e 240 ciclos; (b) Comportamento das resistências de aderência para argamassa AC-I e 120 ciclos

Pode-se verificar pelas figuras que há uma boa correlação entre as resistências de cisalhamento e de arrancamento à tração. A Figura 12 mostra a correlação entre os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento e de resistência ao arrancamento à tração. Pode-se observar que, com exceção de um conjunto de ensaios, a variação dos testes de cisalhamento foi significativamente menor do que as obtidas com os ensaios de arrancamento à tração.

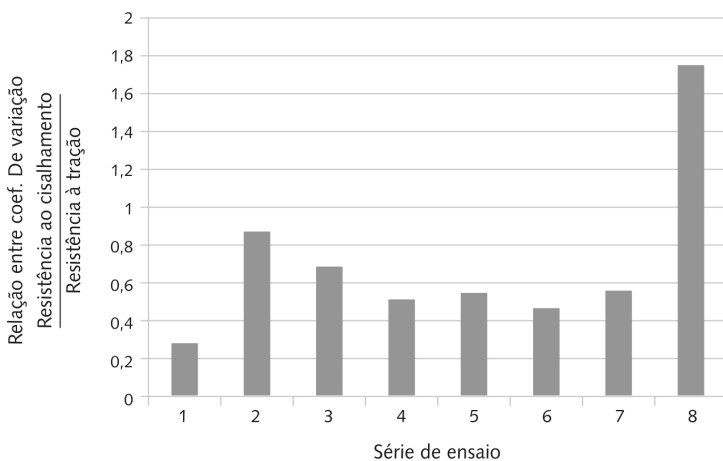


Figura 12 – Comparação entre os coeficientes de variação dos resultados de resistência a cisalhamento e de resistência ao arrancamento à tração

## 4 Desenvolvimento de ensaio de resistência à abrasão superficial e de resistência ao risco de cerâmicas de revestimento

### 4.1 Objetivos

As Normas Internacionais de Ensaio e de Classificação de Produtos Cerâmicos de Revestimento para pisos e paredes ISO 10545 e ISO 13006 foram publicadas em 1996, e duas entre elas ainda se encontram na forma DRAFT: as relativas aos ensaios de resistência à abrasão e de resistência ao escorregamento. Além disso, o ensaio de resistência ao risco (dureza Mohs) que existia na Norma EN, foi deixada de lado nas normas ISO. As normas brasileiras foram finalizadas em julho de 1996, mas não passam de uma tradução das normas ISO, levando para a norma brasileira os mesmos problemas ainda a resolver. As razões que impedem a finalização dessas normas e a aceitação delas tanto pelos fabricantes como pelos consumidores de cerâmica de revestimento estão vinculadas às questões específicas abaixo.

Enquanto o ensaio de resistência à abrasão deve fornecer uma resposta com relação à mudança de aspecto superficial e com relação à durabilidade do produto em uso, a resistência ao risco é uma propriedade “local” e diz respeito à questão específica da dureza relativa do material. Os dois métodos de ensaios e de avaliação das propriedades mostram sérios problemas, os quais têm provocado discussões intermináveis, tanto no fórum de especialistas como no mercado consumidor.

Existem dois problemas principais relacionados à caracterização da resistência ao desgaste por abrasão. O primeiro diz respeito à questão do método de avaliação e classificação do produto abrasado, na condição de ensaiado. O segundo está relacionado à previsão da durabilidade, ou seja, para uma determinada condição de severidade imposta pelo ensaio de abrasão, qual é a vida (ou durabilidade) do produto em condições de uso?

Assim, ante a subjetividade da metodologia universalmente utilizada para a caracterização da abrasão e da dureza ao risco de revestimentos cerâmicos, desenvolveu-se uma metodologia objetivando caracterizar, de forma sistemática, essas duas propriedades, de forma a contribuir para a obtenção de normas de ensaios e de classificação de produtos adequadas às suas funções de uso concreto.

Para tanto, foi projetado e construído um esclerômetro, que será descrito a seguir.

## 4.2 Abordagem local – Projeto e construção do esclerômetro e ensaios

As principais características técnicas do esclerômetro projetado e construído na UFSC são as seguintes:

- deslocamento principal de riscamento ( $X$ ) com baixos erros na sua trajetória;
- deslocamento  $X$  com velocidade controlada e variável;
- possibilidade de o deslocamento  $Y$  ser manual;
- fixação rígida do indentador;
- sistema de medição de forças rígido;
- medição de força com sensibilidade de 10 g nas direções normal e tangencial;
- aplicação de carregamento de 50 g a 4.000 g, com carga constante ou variável;
- controle do processo, aquisição e análise dos resultados em PC;
- análise óptica do risco para avaliação geométrica deste;
- interface de controle de fácil manuseio; e
- análise da emissão acústica durante os riscamentos.

A Figura 13 mostra a foto do equipamento desenvolvido, e a Figura 14, um fluxograma da estrutura das funções geradas para o esclerômetro.

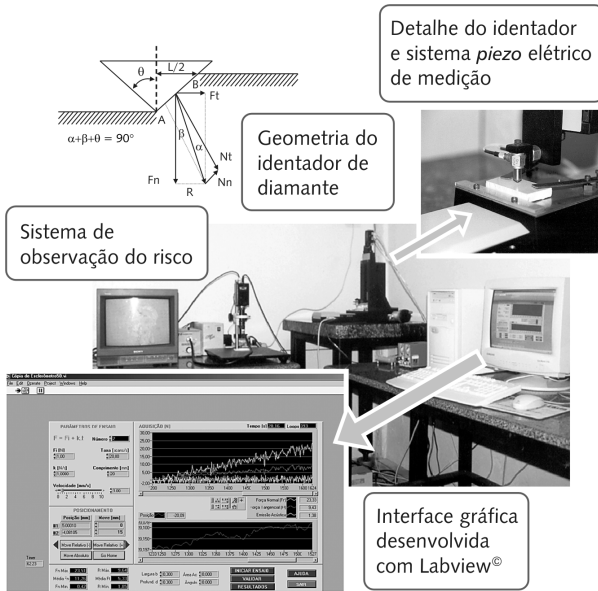


Figura 13 – Foto ilustrativa do esclerômetro, mostrando o aparato experimental composto do sistema de aplicação de carga e deslocamento da amostra; software de comando e aquisição de dados com interface gráfica para registro das curvas e sistema óptico com ampliação de 400 e iluminação através de fibra óptica

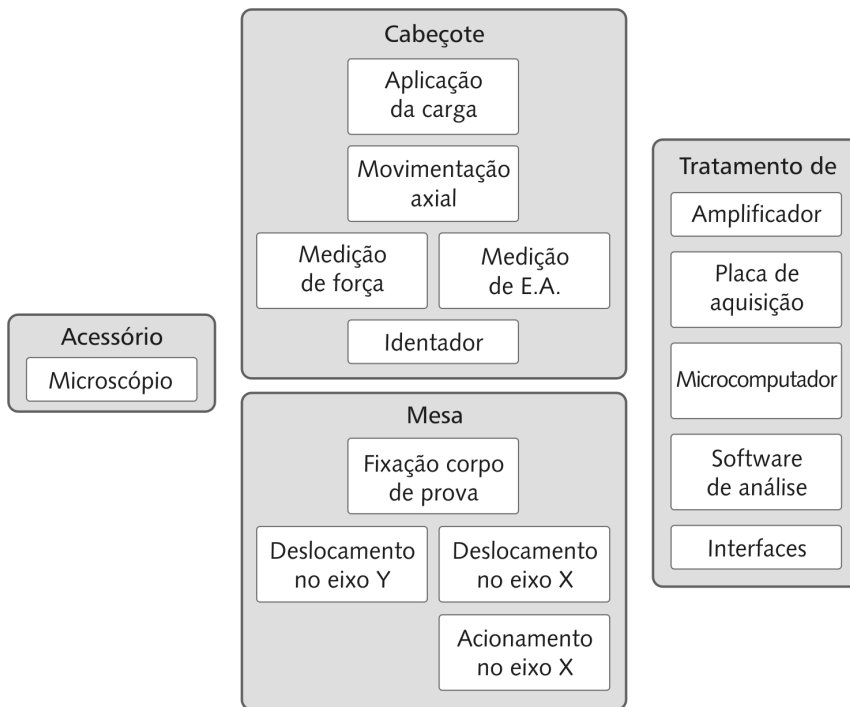


Figura 14 – Fluxograma da estrutura das funções geradas para o esclerômetro

O principal resultado, no estágio atual, com relação ao desenvolvimento da metodologia de caracterização do estudo do desgaste abrasivo com a técnica da esclerometria, é a possibilidade de medir a dureza ao risco de materiais frágeis. O critério adotado é a medida de força no instante que ocorre a mudança de mecanismo de microssulcamento para microlascamento.

O equipamento possibilita a aplicação de força crescente de até 50 N. Assim sendo, existem duas possibilidades de identificação do fenômeno. Uma delas é a observação direta por meio de uma lente com iluminação direcionada de fibra óptica, onde se pode observar a mudança de mecanismo e se obter, naquele instante, a força aplicada. A outra é, durante o ensaio, um sensor de emissão acústica que registra graficamente o ruído produzido pelo deslocamento do indentador sobre a superfície do material, No instante em que se inicia o fenômeno de microlascamento, o sensor registra maior intensidade de ruído. Este último método necessita ainda um melhor sistema de filtros para tornar mais clara a caracterização do fenômeno. A Figura 15 mostra o resultado do teste esclerométrico sobre a superfície de grês porcelanato.



Figura 15 – Imagem do risco produzido pelo indentador com aplicação de carga de até 50 N

## 5 Desenvolvimento de ensaio de resistência ao escorregamento (coeficiente de atrito) de pisos cerâmicos

### 5.1 Introdução

A indústria nacional de pisos e revestimentos cerâmicos destaca-se por seu grande volume de produção e considerável variedade de produtos nos mais diversos campos de uso. Para tantas variedades, a necessidade de caracterização física e química desses produtos é de fundamental importância tanto para o fabricante, na busca de parâmetros avaliadores de seus produtos, quanto para o construtor, o arquiteto e o consumidor final. Uma das propriedades mais importantes para a utilização de pisos cerâmicos é o coeficiente de atrito, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção sobre a superfície pavimentada.

Define-se o ato de escorregamento como sendo a perda de equilíbrio causada por uma ação inesperada e imprevisível, fora de controle do transeunte, ou a um decréscimo intenso no valor do coeficiente de atrito entre o corpo em movimento e a superfície de apoio. Essa característica, intrínseca da interface dos materiais em contato, depende da rugosidade e das suas propriedades visco-elásticas. Nesse contexto, fatores como área e tempo de contato, velocidade do movimento e pressão entre os materiais em contato influenciam na determinação do coeficiente de atrito.



As normas ISO/DIS 10545, parte 17<sup>[2]</sup>, e ABNT 13818:1997 descrevem procedimentos de determinação do coeficiente de atrito estático através do sistema de dinamômetro, e dinâmico através do sistema Tortus. Os valores mínimos de coeficiente de atrito são de 0,5 e 0,4, respectivamente, sem a definição da faixa de incerteza.

A confiabilidade na determinação desse parâmetro tem gerado discordâncias quanto à escolha do método, tanto na avaliação como nos aspectos de ordem civil. Alguns trabalhos abordam a necessidade de correlacionar os resultados obtidos em medições através de resultados interlaboratoriais, o que coloca em evidência a necessidade de uma estrutura de métodos e padrões formalizados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar sobre a ótica metrológica a incerteza na determinação do coeficiente de atrito dinâmico, tendo como referência a norma ISO GUM. Essa norma estabelece procedimentos para a caracterização da incerteza resultante do processo de medição a partir da análise e combinação das diversas fontes de incerteza envolvidas.

## 5.2 O sistema Tortus

A determinação do coeficiente de atrito ( $\mu$ ) através do sistema Tortus baseia-se na determinação da razão entre a força de atrito tangente ( $F_t$ ) à superfície e a força normal ( $F_n$ ) aplicada sobre um elemento que se movimenta a uma velocidade constante. Entre a superfície (mensurando) e o sistema Tortus, há um sensor de borracha, como mostra a Figura 16.

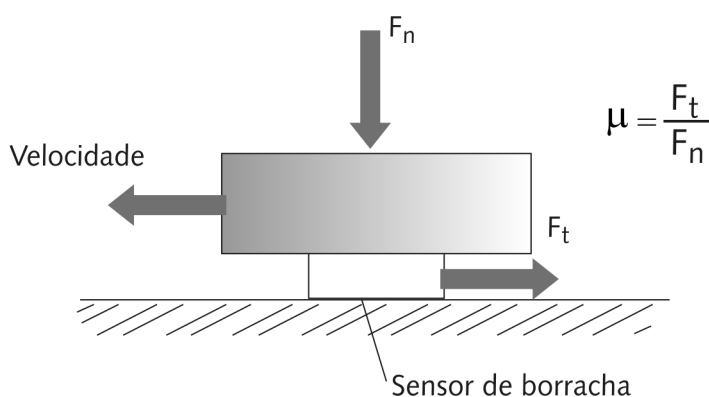


Figura 16 – Esquema do sistema Tortus

A velocidade imposta no sistema promove uma força de reação tangencial contrária ao movimento, gerando uma deflexão no mecanismo de molas planas paralelas. Essa deflexão produz um deslocamento na haste do transdutor indutivo, que transforma esse deslocamento em uma tensão diferencial linear. Esse sinal de tensão é transmitido à placa de aquisição e ao mostrador analógico do sistema Tortus, o qual é convertido em valores do coeficiente de atrito.

Dentro do processo de medição existem inúmeras fontes de incerteza, tais como: o sensor (forma, tipo de borracha, textura da superfície, estabilidade com o tempo); características da superfície a medir (limpeza, direção de varredura, uniformidade, umidade); fatores internos (calibração interna, estabilidade eletrônica, atritos, histerese, ortogonalidade da carga); operacionais (leitura, operação) e ambientais (tensão da rede, temperatura e umidade).

Neste trabalho também foram abordados algumas dessas fontes e posteriormente realizados experimentos para melhor detalhamento das fontes de incerteza.

O equipamento analisado foi o sistema Tortus, modelo 119, com as seguintes características técnicas:

- dimensão 420 mm x 236 mm x 100 mm; massa 6,5 kg;
- tensão de alimentação 220~240 V ; AC; 50 Hz;
- motor geração assíncrono de fase simples, 20 VA;
- velocidade 17 mm/s;
- transdutor de deslocamento tipo LVDT, sensibilidade 800 mV/V/mm; erro máximo de 0,3%;
- sensor deslizador de borracha de 9 mm de diâmetro; dureza  $73 \pm 3$  Shore A;
- carga sobre o deslizador de  $200,690 \pm 0,008$  g;
- carga horizontal aplicada de  $202,460 \pm 0,008$  g;
- mostrador analógico indutivo, 0~100 mA DC; escala de 0~1, div.:  $\mu=0,02$  Cf<sup>(\*)</sup>; escala 0~3, div.:  $\mu=0,1$  Cf<sup>(\*)</sup>.

Para avaliar o desempenho do sistema, foi usada uma superfície de referência composta de uma placa de vidro temperado e utilizados seis tipos de sensores de borracha e massas rastreadas, um gerador de sinal e um multímetro de 5 1/2 dígitos.

### 5.3 Procedimento experimental

Na busca para quantificar fontes de incertezas, alguns módulos do sistema Tortus foram separadamente analisados, como mostra a Figura 17. Calibrou-se estaticamente o transdutor que mede a força de atrito e, posteriormente, a placa de aquisição de sinais usando o próprio software do sistema.

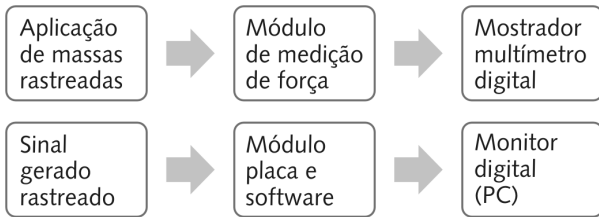


Figura 17 – Esquema de ensaio de calibração dos módulos

Uma fonte potencial de incertezas a ser considerada está associada aos sensores de borracha que transmitem a força de atrito do piso para o instrumento. Foram efetuadas medições de força de atrito dinâmica sobre uma superfície de referência de vidro temperado para cada um dos seis sensores disponíveis, tendo sido repetidas dez vezes. Esses ciclos de medições foram repetidos nas mesmas condições a cada três meses durante um ano. Os resultados obtidos evidenciaram grande dispersão e sensíveis variações a cada novo ciclo de medições.

Posteriormente, realizaram-se experimentos de avaliação da influência das suas características. Os sensores analisados foram o tipo E (importado), K e J de fabricação nacional. A superfície utilizada para ensaio foi a do vidro em posição fixa e determinada. Depois dos ensaios, foram realizados desgastes nos sensores a fim de assegurar a planicidade superficial de contato, através de adaptação do sensor em uma furadeira em movimento para desgaste.

Outra influência considerada foi o posicionamento relativo da textura da superfície de contato do sensor, com a direção de movimento. Realizou-se desgaste nos sensores com uma lixa de granulometria 400, em uma única direção. Os ensaios foram realizados nas posições paralela ( $K_{rpl}$ ) e perpendicular ( $K_{rper}$ ) à direção de movimentação do sistema de medição.

Foram realizados também ensaios de medição em três posições da superfície do vidro temperado com cinco medições cada uma, e determinou-se o desvio. O posicionamento foi identificado como  $K_{dir}$ ;  $K_{cen}$ ;  $K_{esq}$  e avaliada a dispersão dos resultados.

## 5.4 Procedimento para o cálculo de incertezas de medição

Os resultados da calibração do medidor de força foram tratados segundo a norma ISO GUM, considerando como fonte de incerteza o desvio padrão das indicações de medição; a incerteza das massas aplicadas e o erro do milivoltímetro utilizado. Para as fontes também foram considerados os erros de operação e do mostrador analógico utilizado para regulação do zero, tanto para as escalas 0~1 e 0~3.

O erro estimado para operação foi de 1/4 da menor divisão de escala, e para o erro de escala foi de 1/6 da menor divisão.

A avaliação da placa e do software foi realizada a partir da introdução de um sinal padrão gerado e indicado por um mostrador digital de 5½ dígitos, nos níveis de 10 mV a 100 mV, que corresponde aos valores de 0,1 a 1,0 de Cof, com quatro ensaios cada um.

### Determinação da incerteza do sensor

Depois de analisados os resultados da calibração dos tipos de sensores, realizou-se uma programação de ensaios. Para cada causa considerada, foi estimada experimentalmente a contribuição de cada efeito.

Com relação à forma da superfície de contato do sensor com a placa de vidro, consideraram-se incertezas do tipo A. Esses valores foram estimados como fonte de incerteza referente à forma da superfície do sensor.

### Influência da textura da superfície de contato

Para a avaliação dessa influência, foram computados todos os valores lidos nos ensaios, tanto no sentido perpendicular como paralelo ao movimento do sistema. Determinou-se o desvio padrão experimental das indicações e utilizou-se esse valor como fonte de incerteza referente à textura.

### Incerteza da placa de vidro

Os resultados obtidos nas medições na placa de vidro foram tratados como incertezas do tipo A. Para a determinação dos dados, realizou-se o ensaio em três posições na superfície da placa ( $K_I$ ;  $K_{II}$ ;  $K_{III}$ ) e calculou-se o desvio padrão experimental.

### Estimativa da influência do operador

A fonte que relaciona a influência do operador foi estimada como 1/6 da menor divisão das escalas utilizadas. Para as escalas 0~1 e 0~3, foram estimadas como 0,02/6 e 0,1/6, respectivamente.

## Avaliação do processo de medição

As fontes de incerteza, consideradas para o processo de medição, foram o erro dos sistemas software/placa e o medidor de força segundo a função estimada dos módulos ( $F_{E_r}$ ), sem realização da correção sistemática; o desvio padrão das indicações; desvio experimental, devido à utilização da placa de vidro como padrão; desvio padrão experimental, devido à influência do sensor, ao erro de planicidade e à textura da superfície de contato.

## 5.5 Resultados

Entre as fontes de incerteza analisadas neste trabalho, é possível constatar que:

1. O sistema de medição da força de atrito no aparelho Tortus analisado apresenta erros sistemáticos da ordem de 0,035 para o coeficiente de atrito e repetitividade (95%) de 0,012.
2. O sistema software/placa de aquisição de sinal usado no sistema Tortus analisado apresenta erros sistemáticos da ordem de 0,05, que, se não corrigidos, podem levar a erros da ordem de 5,5% do fundo de escala.
3. O erro máximo observado no sistema integrado (medidor de força e placa/software) é de 0,07, ou de 13% da incerteza combinada.
4. A principal fonte de incerteza do sistema é decorrente dos sensores de borracha, que podem introduzir incertezas da ordem de 40% sobre os resultados da incerteza combinada. Fontes como a forma e textura superficial do sensor de borracha influenciam nos resultados do processo de medição.
5. A placa de vidro não possui homogeneidade superficial, o que exige estabelecer uma região determinada e fixa para seu uso como padrão de referência nessas condições, à seca.

## 5.6 Sugestões

Para a redução da incerteza expandida conseqüentemente do processo de medição, alguns estudos seguem como sugestões:

- avaliar a calibração em maior número de níveis, para determinar a curva de correção do sistema de medição de força;
- definir um padrão de sensor de borracha, quanto às características físicas e químicas, estáveis;

- adotar procedimentos padronizados de preparação do sensor de borracha, com o objetivo de evitar a não-uniformidade quanto à forma e à textura da superfície de contato;
- estabelecer padrões de referência de superfície uniforme e realizar avaliações de análise de variância das fontes de incertezas; e
- estabelecer a correlação do comportamento do coeficiente de atrito e a influência da rugosidade superficial de pisos.

## 6 Teses, dissertações e publicações geradas pelo projeto

### 6.1 Teses e Dissertações Concluídas e em Fase de Conclusão

#### 6.1.1 Doutorado

Denise Antunes da Silva. Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento portland. Concluído em julho de 2001.

Leslie Maria Finger Roman. Desenvolvimento de sistema de assentamento de cerâmica com junta seca. Em andamento.

#### 6.1.2 Mestrado

Oscar Khoiti Ueno. Avaliação metrológica de um sistema de medição do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos. Concluído em maio de 1999.

Maria Luiza Lopes de Oliveira. Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas. Concluído em maio de 2001.

André Matte Sagave. Desenvolvimento de aparato de ensaio de cisalhamento para sistemas de revestimentos cerâmicos. Em conclusão.

### 6.2 Artigos Completos Publicados em Periódicos

SILVA, Denise Antunes da; ROMAN, Humberto Ramos; ALARCON, Orestes Estevan; SILVA, Alisson Hoffmann. Argamassas adesivas para assentamento de revestimentos cerâmicos: influência dos aditivos poliméricos em algumas propriedades. *Revista Cerâmica Informação*, UFSC/LABMAT/EMC, Florianópolis, v. 8, p. 42-48, 2000.

ROMAN, Leslie Maria Finger; SAVAGE, André; ROMAN, Humberto Ramos; ALARCON, Orestes Estevan. Durabilidade da Resistência de aderência à tração de sistemas de revestimento cerâmico. *Revista Cerâmica Informação*, UFSC/LABMAT/EMC, Florianópolis, v. 13, p. 63-67, 2000.

SILVA, Denise Antunes da; JOHN, Vanderlei M.; RIBEIRO, José Luis Duarte; ROMAN, Humberto Ramos. Pore-size distribution of hydrated cement pastes modified with polymers. Concrete and Cement Research, USA. (Aceito para publicação).

### 6.3 Principais Publicações Completas em Congressos

SILVA, Denise Antunes da; ROMAN, Humberto Ramos. Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** 2001. p. 15-43.

SILVA, Denise Antunes da; ROMAN, Humberto Ramos. Pastas de cimento modificadas com polímeros HEC e EVA: estudo da distribuição do tamanho dos poros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** 2001. p. 321-332.

OLIVEIRA, Maria Luiza Lopes; et al. Effect of Polypropylene Fibers on Masonry Mortars and Prisms. In: CANADIAN MASONRY SYPOSIUM, 9., 2001, Fredericton. CD-ROM 9<sup>th</sup> Canadian Masonry Symposium, 2001.

ROMAN, Leslie Maria Finger; et al. Análise da resistência de aderência em sistemas de revestimento cerâmico submetidos à ciclos higrótérmicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais...** 2000. v. 1, p. 9-17.

SILVA, Denise Antunes da; ROMAN, Humberto Ramos; GLEIZE, Philippe Jean-Paul. Caracterização microestrutural de pastas de cimento modificadas com polímeros vinílicos e celulósico. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., 2000, Punta del Leste. **Anais...** 2000. v. 1, p. 01-10.

MÜLLER, Alexandre; GLEIZE, Philippe Jean-Paul; ROMAN, Humberto Ramos. Effic of EVLC Latex Polymer on Masonry Mortar Properties and Microstructure. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 12., 2000, Madrid. **Anais...** 2000. v. 1, p. 707-717.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo; ROMAN, Humberto Ramos. Estudo das argamassas de revestimento aditivadas em relação às de Cal. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, 4., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** 2000. v. 1, p. 489-497.

SILVA, Denise Antunes da; ROMAN, Humberto Ramos; ALARCON, Orestes Estevan. Influence of HEMC and EVA polymers on some properties of dry-set mortars. In: QUALICER 2000 – WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, 6., 2000, Castellon. General Conferences Papers Posters. Castellón: La Gavina, 2000. v. III. p. 21-30.

ROMAN, Leslie Maria Finger, et al. The influence of grout thickness on the adherence of ceramic tiling systems. In: QUALICER 2000 – WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, 6., 2000, Castellón. General Conferences Papers Posters Round Table. Castellón: La Gavina, 2000. v. III. p. 31-38.

SILVA, Denise Antunes da, ROMAN, Humberto Ramos, SILVA, Alisson Hoffmann. Efeitos dos polímeros MHEC e EVA em algumas propriedades das argamassas colantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória – ES. **Anais...** v. 1, p. 425-440.

SILVA, Denise Antunes da, et al. Theoretical Analysis on the Thermal Stresses of Ceramic Tile Coating Systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 8., 1999, Vancouver. 1999. v. 1, p. 603-612.

SILVA, Denise Antunes da, et al. Influência do teor de polímeros nas propriedades adesivas de argamassas colantes. In: ENCONTRO NACIONAL TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** 1998. v. 1, p. 97-104.

SILVA, Denise Antunes da; ROMAN, Leslie Maria Finger; ROMAN, Humberto Ramos. Tensões térmicas em revestimentos cerâmicos. In: SEMINÁRIO CAPIXABA SOBRE REVESTIMENTOS CERÂMICOS, 1998, Vitória – Espírito Santo. **Anais...** 1998. v. 1, p. 17-35.