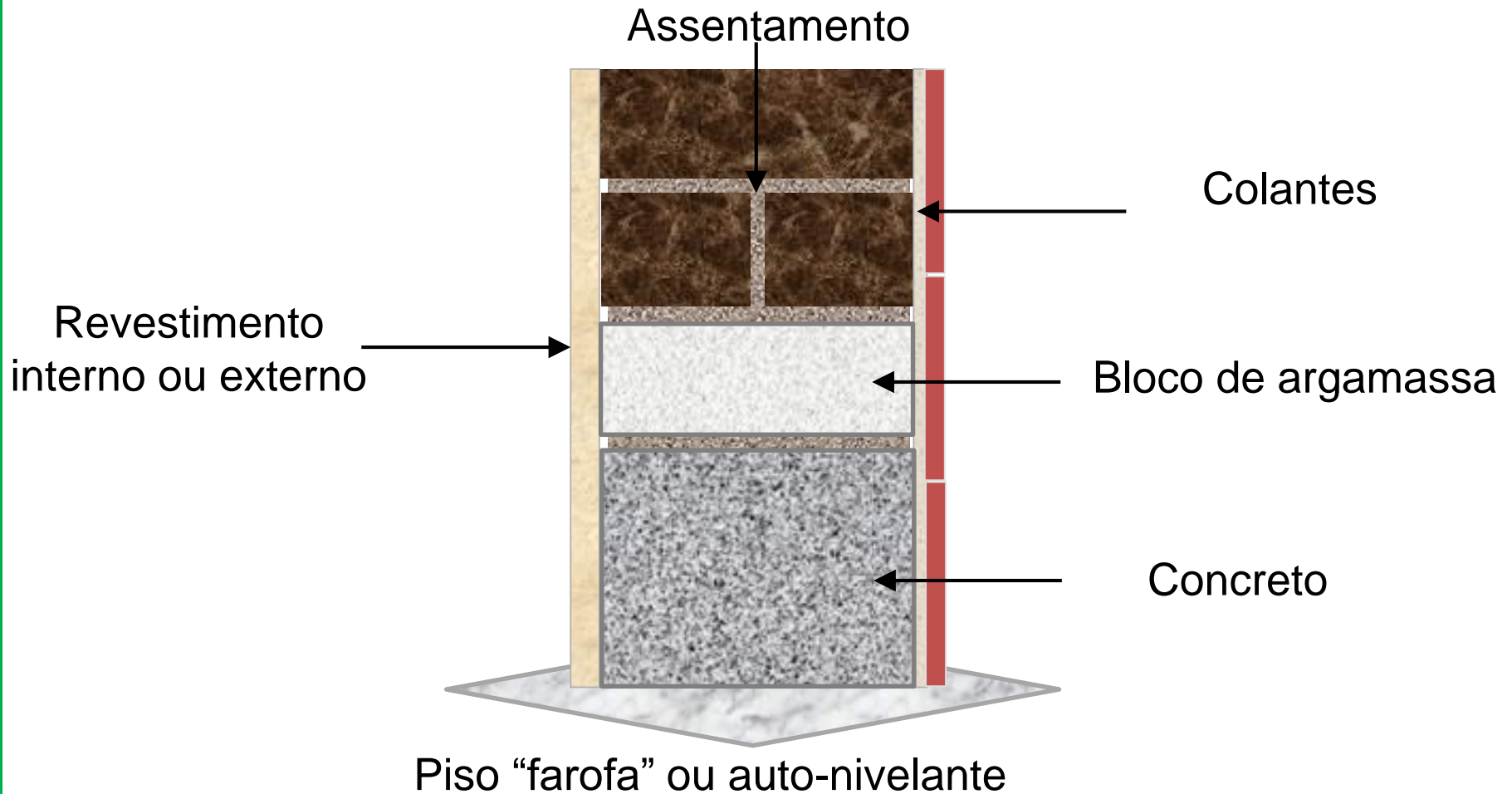


# Caracterização reológica de argamassas por squeeze-flow

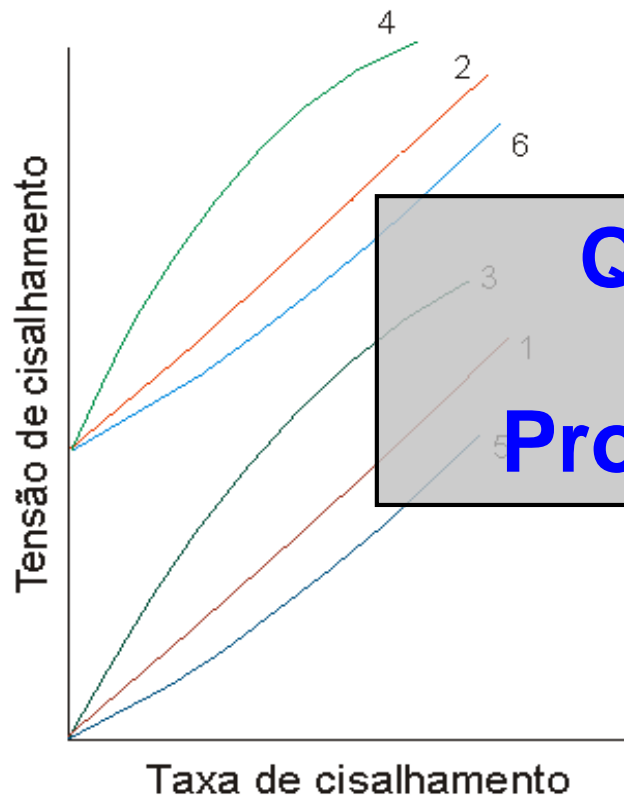
**Dr. Fábio Alonso Cardoso**

*Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência de Materiais  
Departamento de Engenharia de Construção Civil  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

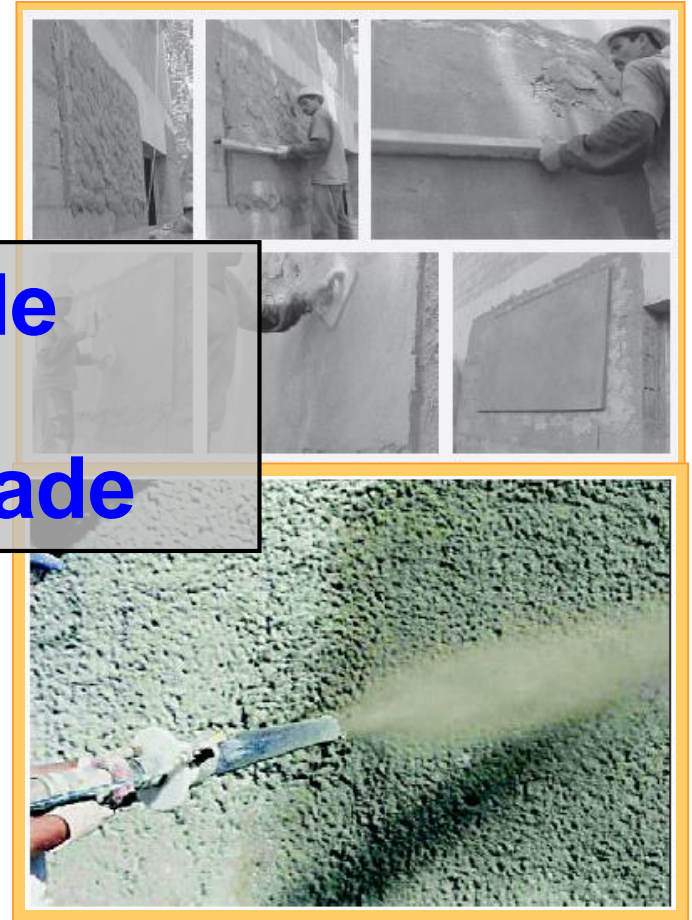
## Tipos de argamassas



## Comportamento reológico



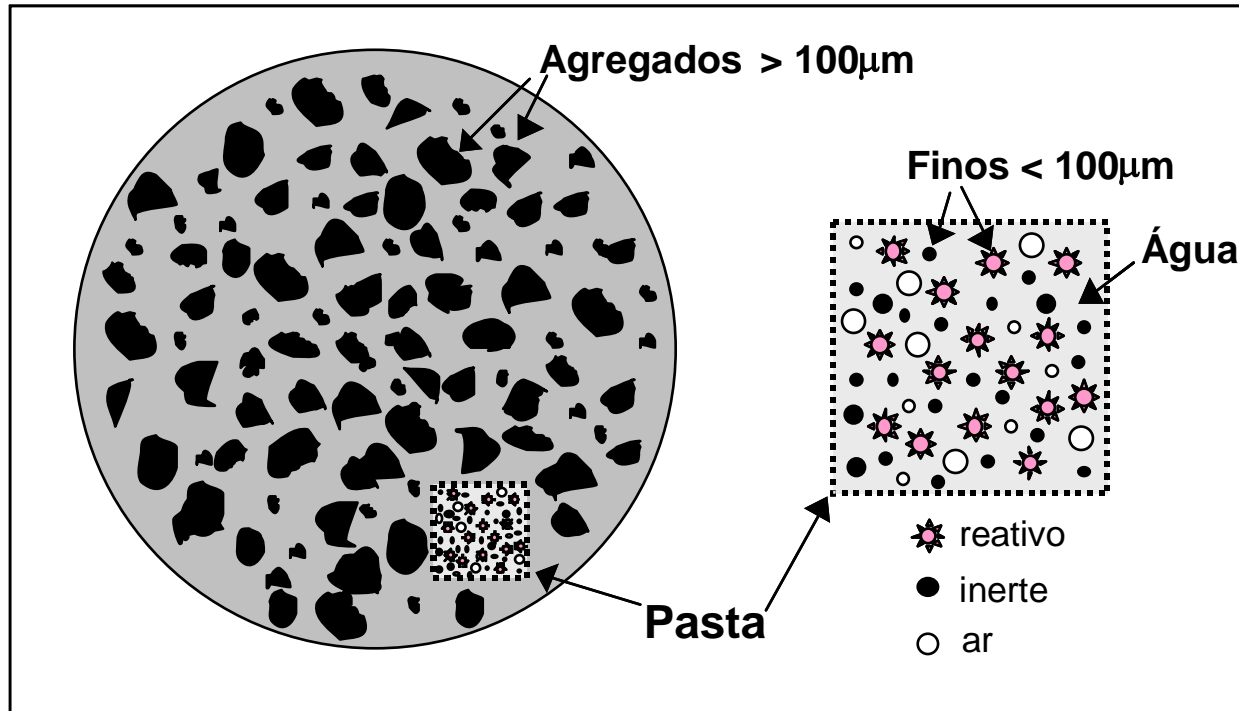
## Técnica de aplicação



**Qualidade  
&  
Produtividade**

**Adequação das características reológicas das argamassas à aplicação permite a obtenção de máximas propriedades finais do revestimento, que são determinadas pelas características da formulação.**

## Microestrutura de uma argamassa no estado fresco

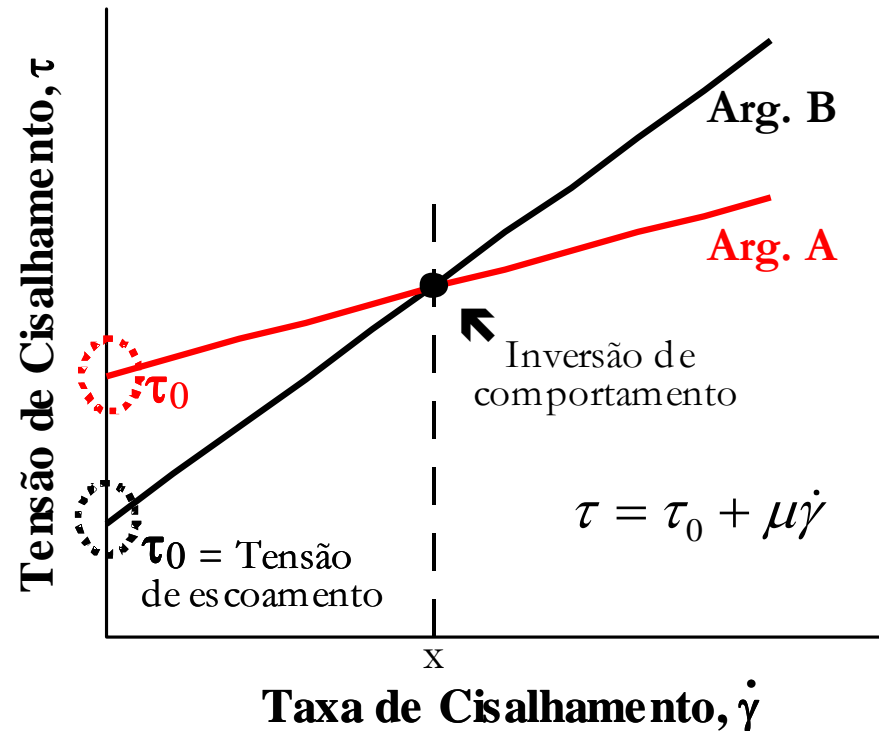


Argamassa é um material composto por matérias-primas granulares

Suspensão concentrada reativa

- partículas macroscópicas inertes (agregados)
- pasta fluida reativa

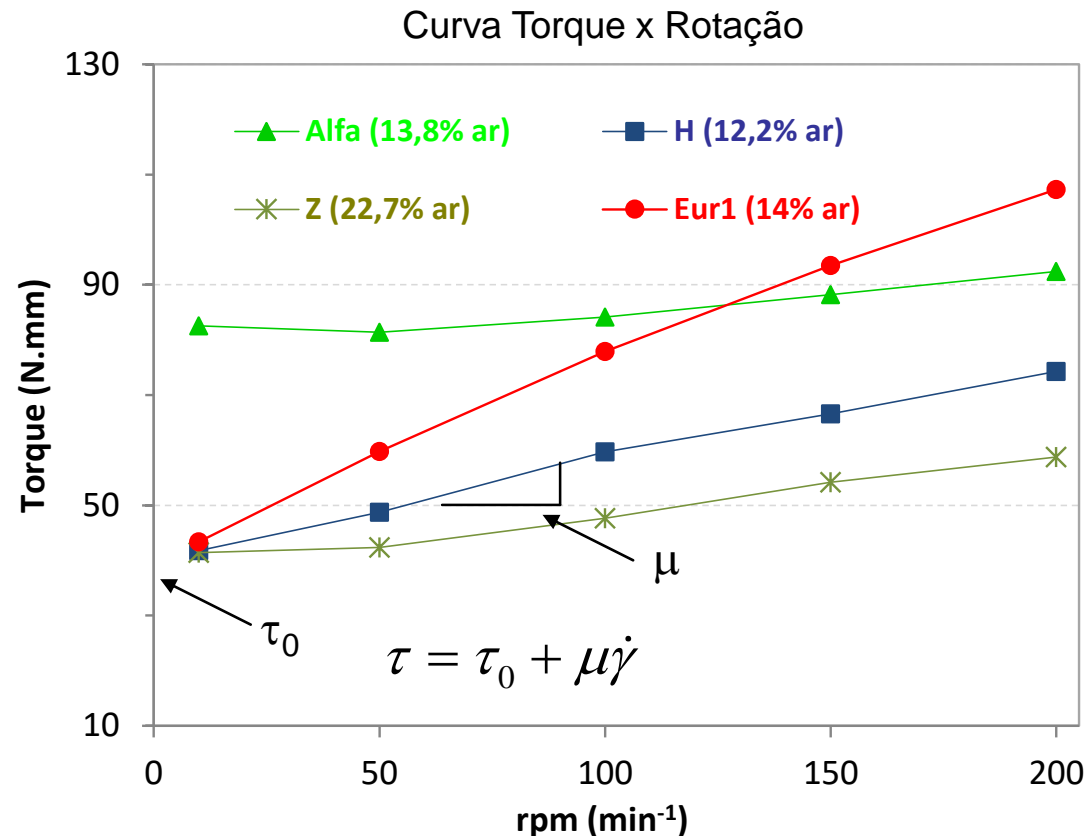
## Importância da correta avaliação do comportamento reológico



- Depende das solicitações – taxa de cisalhamento
- Reometria para determinar comportamento e parâmetros reológicos
- Tensão de escoamento e viscosidade

## Reometria rotacional

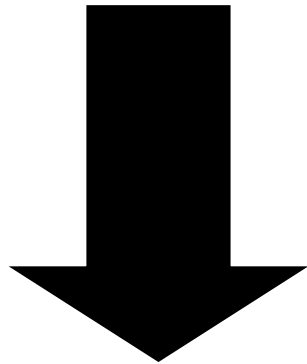
Exemplo real: comportamento reológico de argamassas de revestimento



- ✓ Avaliação do material em diferentes velocidades de rotação (taxa de cisalhamento)
- ✓ Tensão de escoamento similar (H, Z, Eur1)
- ✓ Viscosidade diferente

**Estado fresco**

= **pequena** parte da vida útil

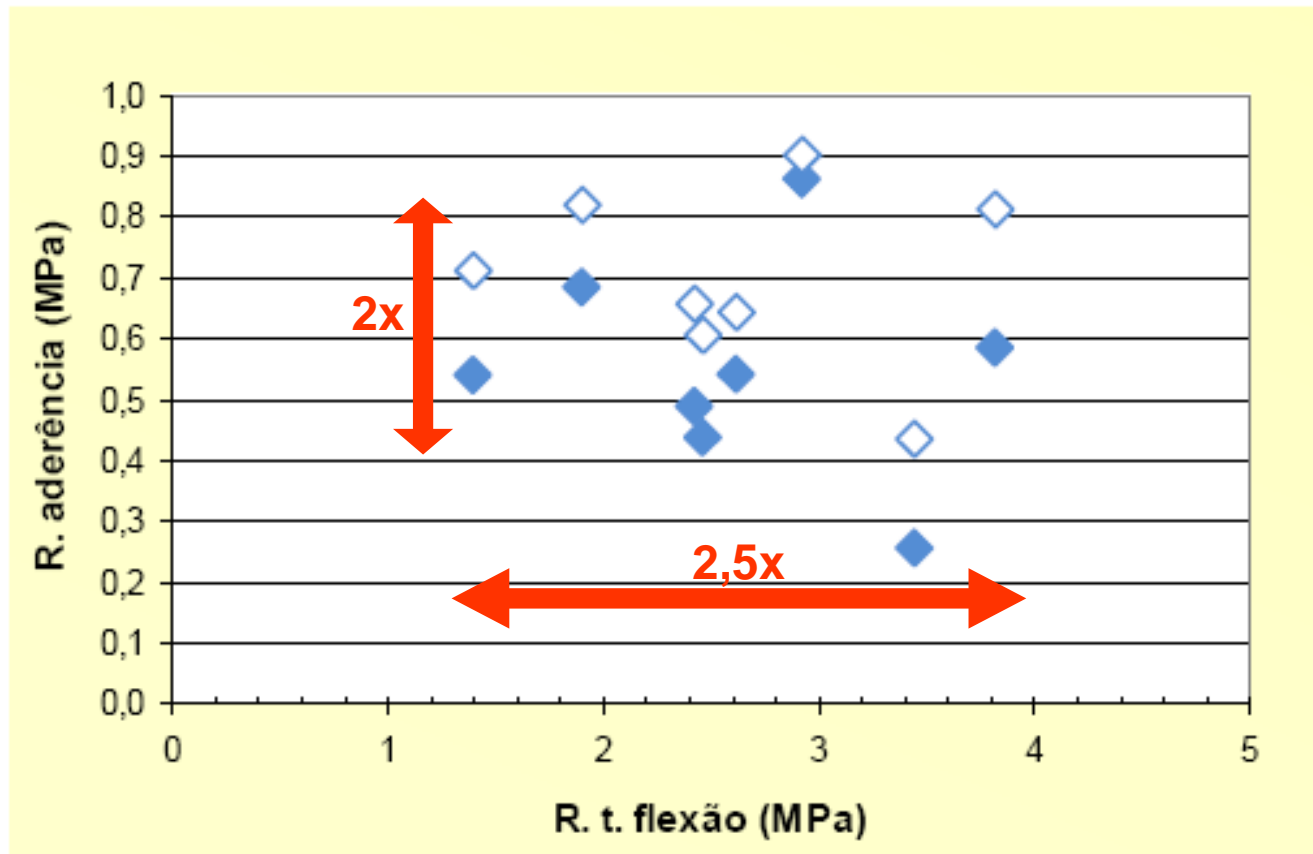


**IMPORTANTES** conseqüências!!!

**Propriedades e desempenho no estado endurecido**

- **Aderência**
- Resistência mecânica
- Módulo elástico
- Permeabilidade
- Aspecto visual

## Resistência mecânica x Aderência



Maior energia de lançamento  Aderência

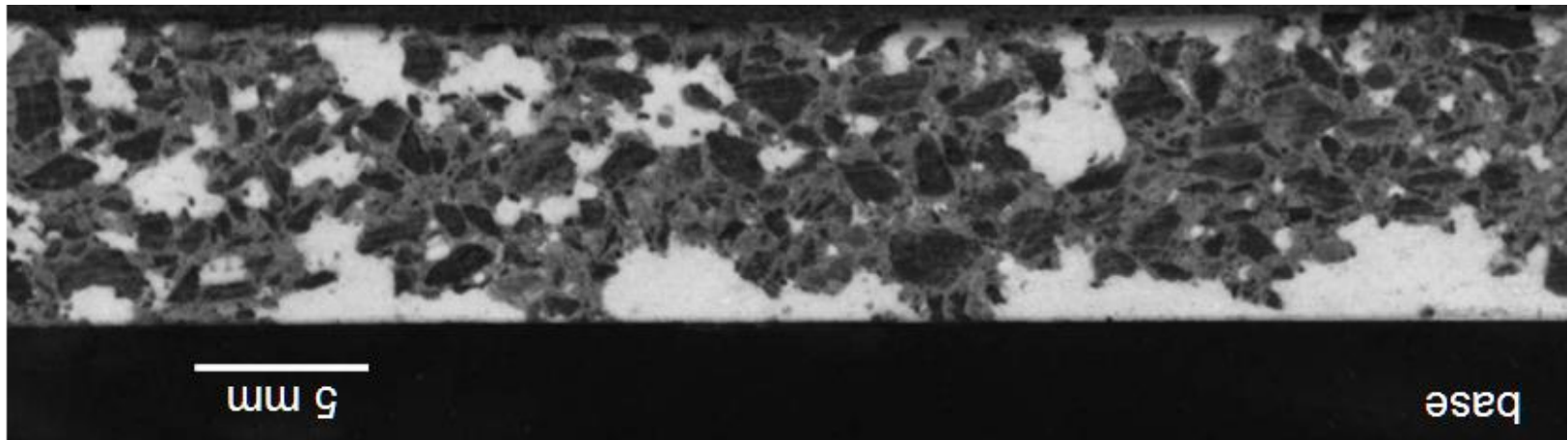


## Comportamento reológico e aderência



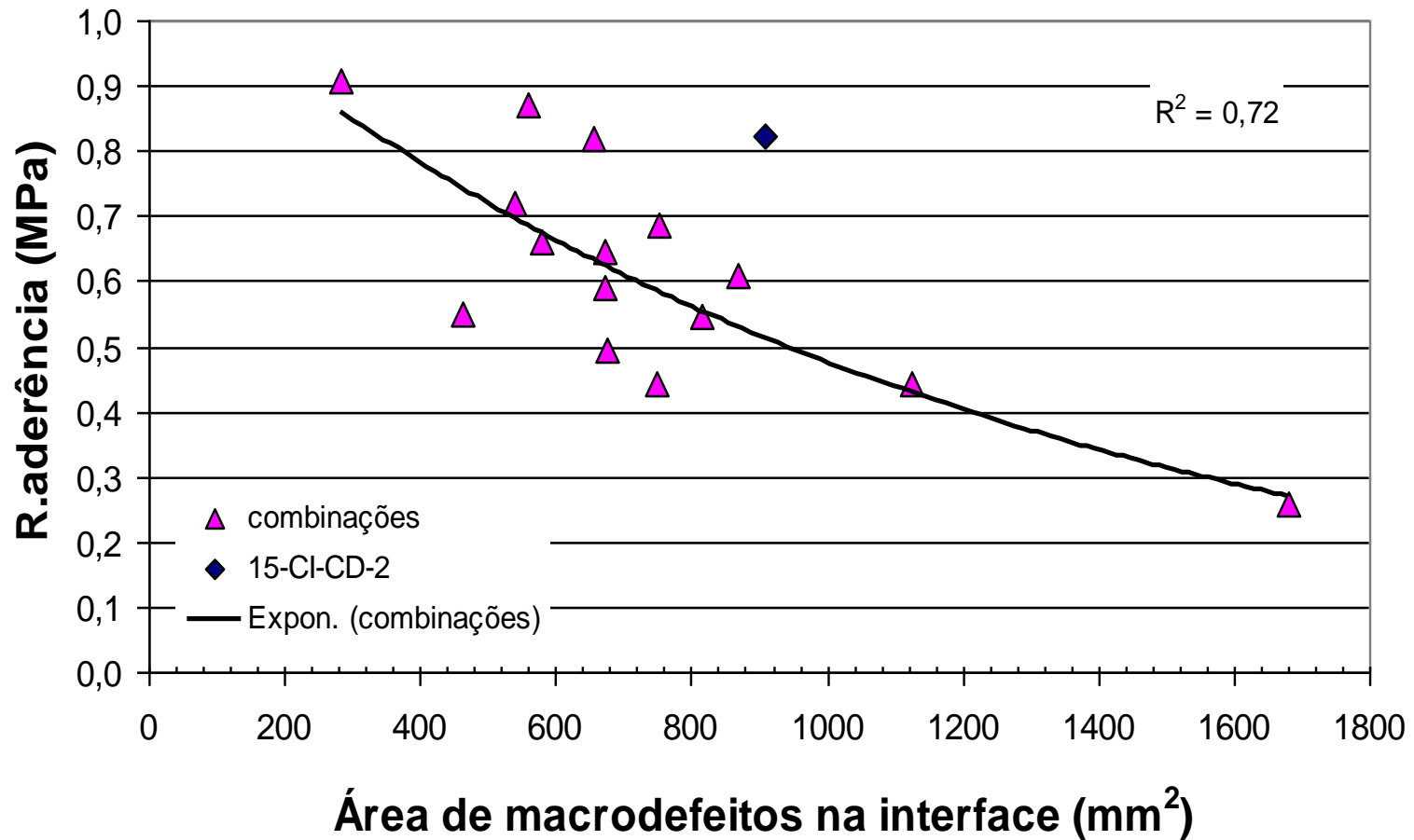
**!! Quantidade de defeitos na interface !!**

## Defeitos na interface



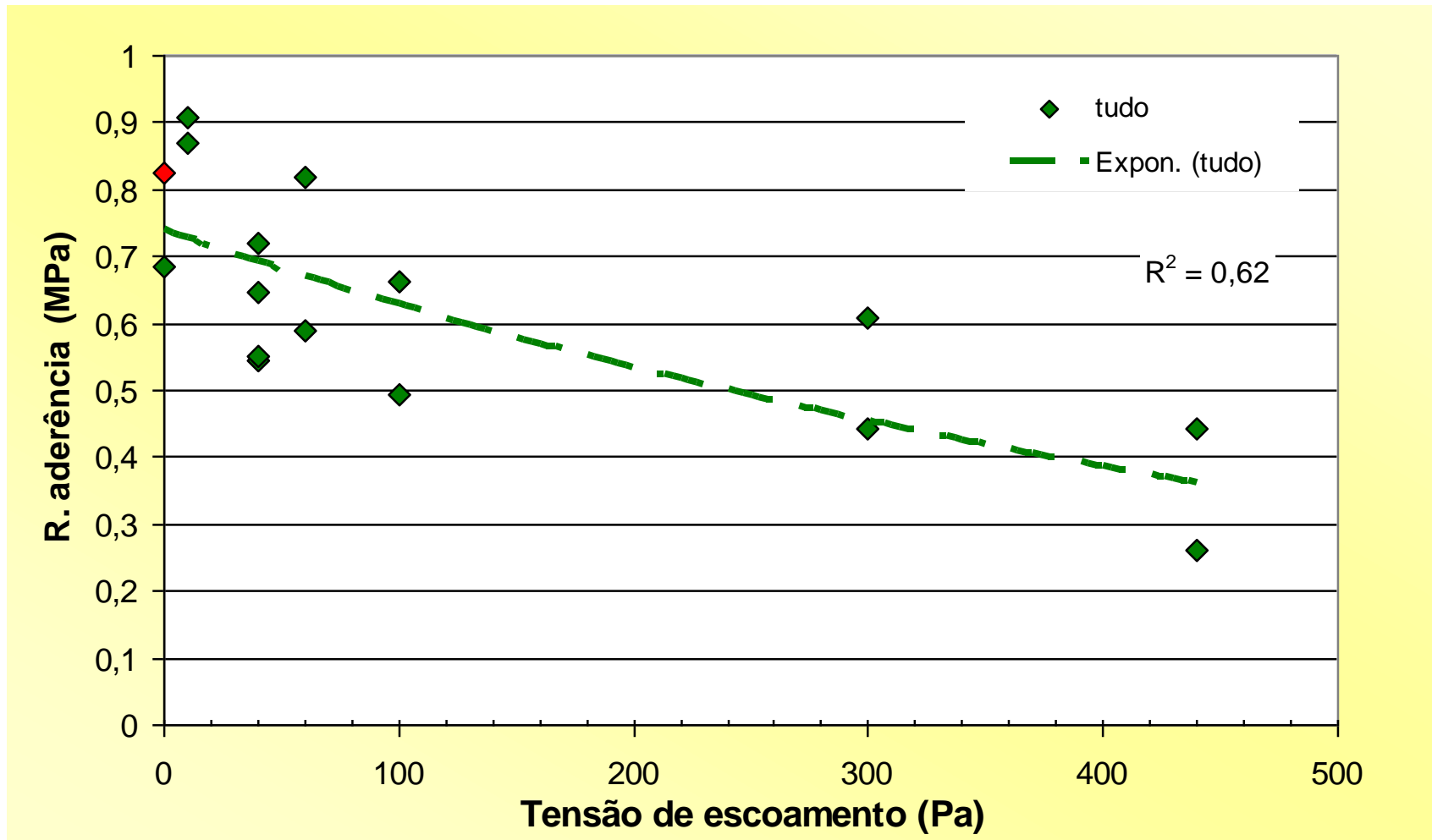
- ❑ ANTUNES, R. P. N. Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

## Defeitos x Aderência



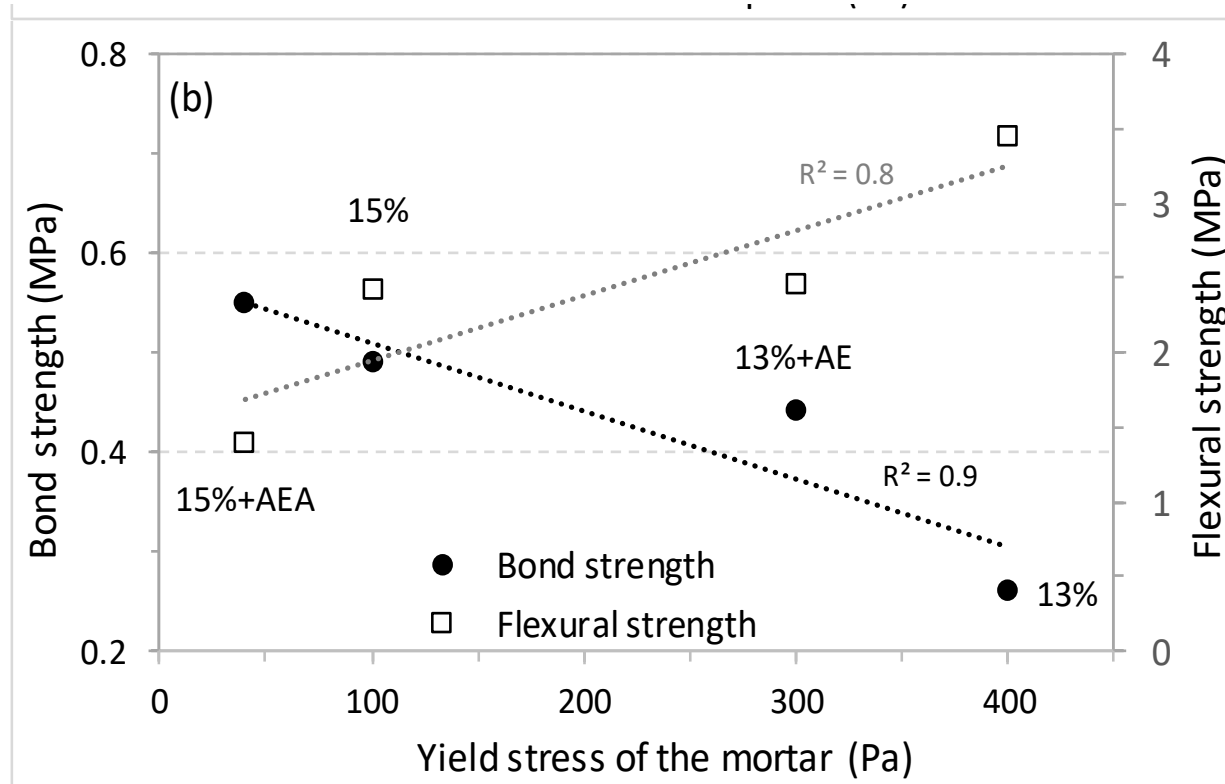
$$\text{Rad} \sim K(\text{Rmec} - D)$$

## Aderência x Comportamento reológico



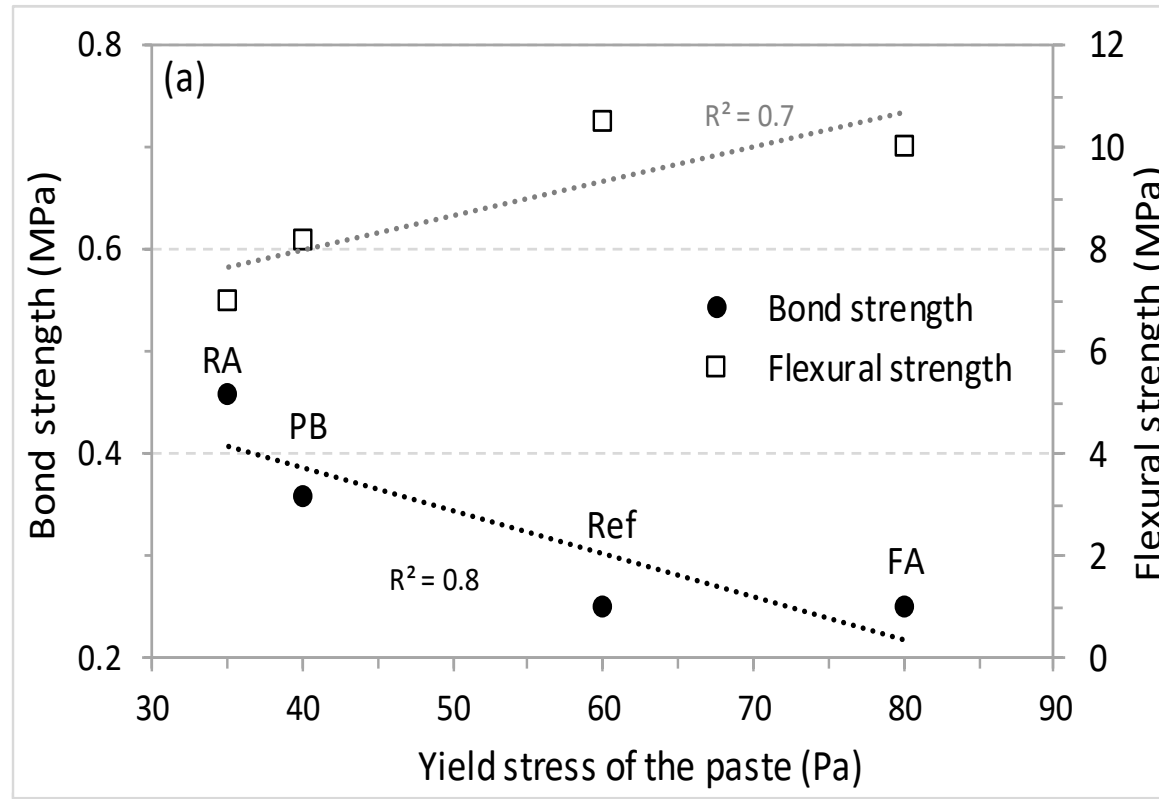
**Adequação do comportamento reológico à energia de lançamento utilizada**

## Aderência x Comportamento reológico



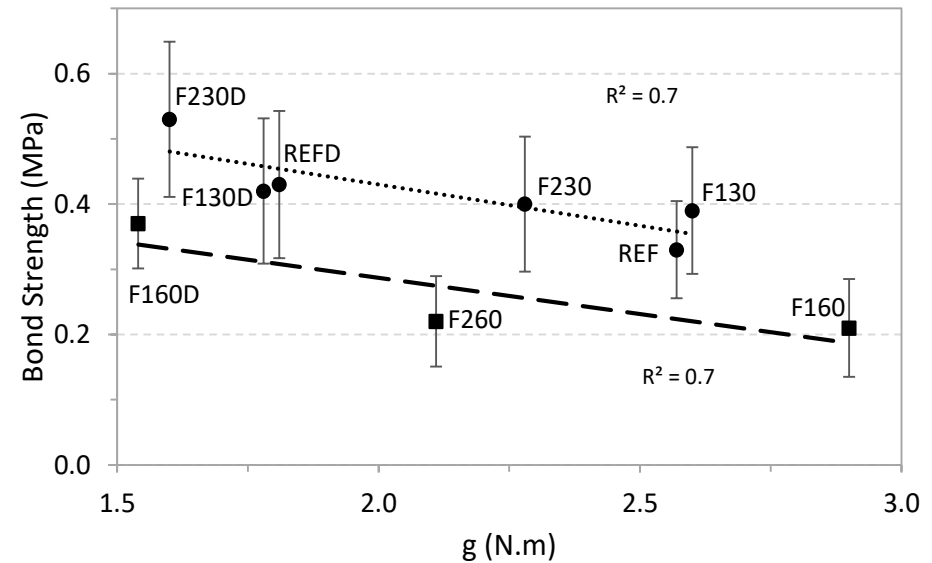
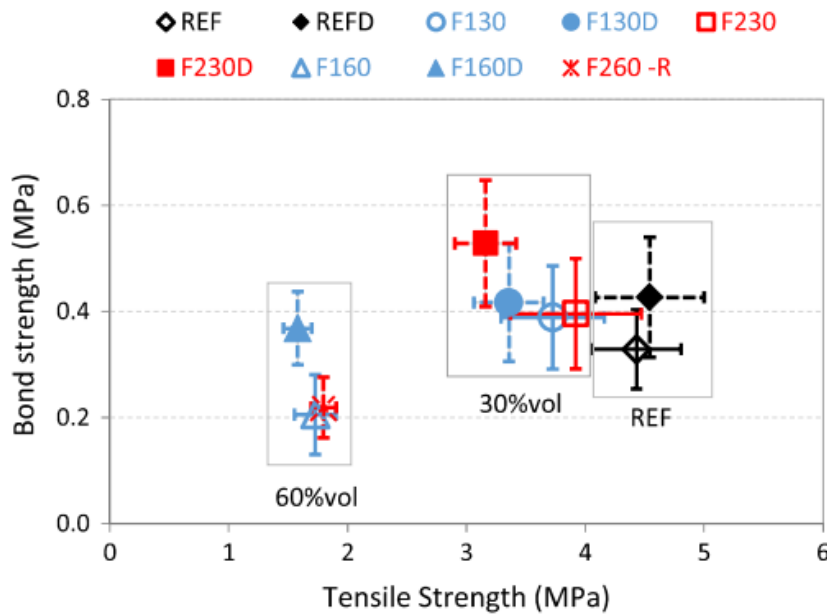
Argamassas com menor resistência mecânica podem apresentar maior resistência de aderência: melhor comportamento reológico!!

## Aderência x Comportamento reológico



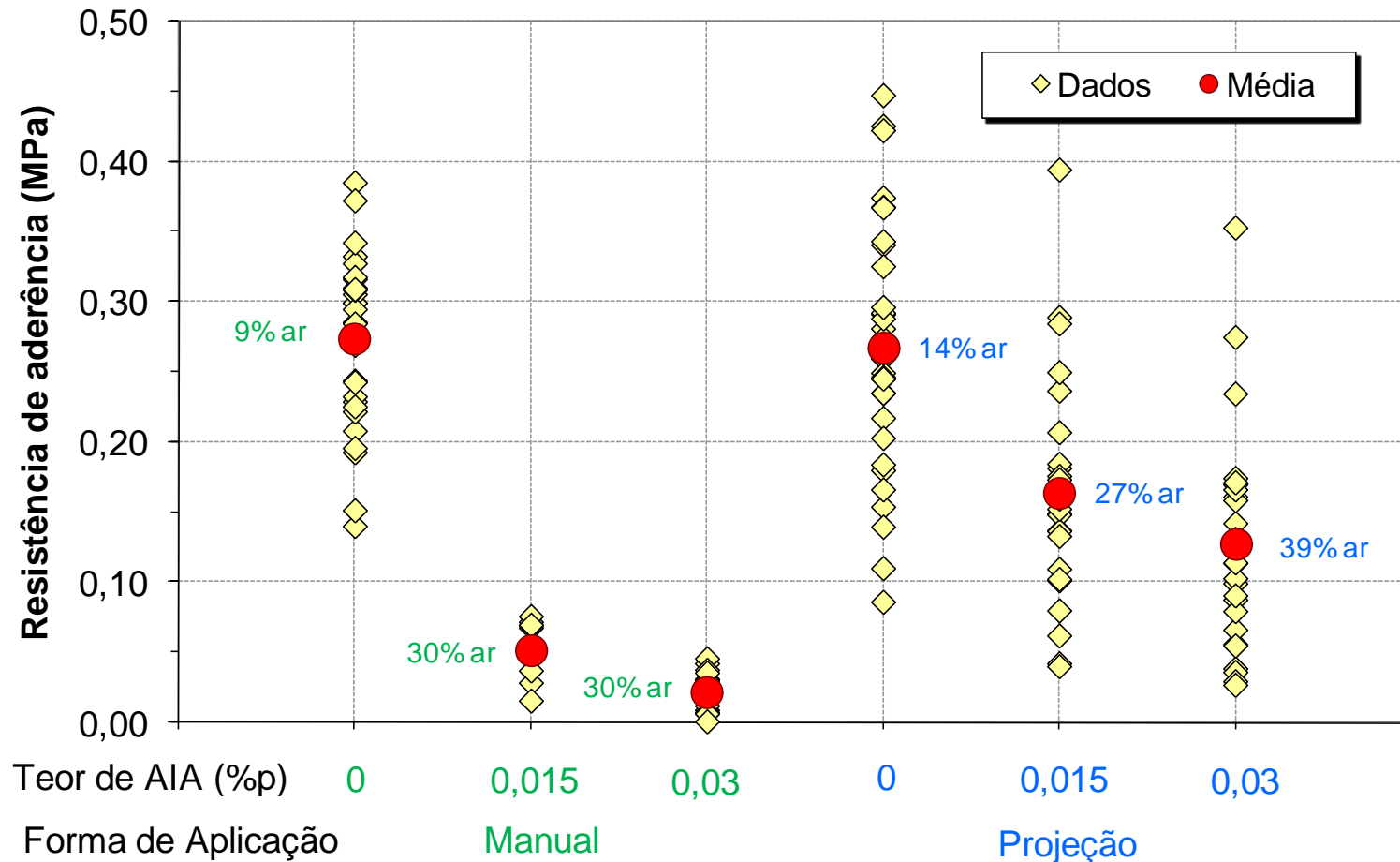
Argamassas com menor resistência mecânica podem apresentar maior resistência de aderência: melhor comportamento reológico!!

## Aderência x comportamento reológico



Com comportamento reológico adequado, a resistência de aderência pode subir mesmo com redução do teor de cimento!!

## Aplicação manual vs. Canequinha





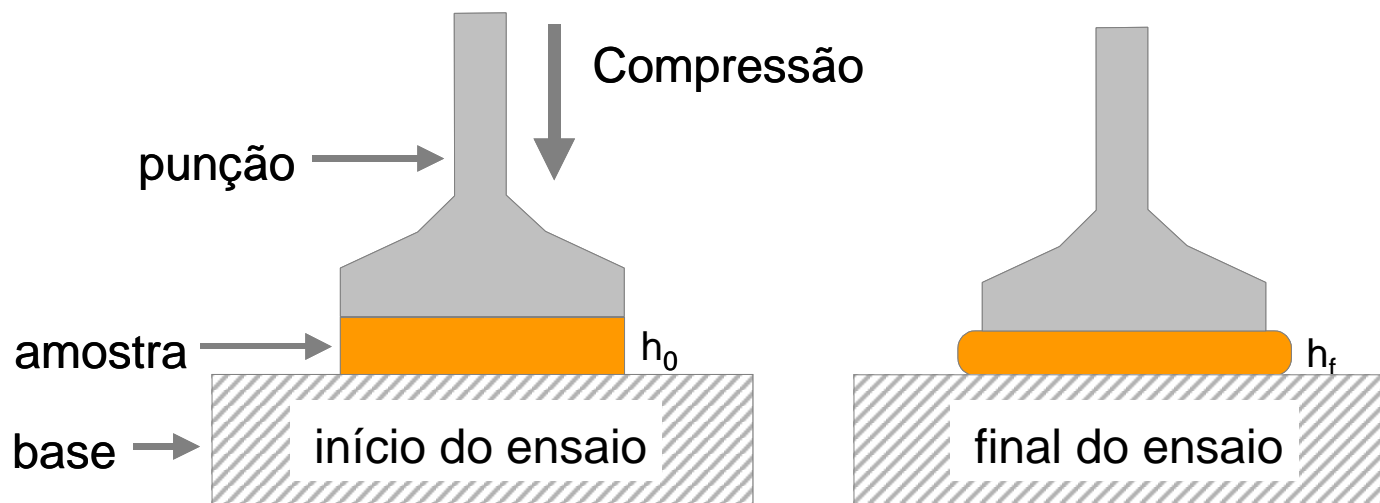
**“ Existe a necessidade de um aparato conveniente e de baixo custo, com construção robusta, adequado para o uso industrial mas que seja capaz de efetuar medidas reológicas em mais de uma taxa de cisalhamento...ou seja um teste de pelo menos dois pontos (taxa, tensão de cisalhamento)” [P.F.G. Banfill \(1990\), Mag Concr Res 42 \(153\): 213 – 221.](#)**

**“Novos métodos devem apresentar a simplicidade, baixo custo e rapidez da mesa de fluidez, mas que avaliem o comportamento reológico em amplas faixas de solitação e consistência e , de preferência, simulem as condições de aplicação prática das argamassas” [Ferraris, C. \(1999\) NIST Journal.](#)**

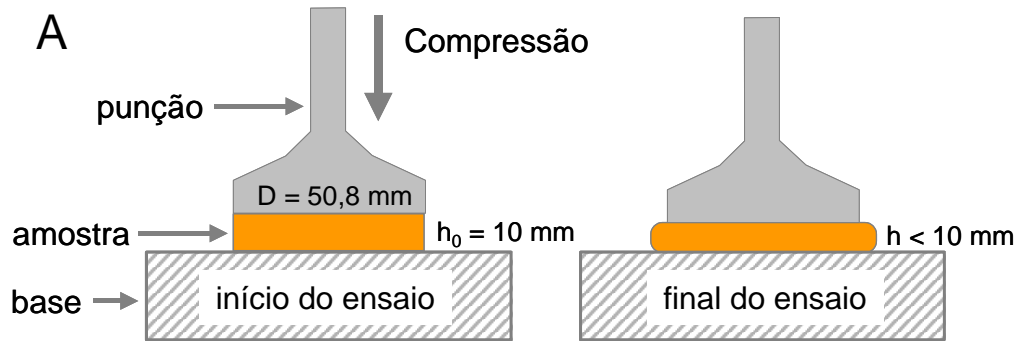
- ✓ **CARDOSO, F.A.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V.M. Caracterização reológica de argamassas através do método de squeeze-flow. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI, In: Anais, ANTAC, Florianópolis p 121-143, 2005.**
- ✓ **ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Influência da seqüência de mistura nas propriedades reológicas de argamassas avaliada por squeeze-flow. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas,VI, In: Anais, ANTAC, Florianópolis, 2005. p 158-179.**
- ✓ **ANTUNES, R. P. N. Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.**

## Descrição

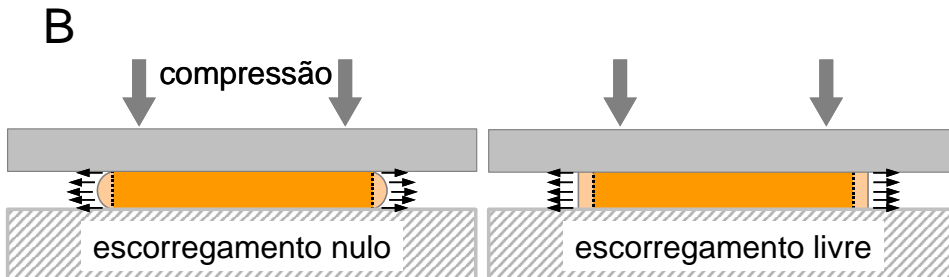
- **Squeeze-flow é uma técnica reológica que consiste em comprimir uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas, causando o fluxo radial do material.**



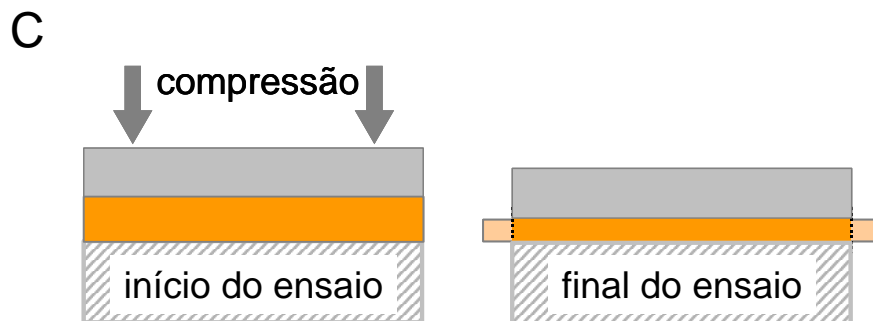
## Configurações



- Diâm. Punção = diâm. amostra
- Área constante
- Volume variável



- Diâm. Punção Sup. > diâm. amostra
- Área variável
- Volume constante

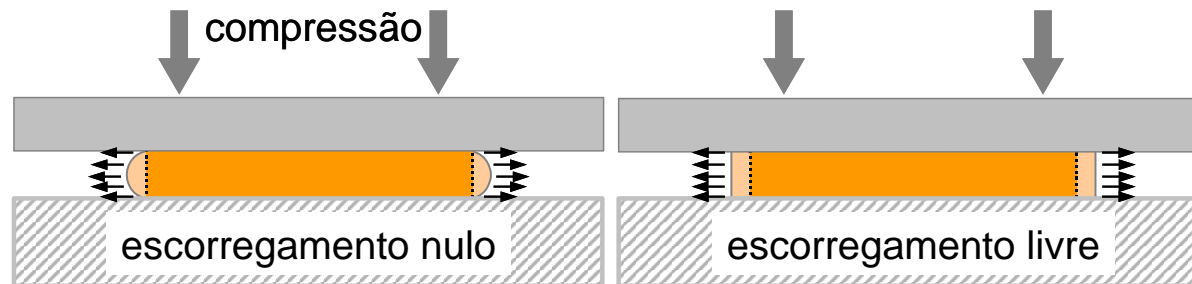


- $D_{\text{superior}} = D_{\text{inferior}} = D_{\text{amostra}}$
- Área constante
- Volume variável

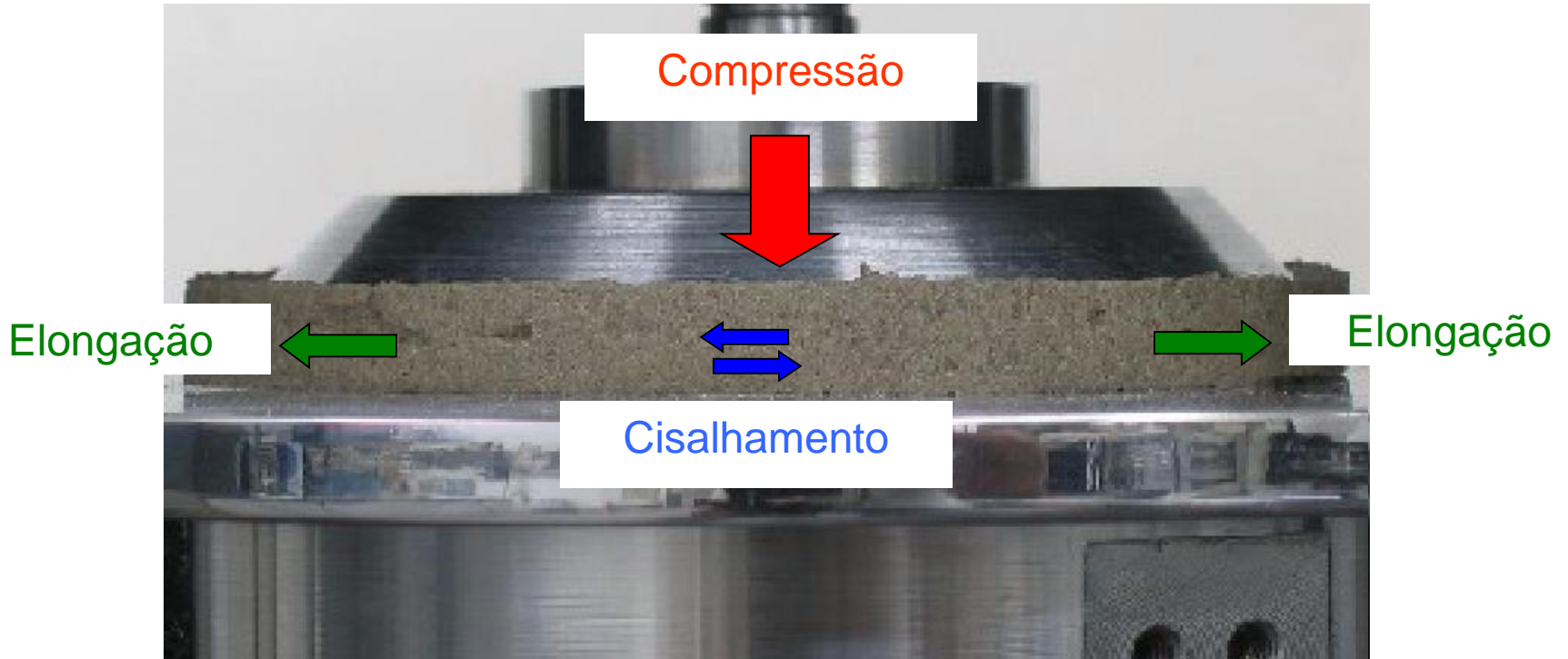
## Solicitações

Fatores que influenciam as solicitações geradas nos Squeeze-flow:

- ❑ Relação Diâmetro / altura (D/h)
  - $D/h > 5$
  - Quanto maior D/h maior tendência de haver cisalhamento
- ❑ Condições de interface placa-material
  - Escorregamento nulo = cisalhamento
  - Atrito nulo = alongação
  - Prática = alongação + cisalhamento



## Solicitações



Argamassa de revestimento

## Características

### **1) Não apresenta problemas comuns dos ensaios reológicos:**

- perda de contato entre material e elemento cisalhante
- entupimento de capilares
- dificuldade de avaliar fluidos contendo fibras
- escorregamento entre material e elemento cisalhante

### **2) Equipamento:**

- não necessita de equipamento exclusivo e de alto custo
- fácil implementação em máquina universal de ensaios
- avaliação de materiais em ampla faixa de consistência

### **3) Solicitação:**

- ensaio reológico com mudança de espessura da amostra
- avaliação das propriedades reológicas em diferentes velocidades e deformações
- fluxo elongacional e/ou cisalhamento
- simula etapas de aplicação de argamassas
- simula argamassa sendo esmagada entre duas britas em concretos

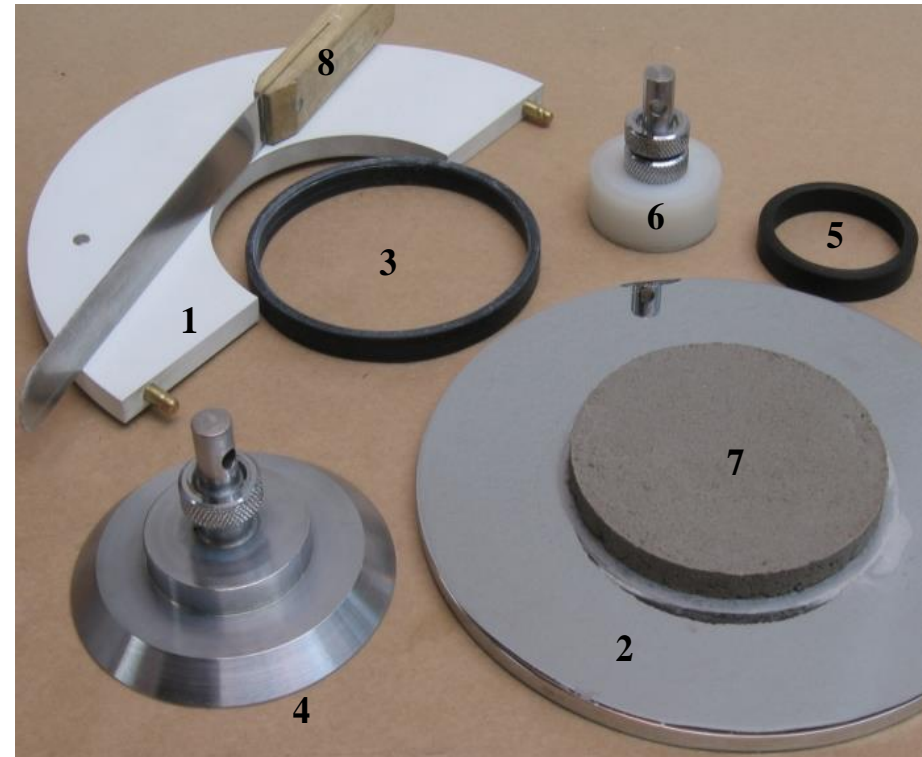
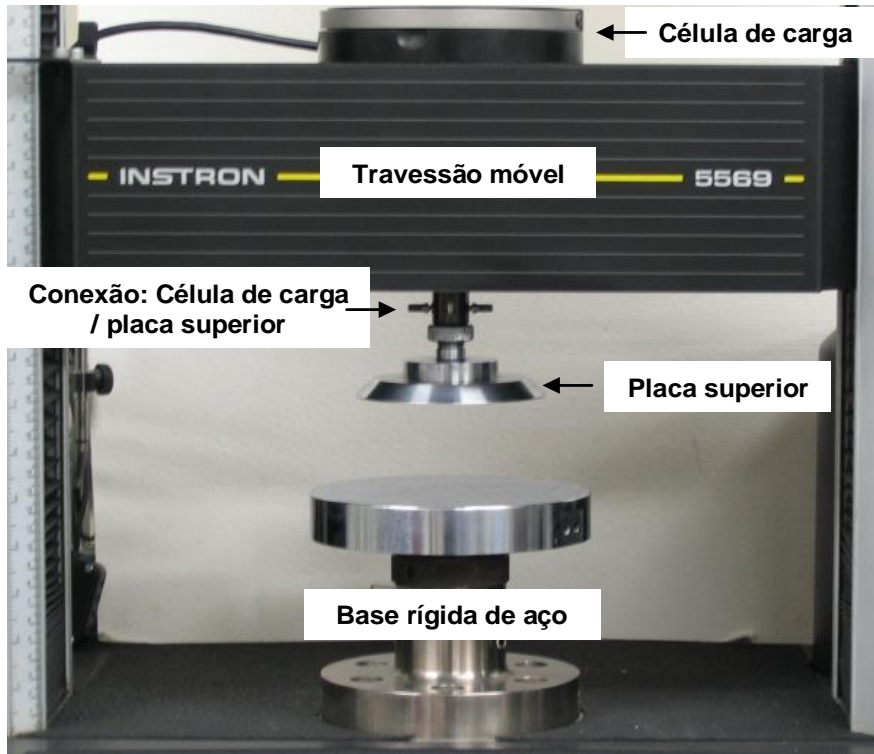
## Utilização

Técnica utilizada para caracterização reológica de:

- Alimentos (queijos, manteiga, iogurte, maionese, catchup, etc)
- Cosméticos (espuma de barbear, cremes, gels)
- Polímeros
- Compósitos (polímeros reforçados com fibras e ou cargas minerais)
- Pastas Cerâmicas
- Materiais de construção (pastas cimento, cal ou gesso e argamassas)



## Equipamentos e acessórios



- Máquina universal de ensaios

- Punção e pratos metálicos
- Gabarito centralizador
- Anéis de moldagem

Ensaio normalizado

**NORMA  
BRASILEIRA**

**ABNT NBR  
15839**

Primeira edição  
07.06.2010

Válida a partir de  
07.07.2010

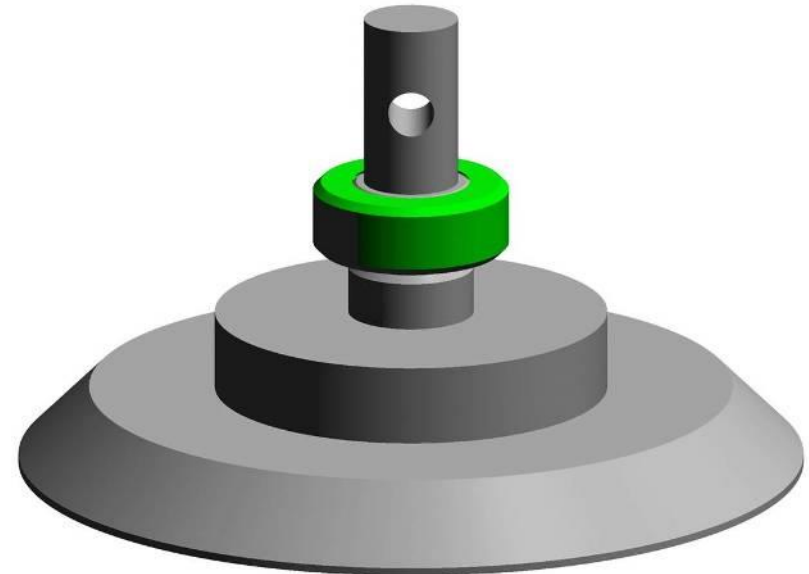
---

**Argamassa de assentamento e revestimento de  
paredes e tetos – Caracterização reológica pelo  
método *squeeze-flow***

## Máquina universal de ensaios

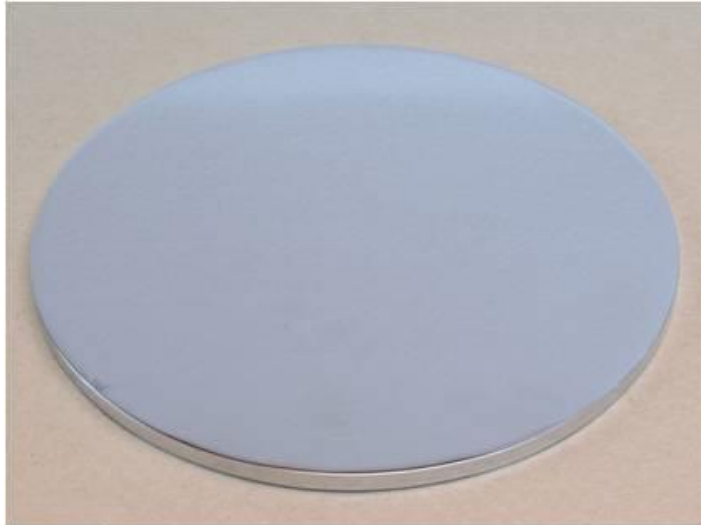
- Máquina universal de ensaios Classe 1 (NBR NM ISO 7500-1)
- Controle de deslocamento
- Capacidade de pelo menos 1kN de carga compressiva
- Resolução mínima de 10N
- A máquina deve estar nivelada
- Garantir o paralelismo entre a travessa móvel e a base do equipamento
- Aplicação do deslocamento centrado e ortogonal ao plano em que se encontra o corpo-de-prova de argamassa fresca

## Placa superior ou punção



- Diâmetro = 101mm ou 4polegadas
- Encaixe de acordo com a célula de carga
- Garantir paralelismo com a travessa móvel
- Aço ferramenta
- Rugosidade,  $R_a < 0,2$

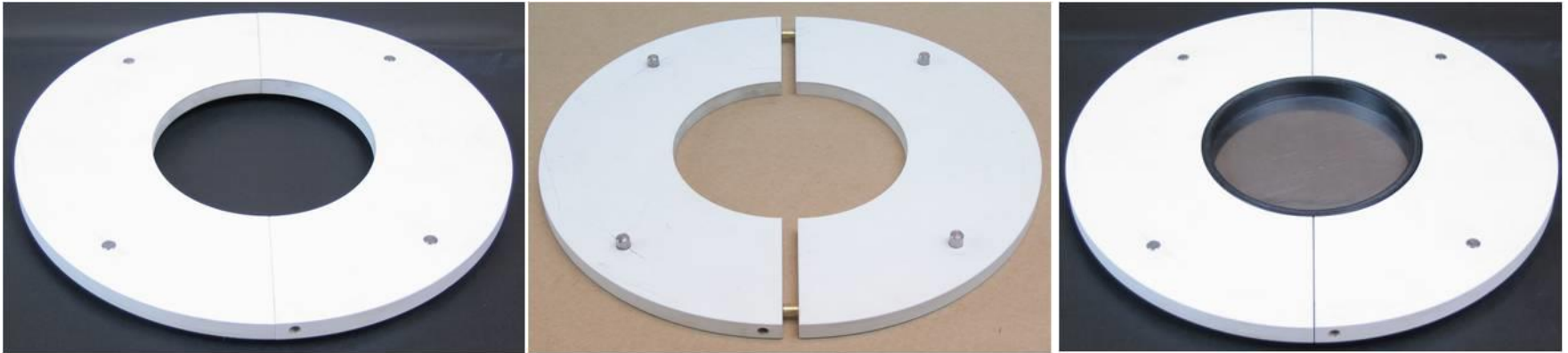
## Placa inferior



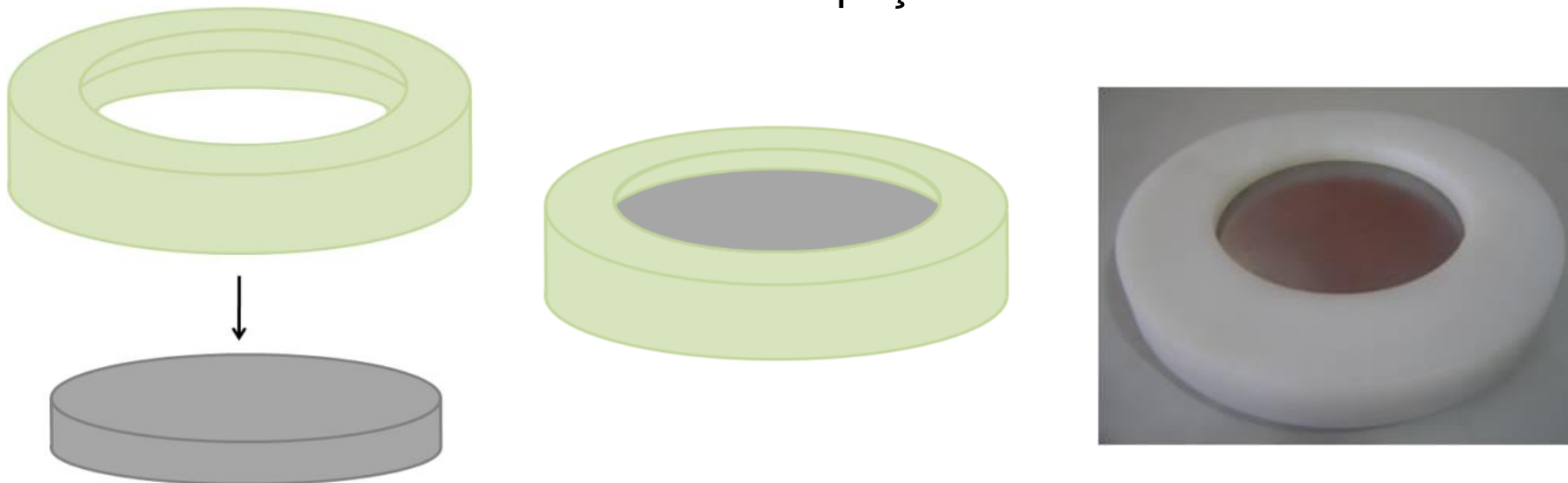
- Prato metálico rígido com superfície não corrosível
- Diâmetro mínimo = 160mm
- Espessura mínima = 10mm
- Encaixe de acordo com a base do equipamento
- Rugosidade,  $R_a < 0,2$

Acessórios para moldagem

Gabarito e molde – 2 peças



Gabarito e molde – peça única

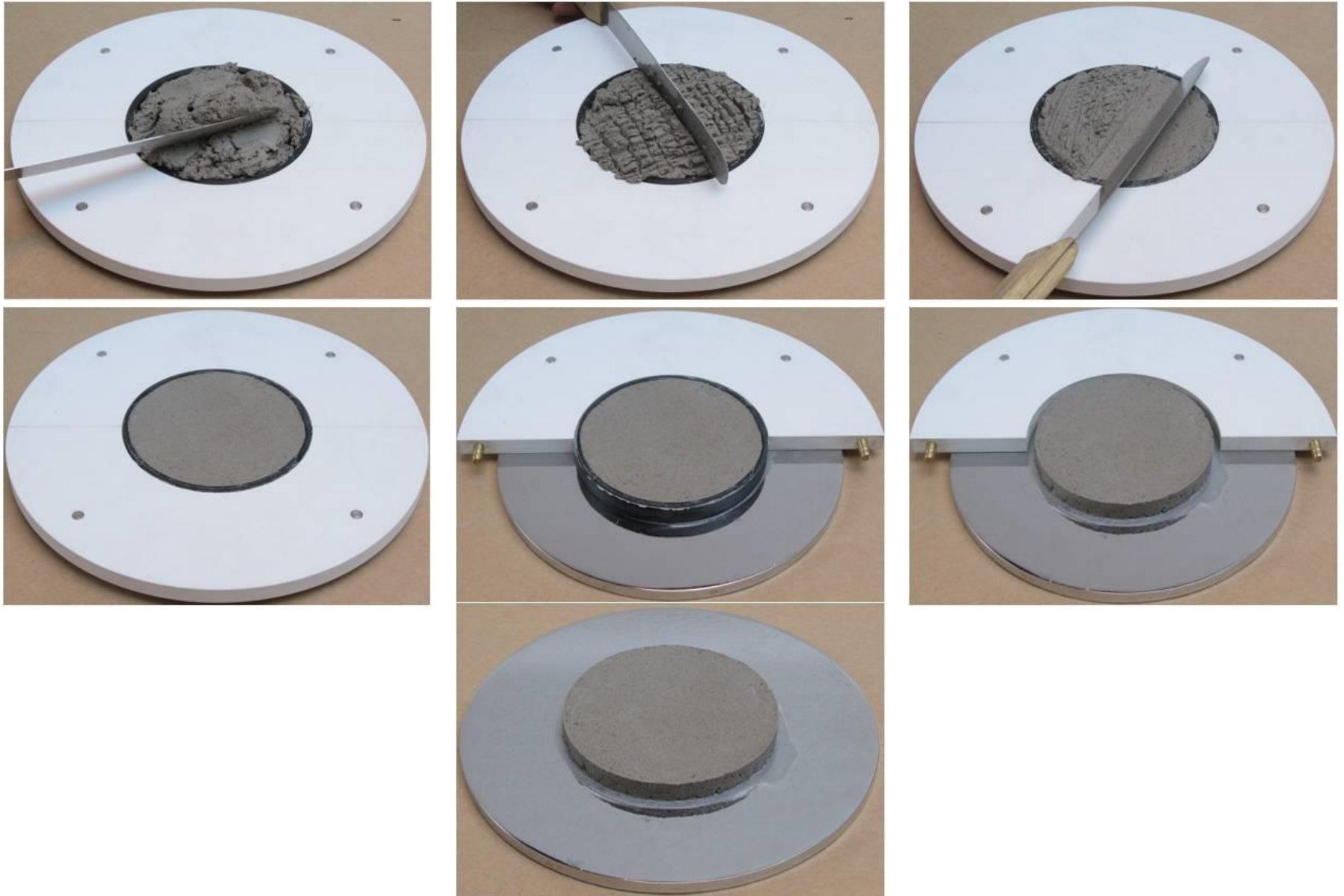


## Procedimento de moldagem

- Previamente à execução do ensaio deve-se montar o molde sobre a placa inferior, ambos devem estar totalmente limpos e secos, isentos de poeira, gordura, etc.
- A moldagem sempre deve ser feita momentos antes de efetuar o ensaio.
- Despejar porções de argamassa visando preencher uniformemente todo o volume do corpo de prova em quantidade suficiente para exceder a altura do molde.
- Efetuar a acomodação da argamassa executando movimentos verticais com a espátula na posição horizontal.
- O golpe não deve ultrapassar a superfície do molde.
- Rasar o molde com a espátula, em duas passadas ortogonais entre si, fazendo movimentos de vai-e-vem, com inclinação de aproximadamente  $45^\circ$  em relação à superfície da argamassa.
- Retirar o molde com muito cuidado para não ocorrer descentralização nem deformação do corpo de prova.

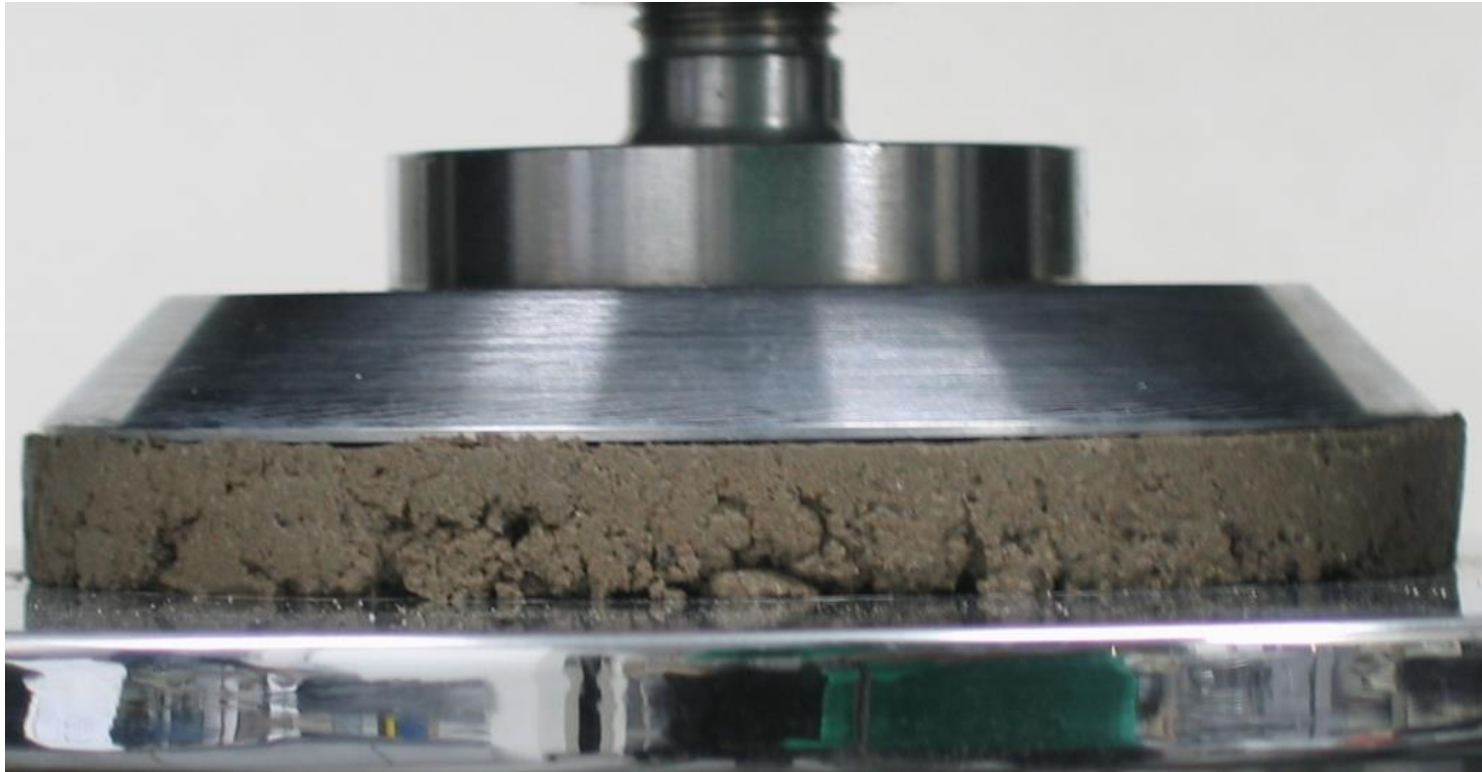


## Procedimento de moldagem





## Procedimento de moldagem

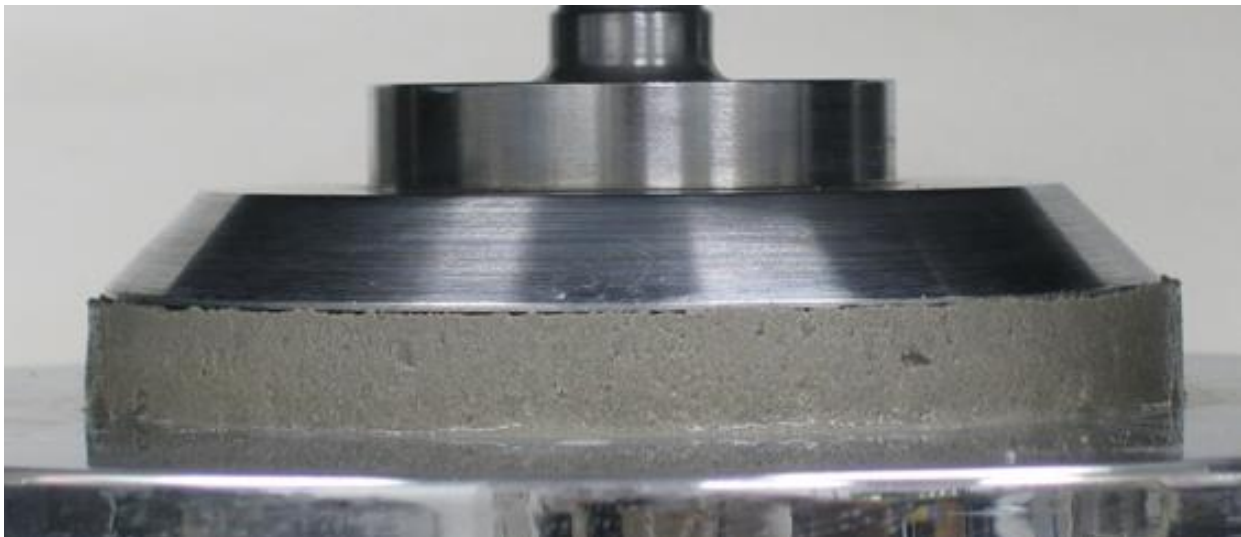


Argamassas muito consistentes ou “secas”

Falhas de moldagem!

## Posicionamento

- Transportar cuidadosamente a placa inferior com a o corpo de prova centralizado para a máquina de ensaio e acoplar a placa sobre a base.
- Descer a placa superior até que esta se aproxime do corpo de prova. Encostar a placa superior (punção) no corpo de prova suavemente, sempre monitorando os valores de carga para evitar compactação do material antes do início efetivo do ensaio.
- Após zerar a carga e o deslocamento o ensaio pode ser iniciado.



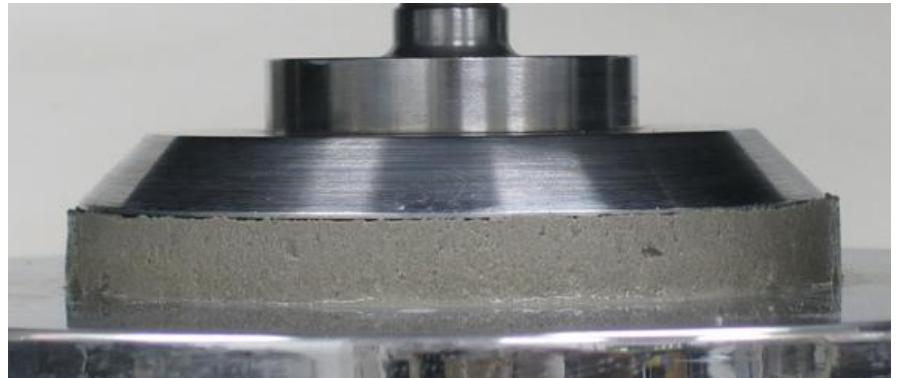
## Parâmetros de ensaio

- Deslocamento do punção - deslocamento máximo deve ser de 9mm.
- Carga máxima = 1kN.
- O ensaio deve ser executado em pelo menos duas velocidades de deslocamento (0,1mm/s e 3mm/s), em corpos de prova diferentes.
- Taxa de aquisição de dados depende da velocidade de deslocamento - pelo menos de um ponto por segundo nos ensaios realizados a 0,1mm/s e de trinta pontos por segundo nos testes a 3mm/s.
- O tempo decorrido desde o término do preparo da argamassa até o início efetivo do ensaio deve ser de 10 minutos para a velocidade de 3mm/s e de 15 minutos para a de 0,1mm/s.
- Para a verificação do comportamento reológico da argamassa ao longo do tempo, executar novos ensaios, nas duas velocidades, decorridos, respectivamente, 60 e 65 minutos do preparo da argamassa. Neste caso deve-se realizar nova determinação de densidade e de teor de ar incorporado.

## Configurações alternativas - Argamassa de revestimento

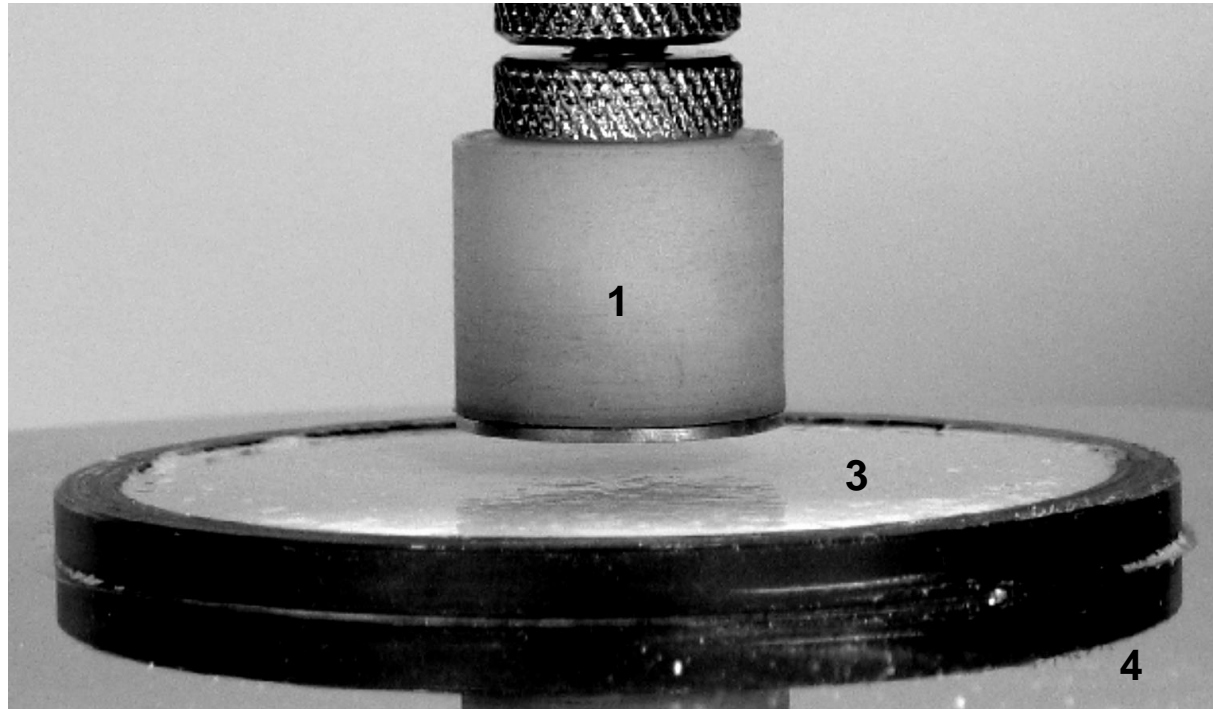


- Diâmetro = 50,8mm
- Altura = 10mm



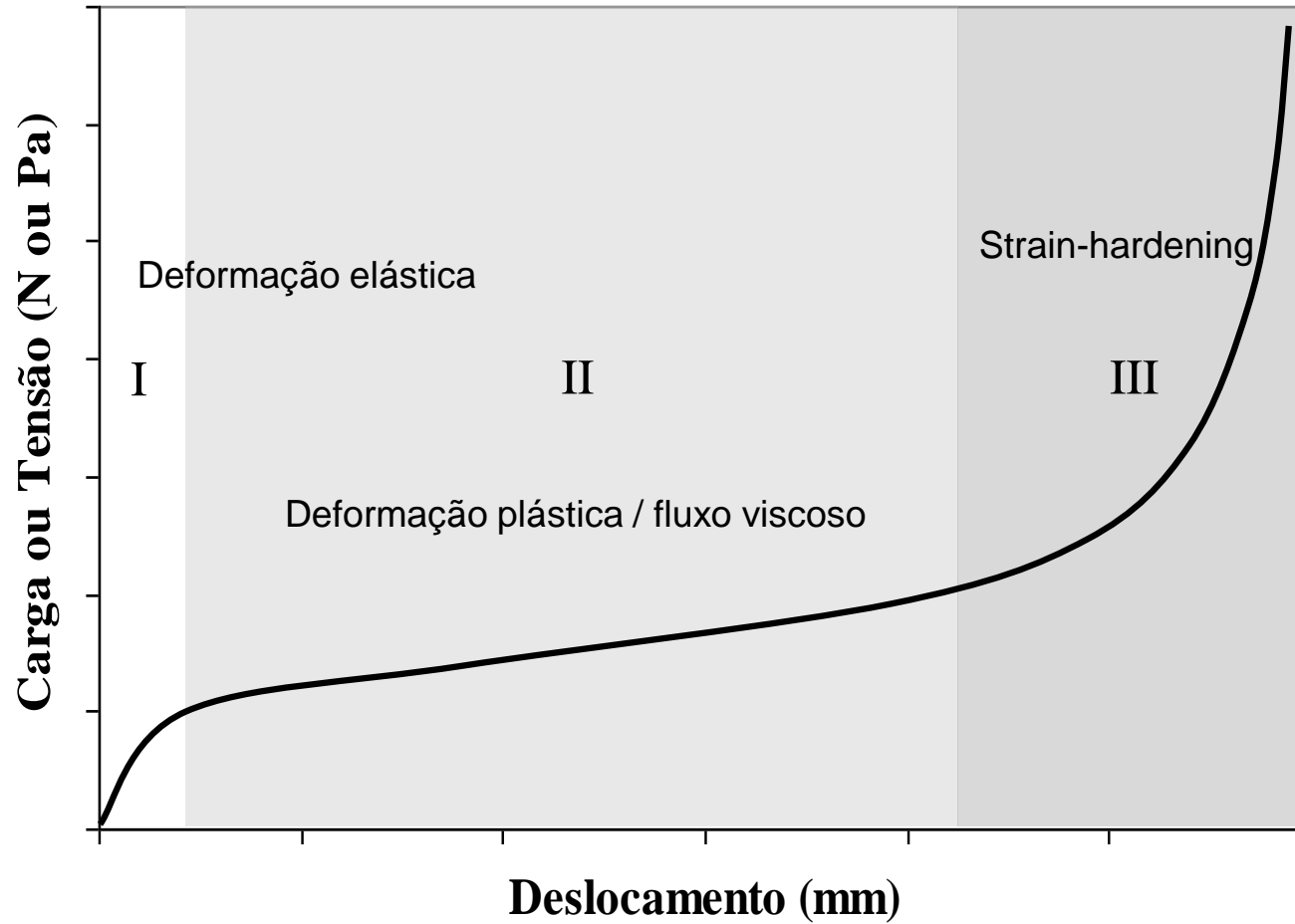
- Diâmetro = 101mm
- Altura = 10mm
- **Configuração normalizada**

## Configurações alternativas - Pastas



- Configuração tipo “piscina”
- Diâmetro punção = 25,4mm
- Diâmetro amostra = 76mm
- Altura = 5mm

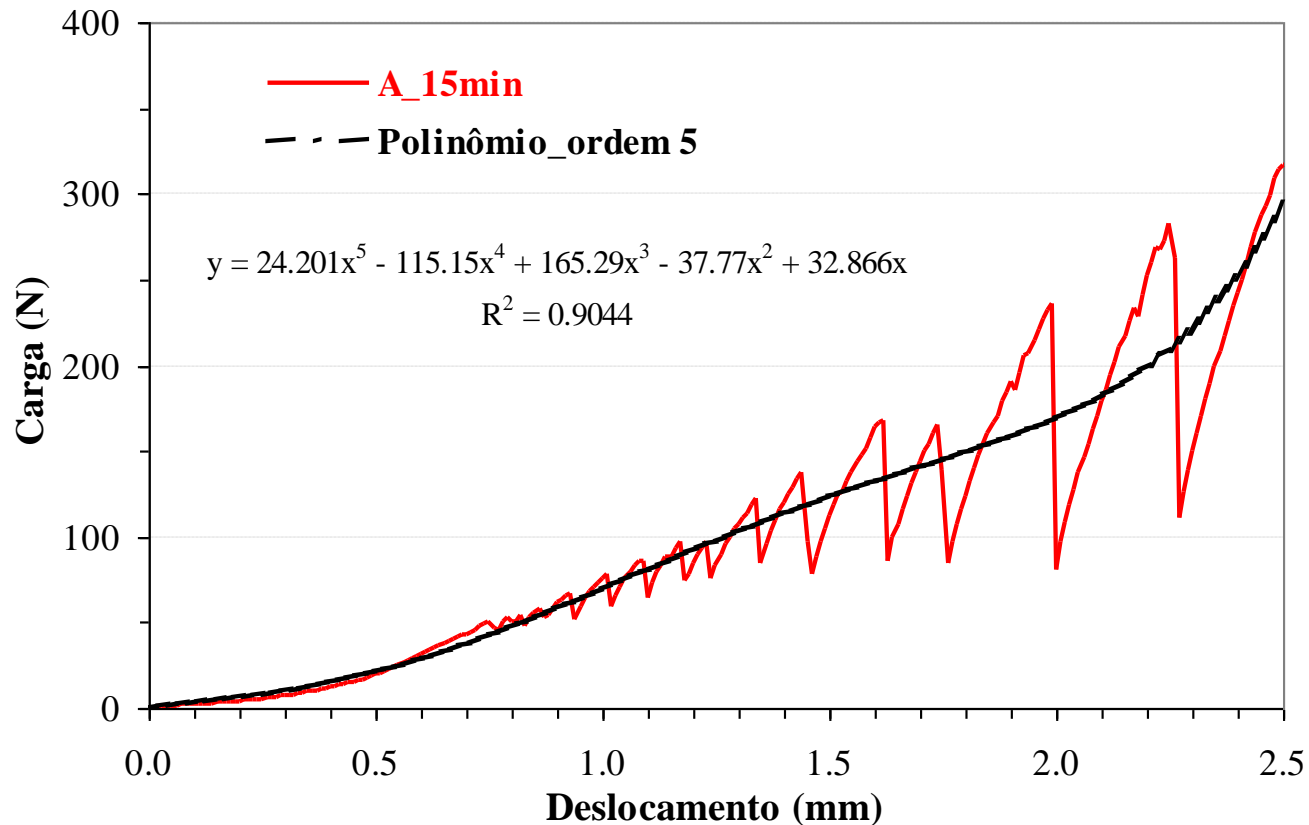
## Interpretação dos resultados



- Curva genérica de squeeze-flow

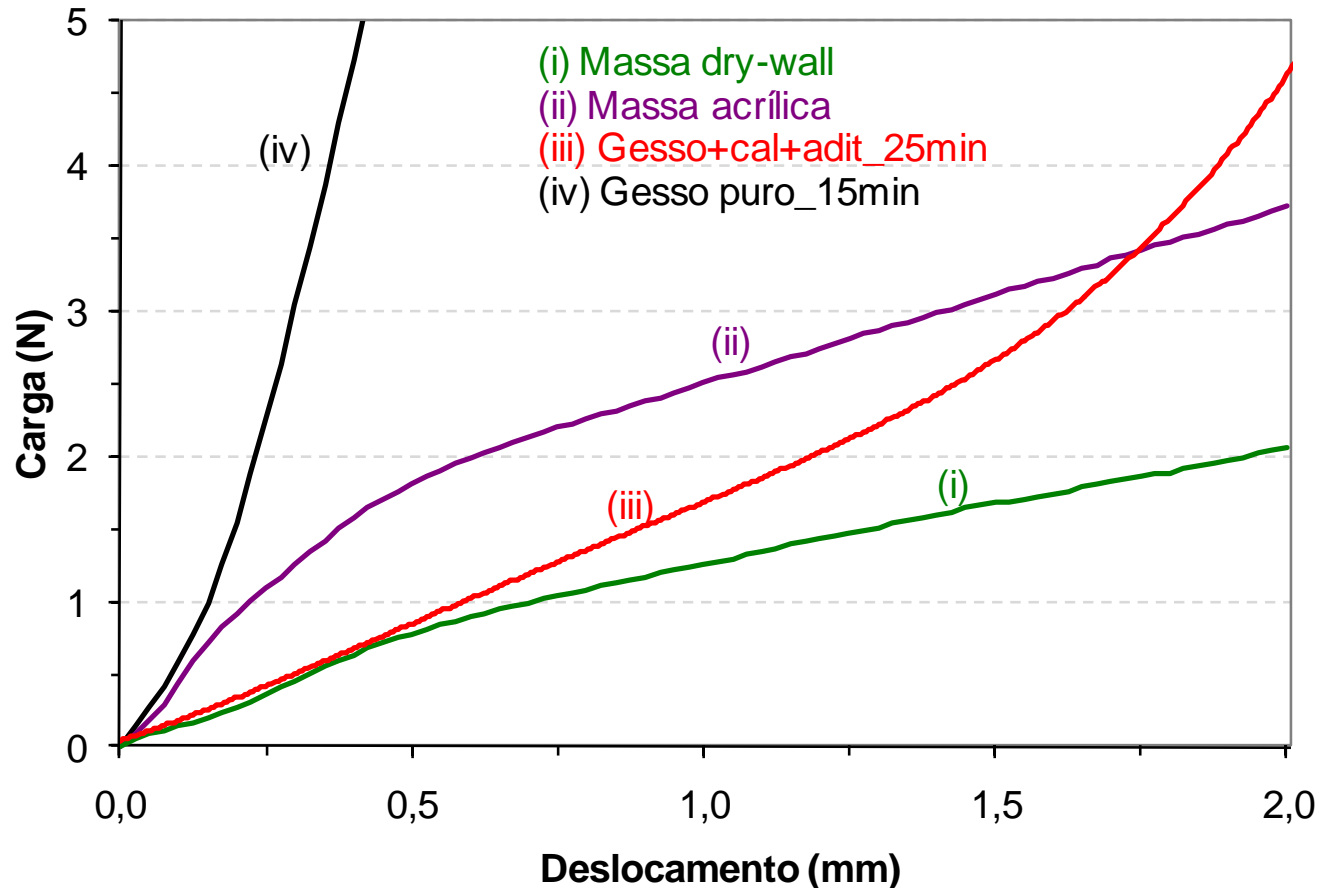


## Tratamento de dados



- Curvas carga ou tensão vs. deslocamento
- Curva com ruído = fluxo descontínuo do material
- **Se necessário: suavizar a curva ou aplicar função que a represente**

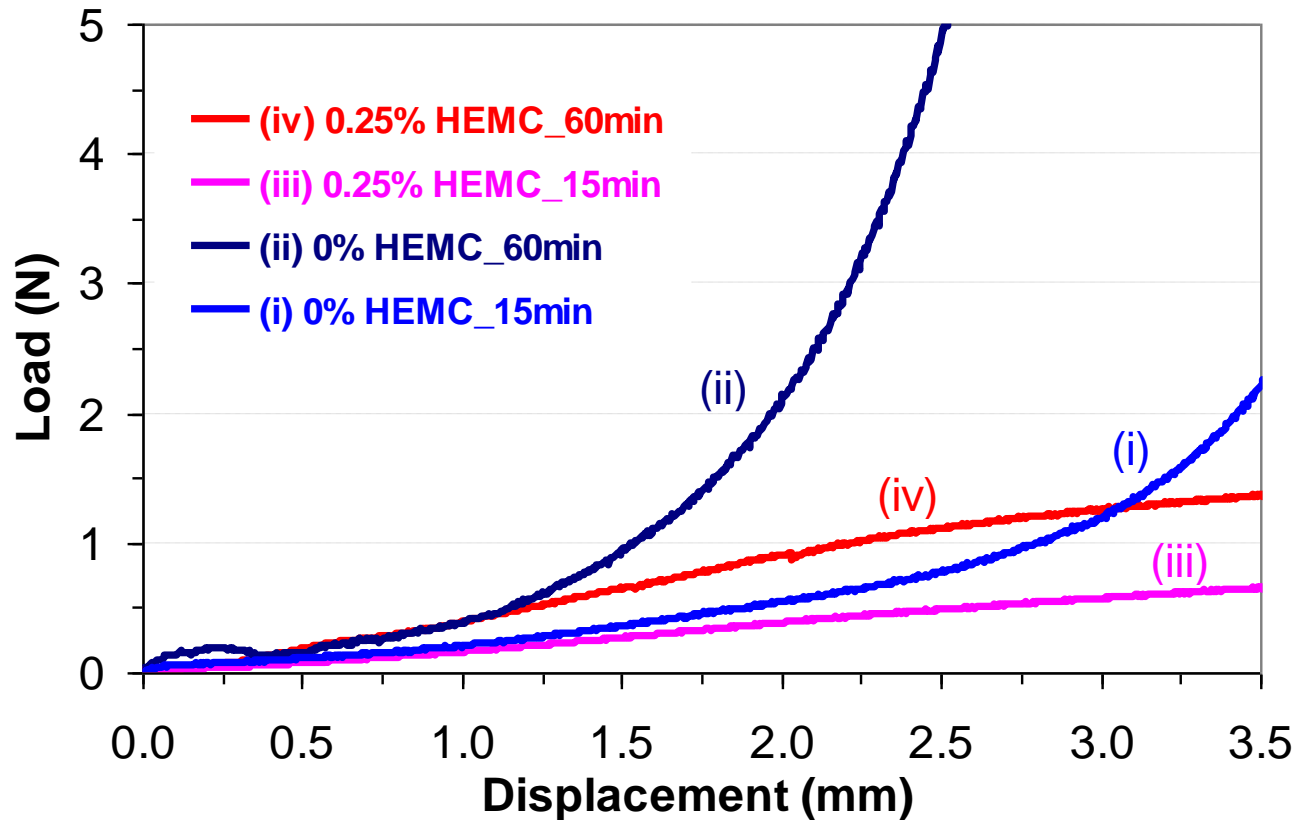
## Pastas de gesso



- ✓ Desenvolvimento de formulações de revestimento interno à base de gesso com comportamento reológico otimizado.

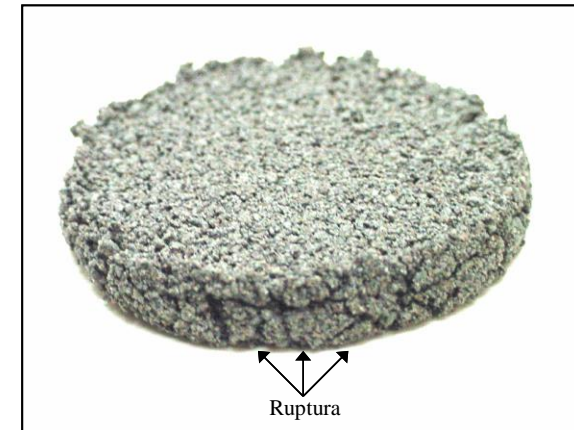
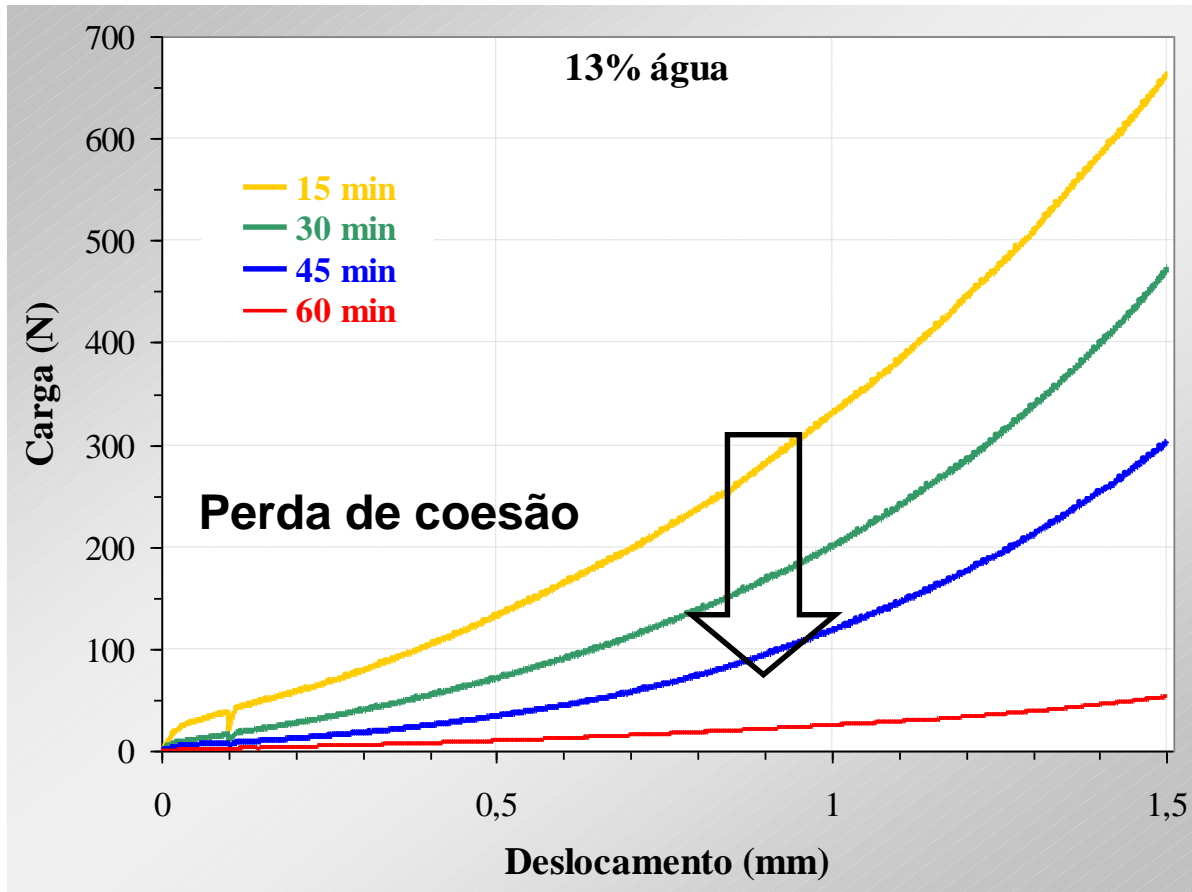


## Pastas de cimento



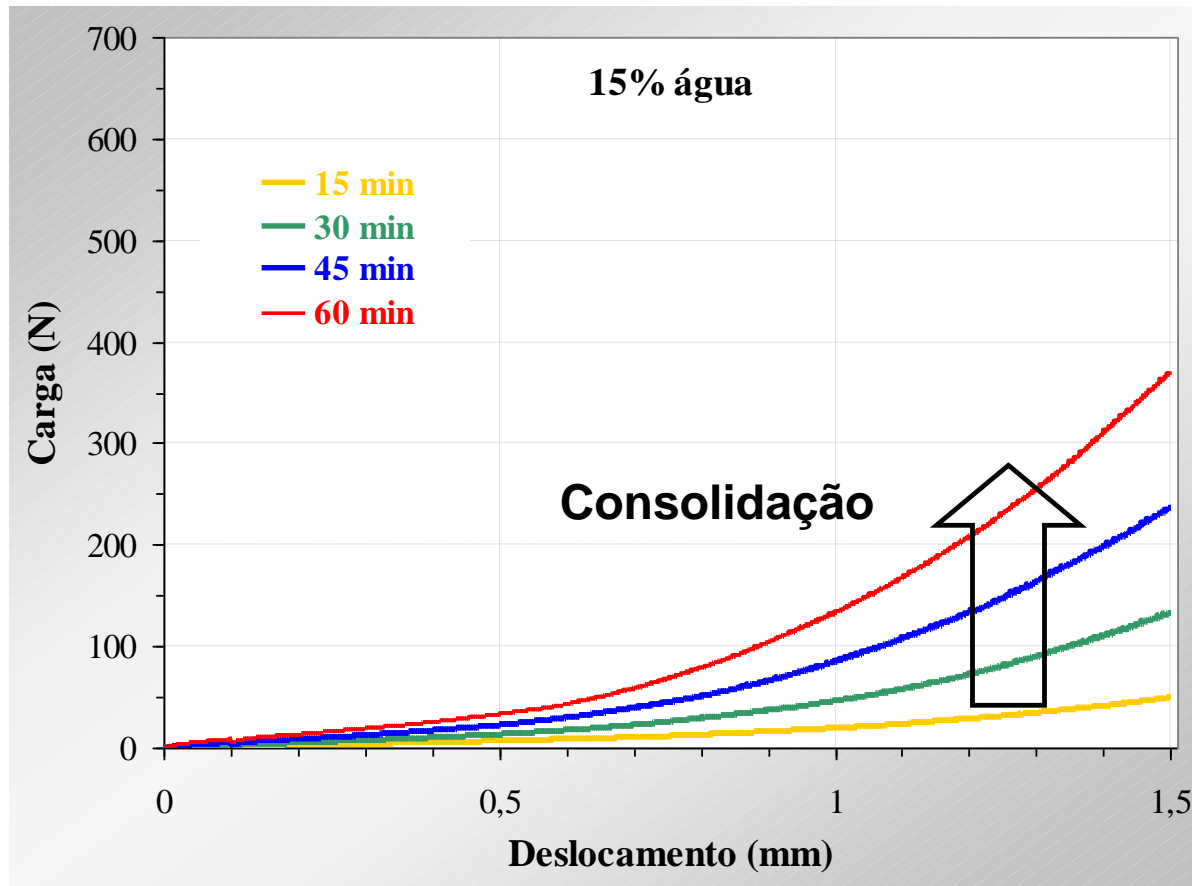
- ✓ Influência do MHEC no comportamento reológico de pastas de cimento
- ✓ MHEC em solicitações de squeeze-flow reduz a viscosidade da suspensão

## Argamassa de revestimento: teor de água e tempo após mistura



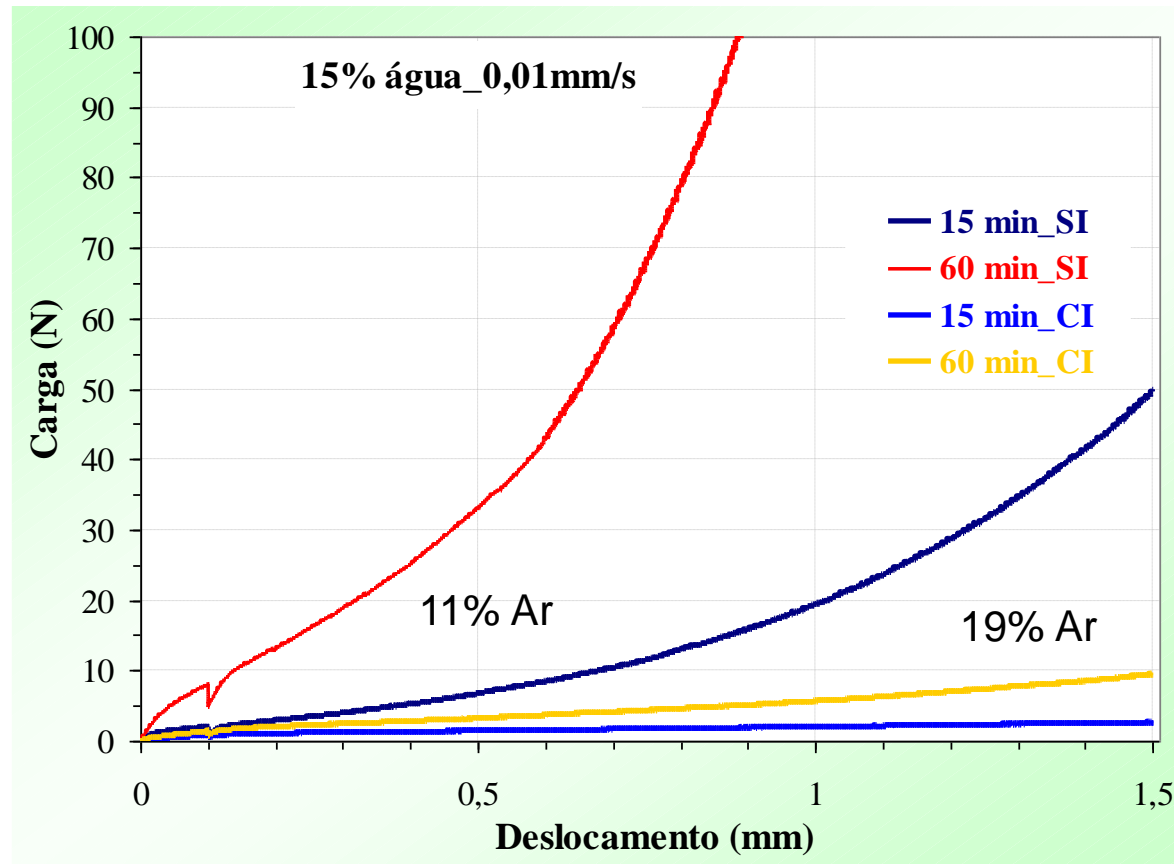
- 13% água (teor insuficiente): enrijecimento por deformação e **perda de coesão**

## Argamassa de revestimento: teor de água e tempo após mistura



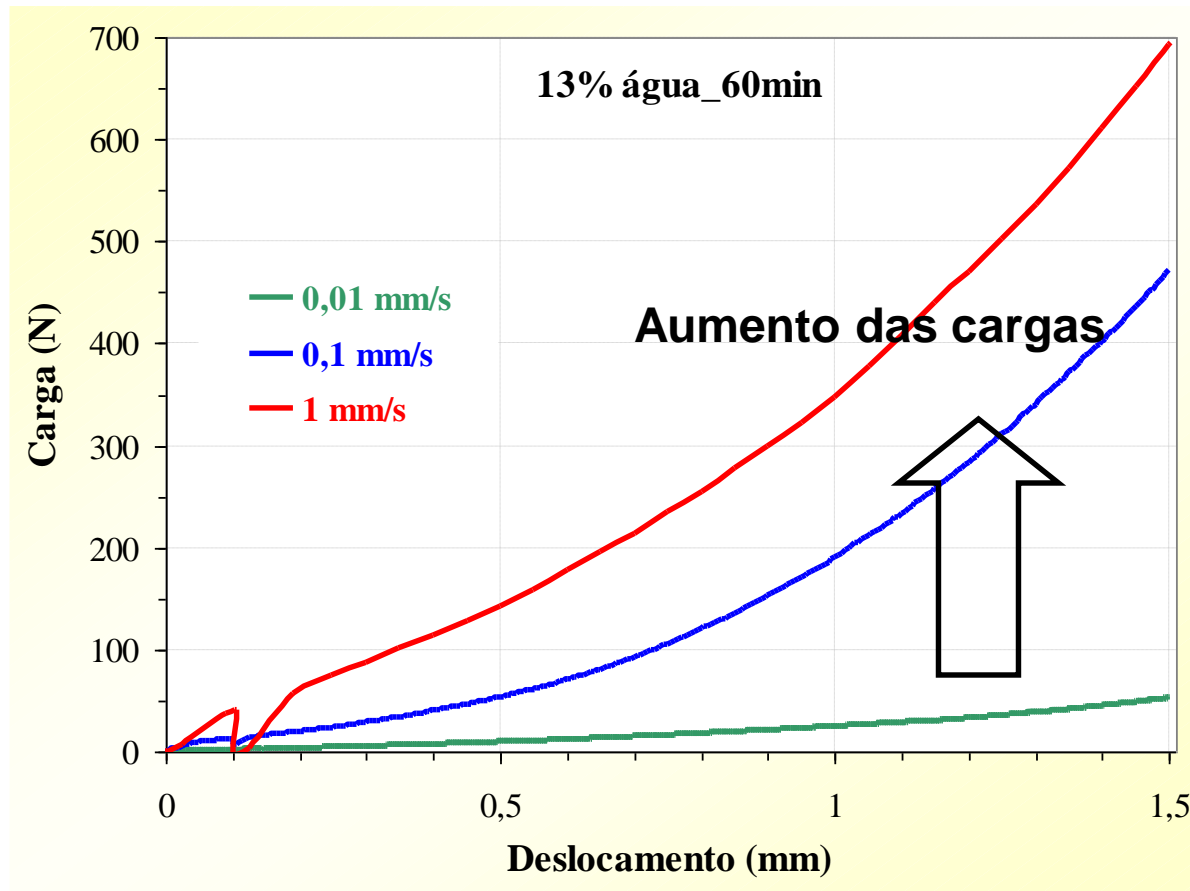
- 15% água (teor usual): deformação plástica / fluxo viscoso e **consolidação**

## Avaliação de argamassas de revestimento: teor de ar



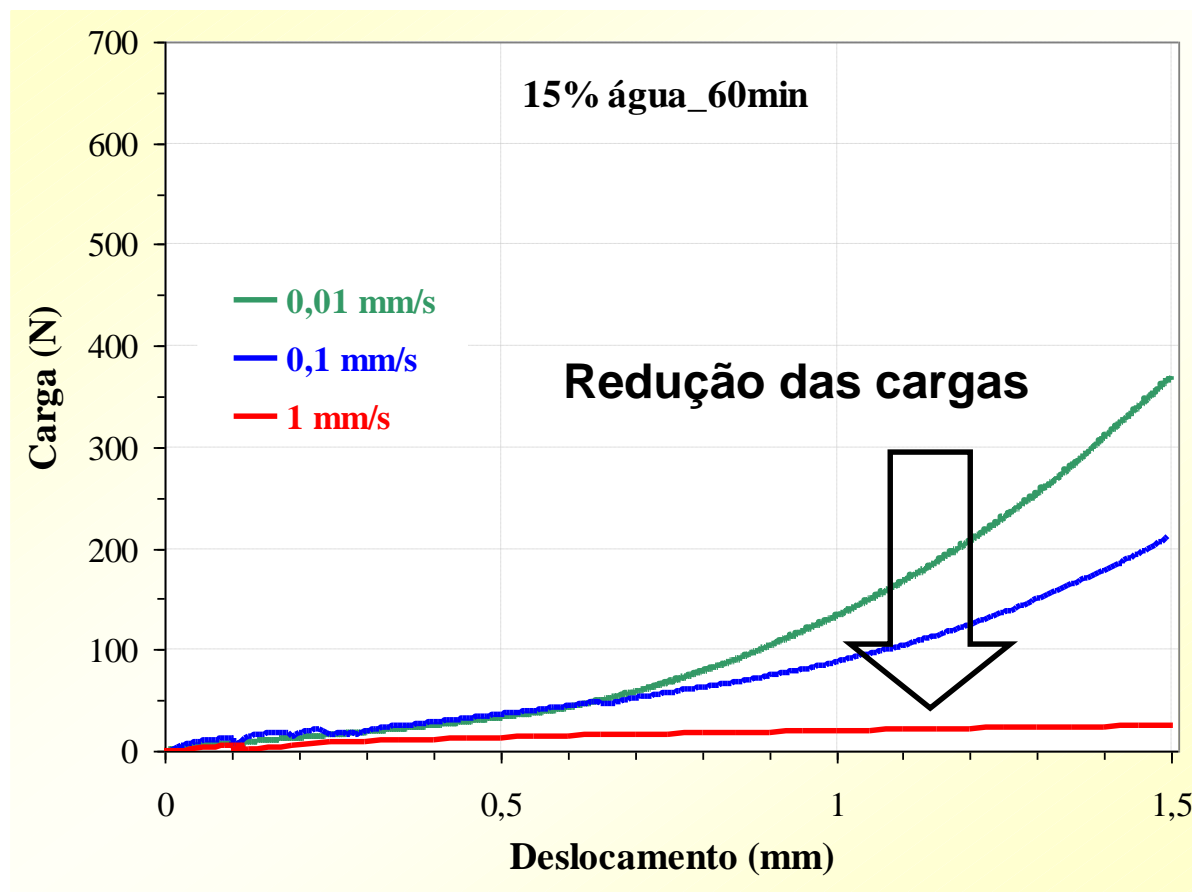
- Ar aumenta o volume de pasta reduzindo a força para deformação
- Diminui a quantidade de material efetivamente sendo testada
- Afasta os agregados reduzindo o atrito

## Argamassa de revestimento: influência da taxa de deformação



- 13% - comportamento tipo dilatante; **elevado atrito devido ao teor de pasta insuficiente**

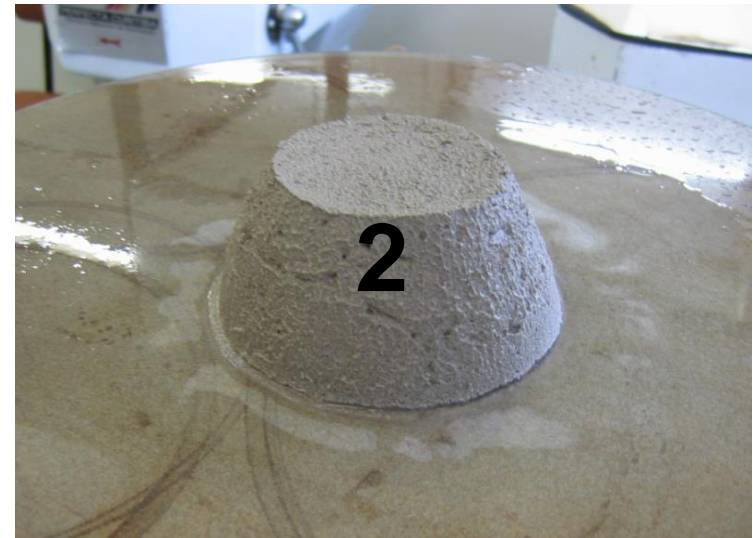
## Argamassa de revestimento: influência da taxa de deformação



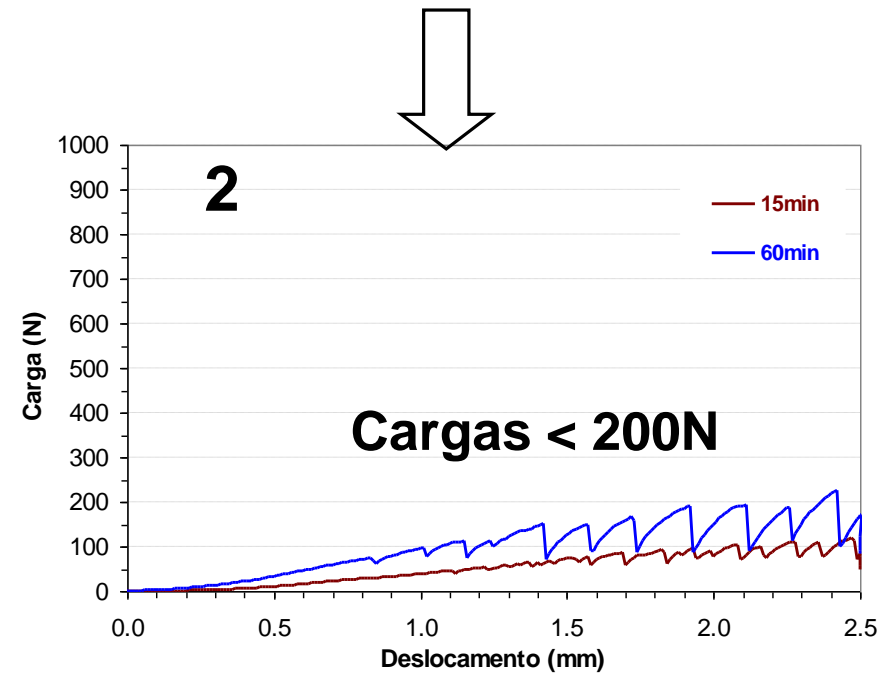
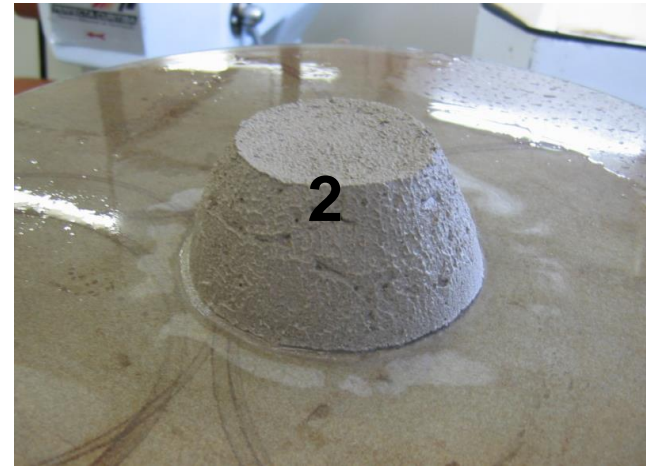
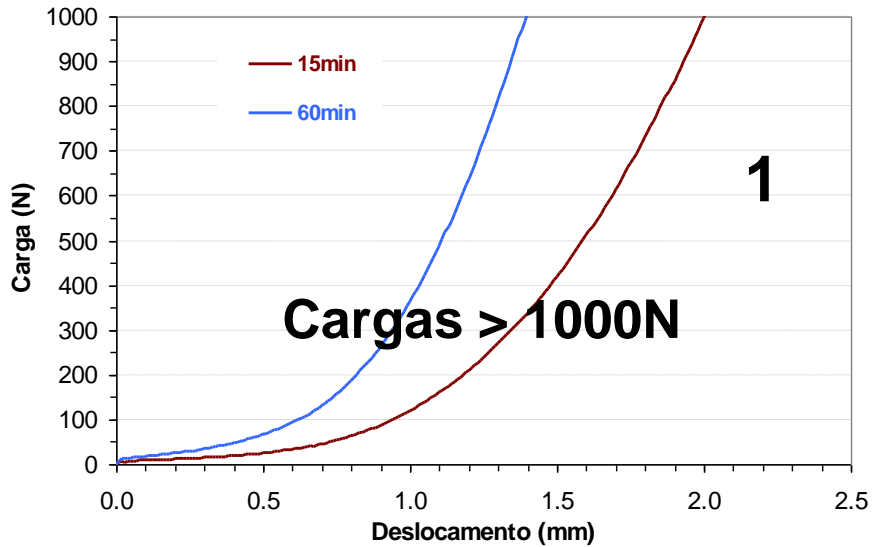
- 15% - efeito da **separação de fases** causa comportamento tipo pseudoplástico
- Baixa velocidade – percolação da pasta através da estrutura de agregados
- Alta velocidade  $\hat{=}$  fluxo homogêneo



## Squeeze-flow vs. Métodos tradicionais

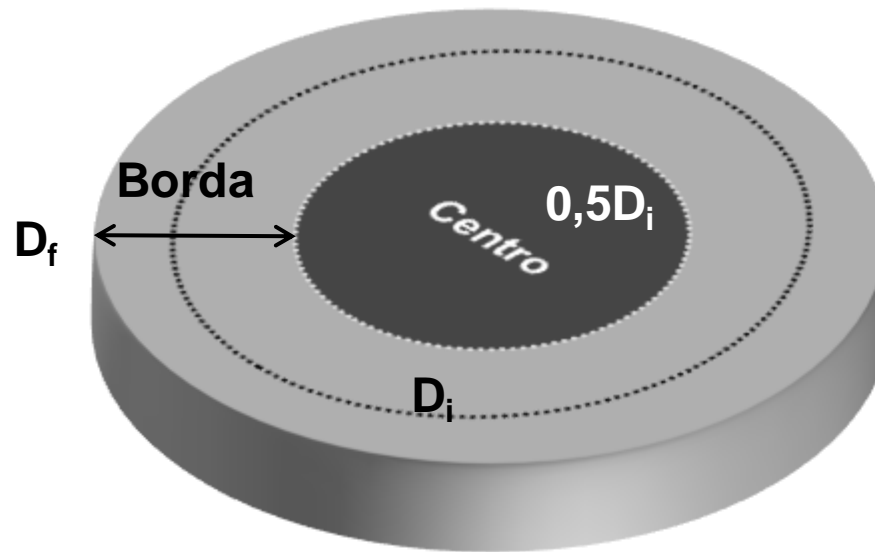


## Squeeze-flow vs. Métodos tradicionais



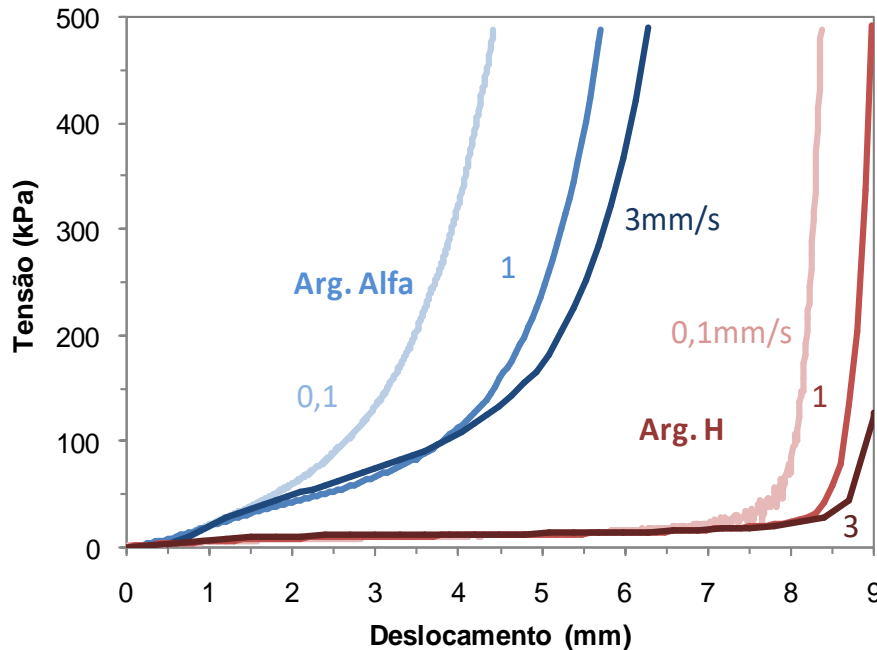


## Quantificação da separação de fases



Método desenvolvido para quantificação da **segregação pasta-agregados**:

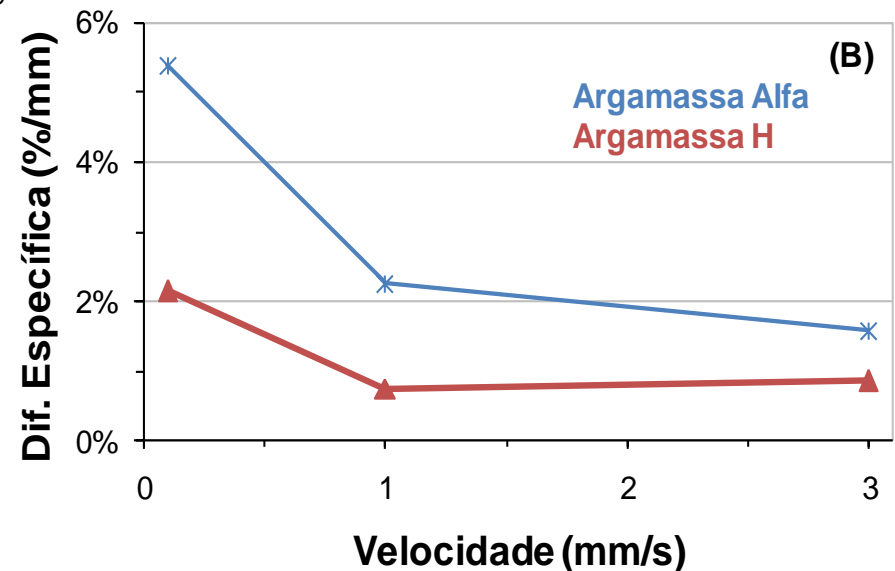
- ❑ Corte da amostra deformada em 2 regiões: **Centro** e **Borda**;
- ❑ Secagem em microondas e determinação dos teores de água;
- ❑ **Parâmetro de segregação** = diferença teor água / deslocamento [%/mm]



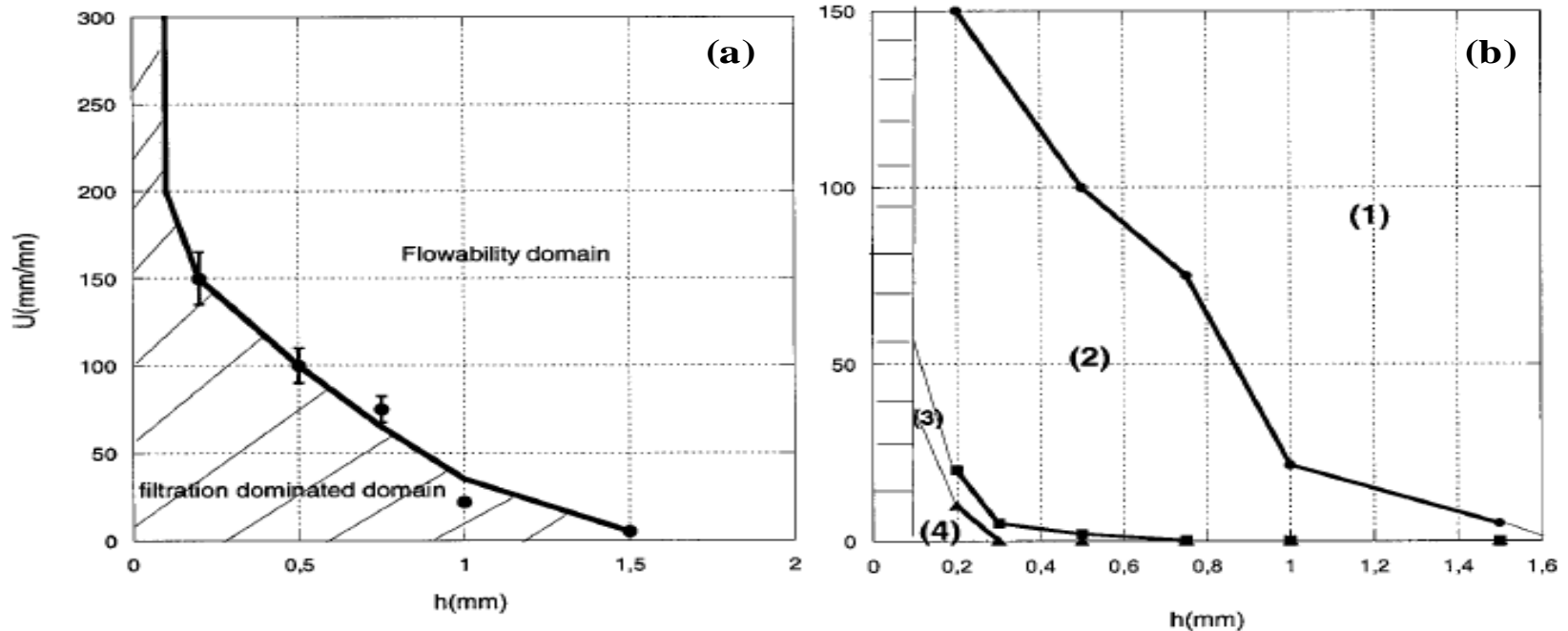
- Comportamentos distintos
- Alfa – enrijecimento por deformação
- H – def. plástica / fluxo viscoso

## Separação de fases

- $\uparrow$  Velocidade =  $\downarrow$  Segregação
- Sensibilidade à segregação de fases
  - Alfa > H



## Influência da separação de fases



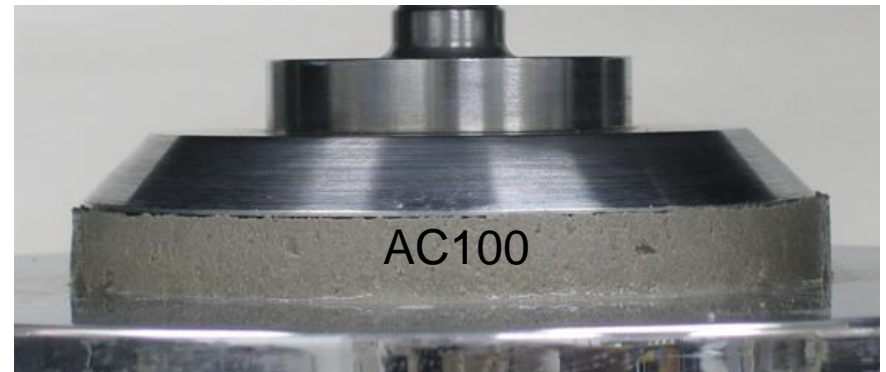
COLLOMB, J.; CHAARI, F.; CHAOUICHE, M. Squeeze flow of concentrated suspensions of spheres in Newtonian and shear-thinning fluids. *Journal of Rheology*, 48, 405-416, 2004.

- “Zonas” de fluxo homogêneo e de filtração
- Combinação velocidade – altura da amostra ou deslocamento
- $\uparrow$  Velocidade =  $\downarrow$  Segregação
- $\downarrow$  Altura =  $\uparrow$  Segregação

## Argamassa de revestimento: influência da relação D/h

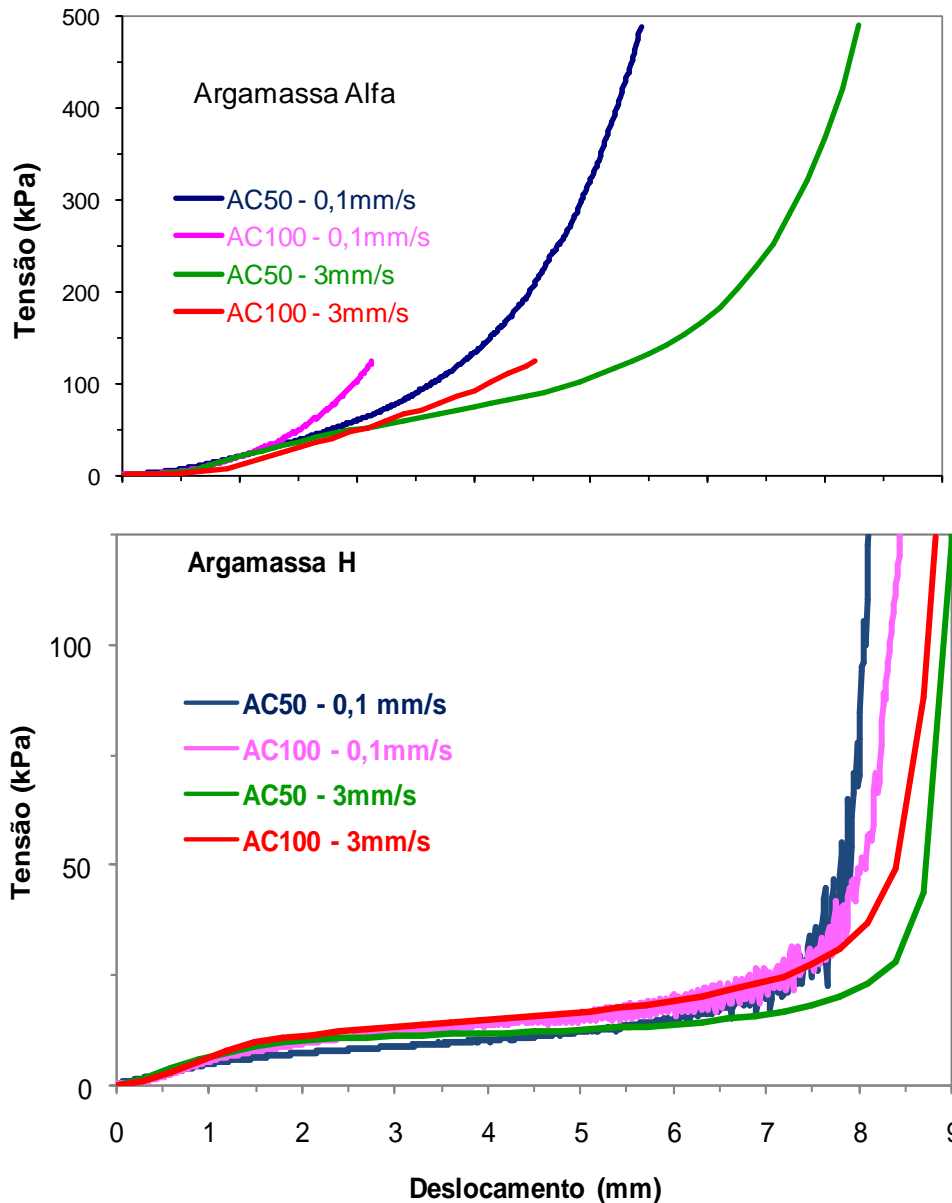


- Diâmetro = 50,8mm
- Altura = 10mm
- $D/h \approx 5$



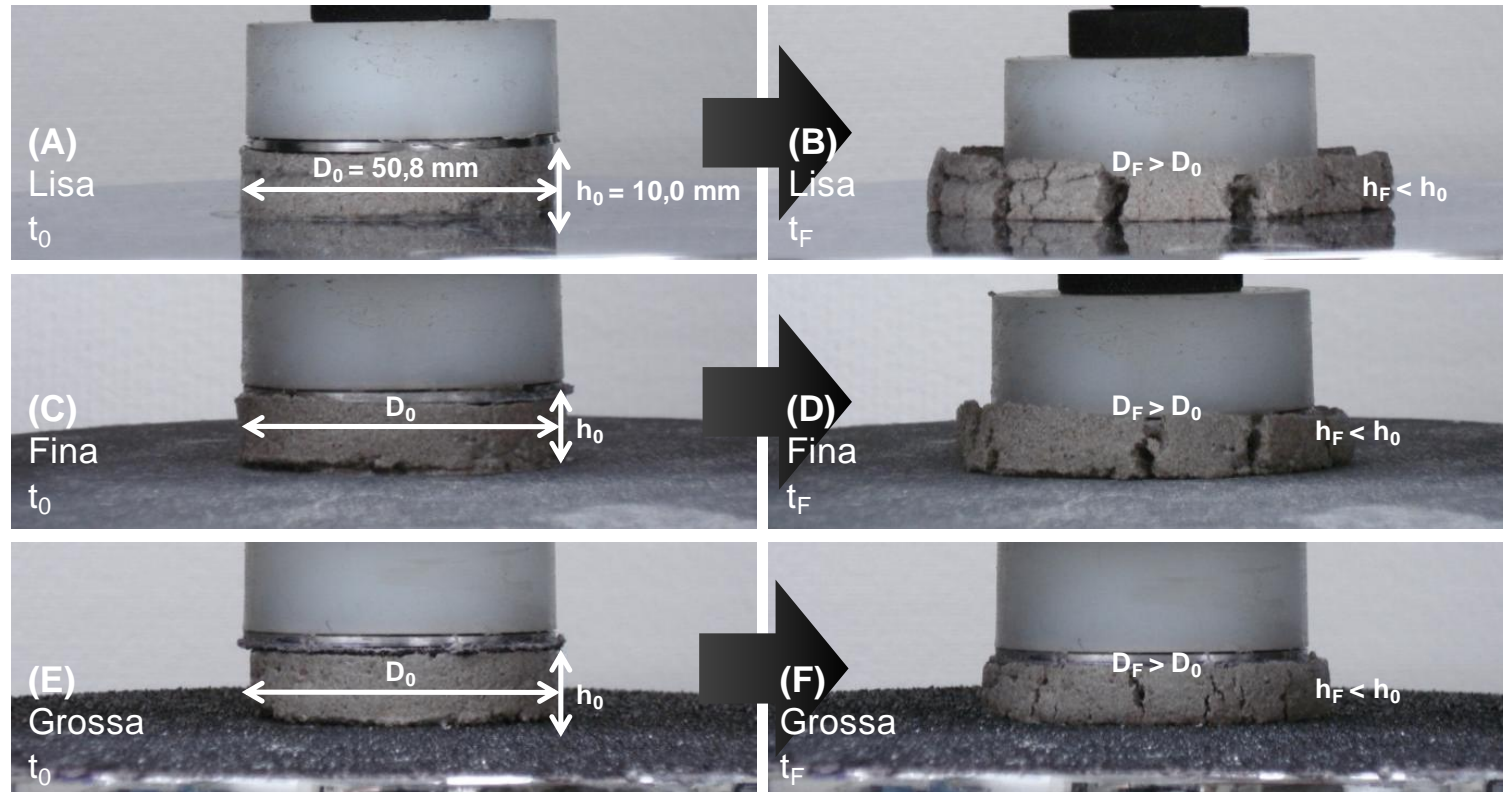
- Diâmetro = 101mm
- Altura = 10mm
- $D/h \approx 10$

Argamassa de revestimento: influência da relação D/h



- Tensões diferentes em função da relação D/h
- $\uparrow D/h \uparrow$  Cisalhamento
- Impossibilita a comparação de ensaios realizados com diferentes geometrias

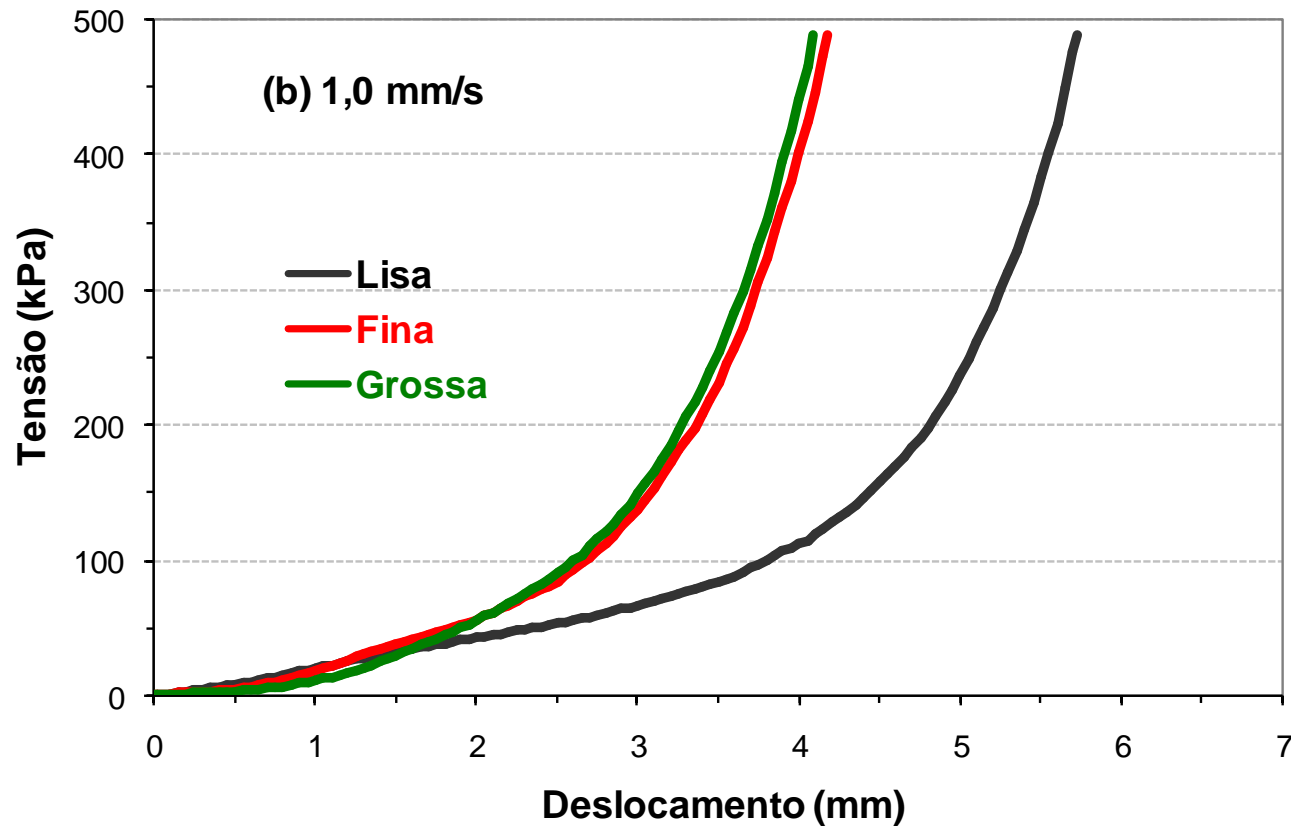
Argamassa de revestimento: influência da rugosidade



Denominação	Rugosidade	
	FEPA*	Altura do Grão ( $\mu\text{m}$ )
Lisa	-	-
Fina	P400	35,0
Grossa	P36	524,0

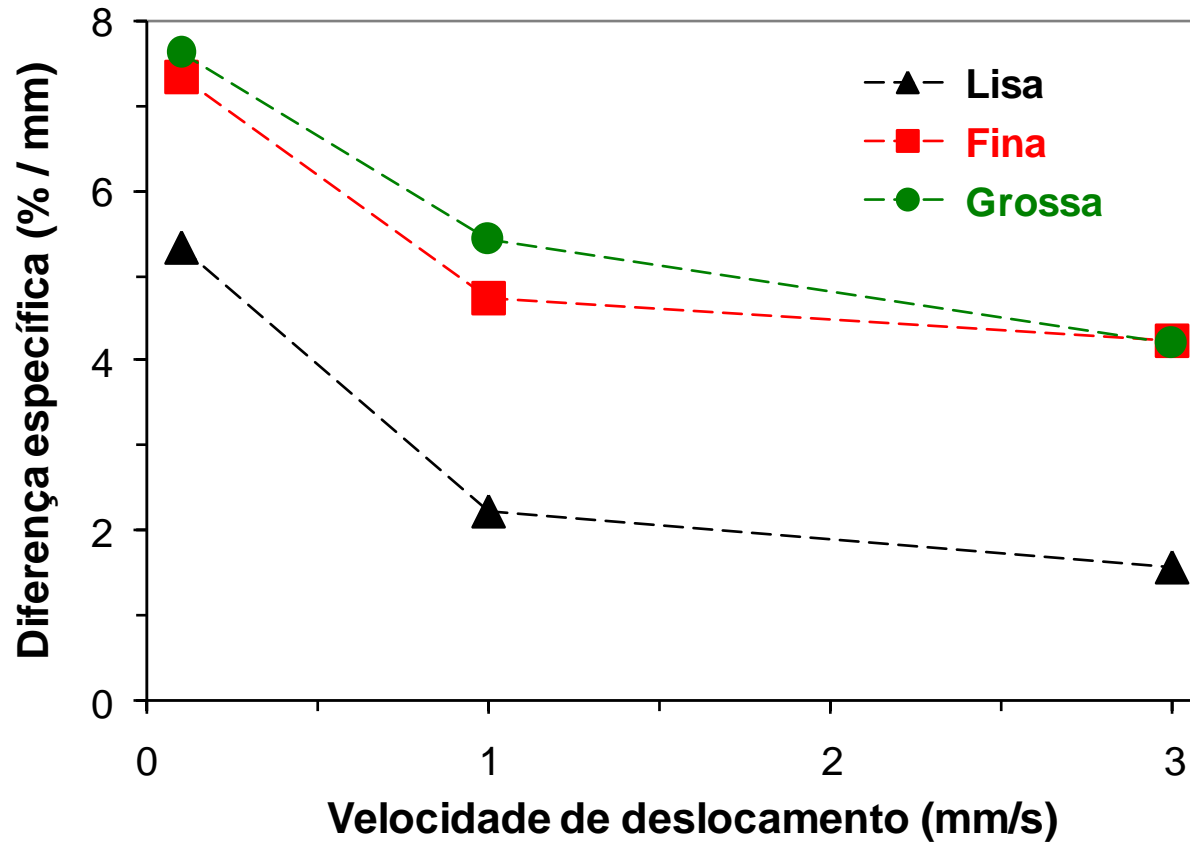
\*Federation of European Producers of Abrasives

## Argamassa de revestimento: influência da rugosidade



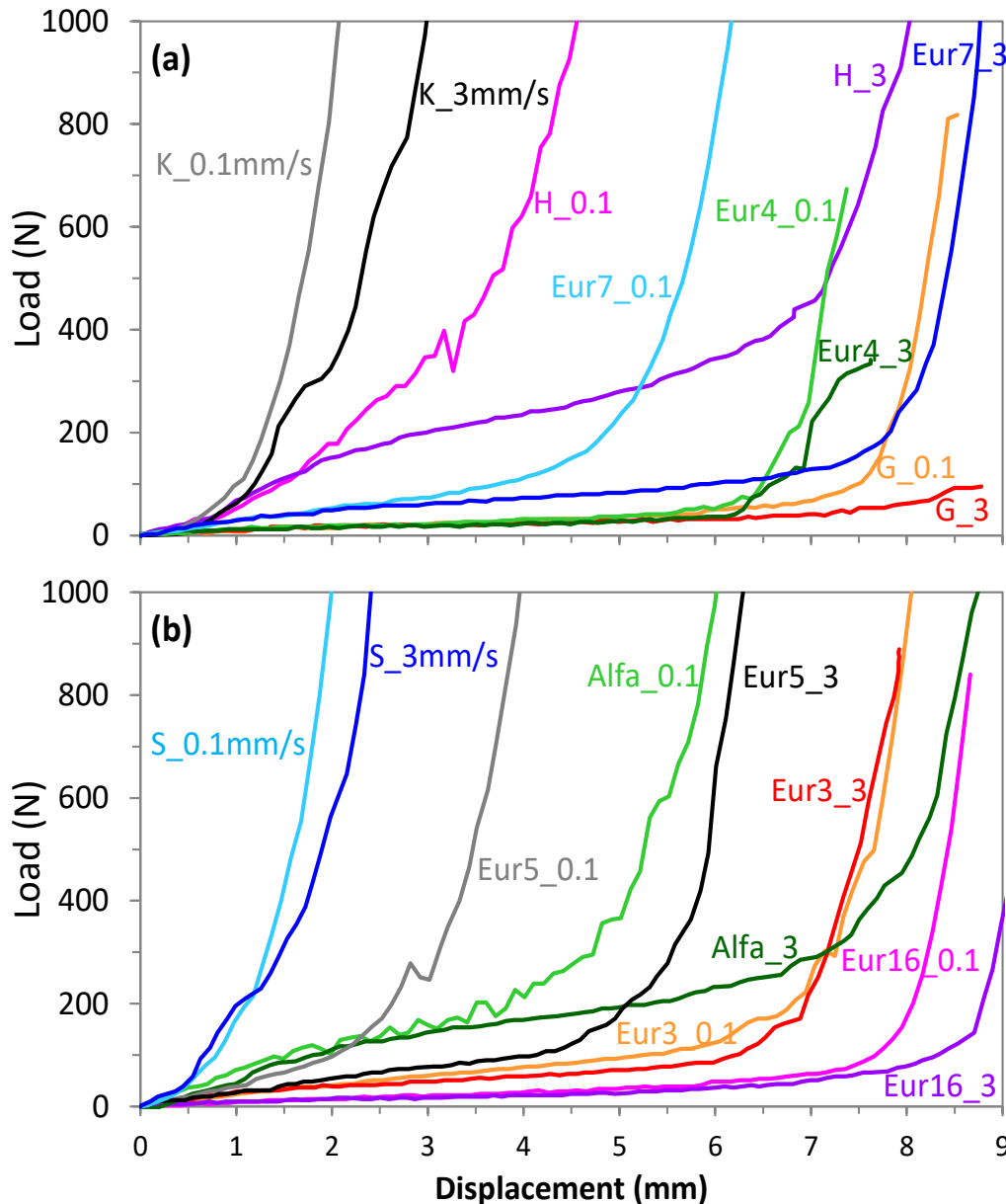
- Aumento de rugosidade torna a deformação do material mais difícil
- Induz cisalhamento

## Argamassa de revestimento: influência da rugosidade



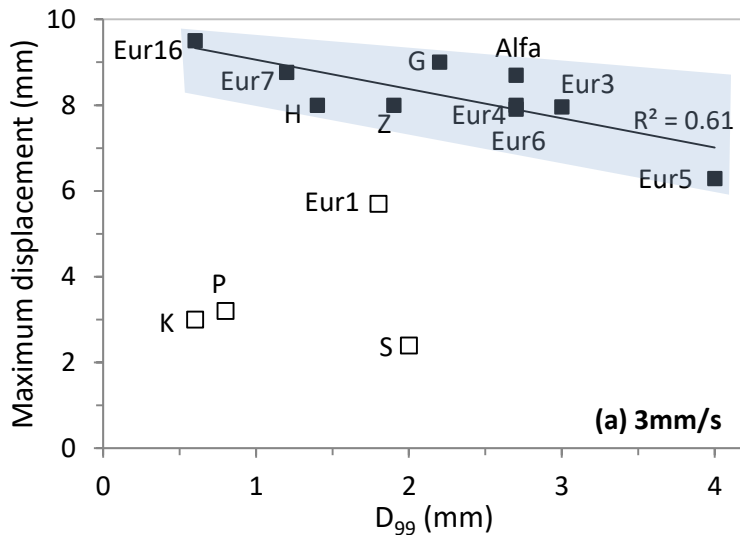
- Cisalhamento é acompanhado pela ocorrência de segregação



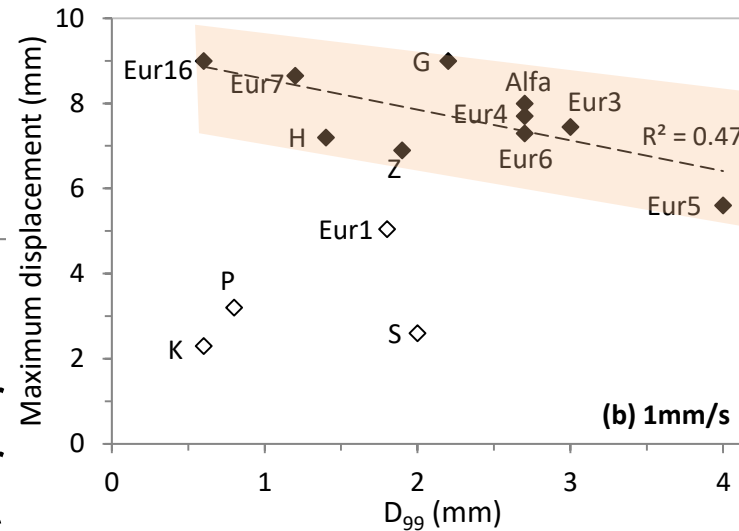


3 groups of behavior:

- G, Eur3, Eur4, Eur16 = plastic deformation or viscous flow
- Alfa, H, Eur5, Eur6, Eur7 = high influence of velocity and plateau occurs at higher loads
- K, S, P = Strain-hardening = intense phase separation

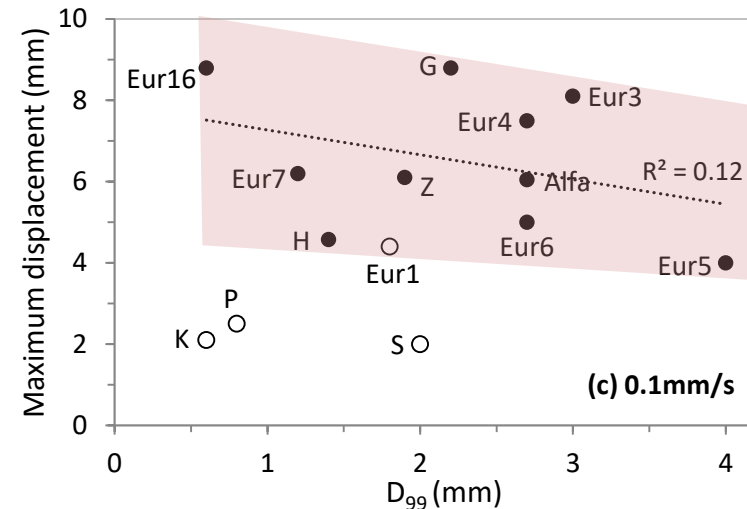


Maximum displacement vs.  $D_{99}$



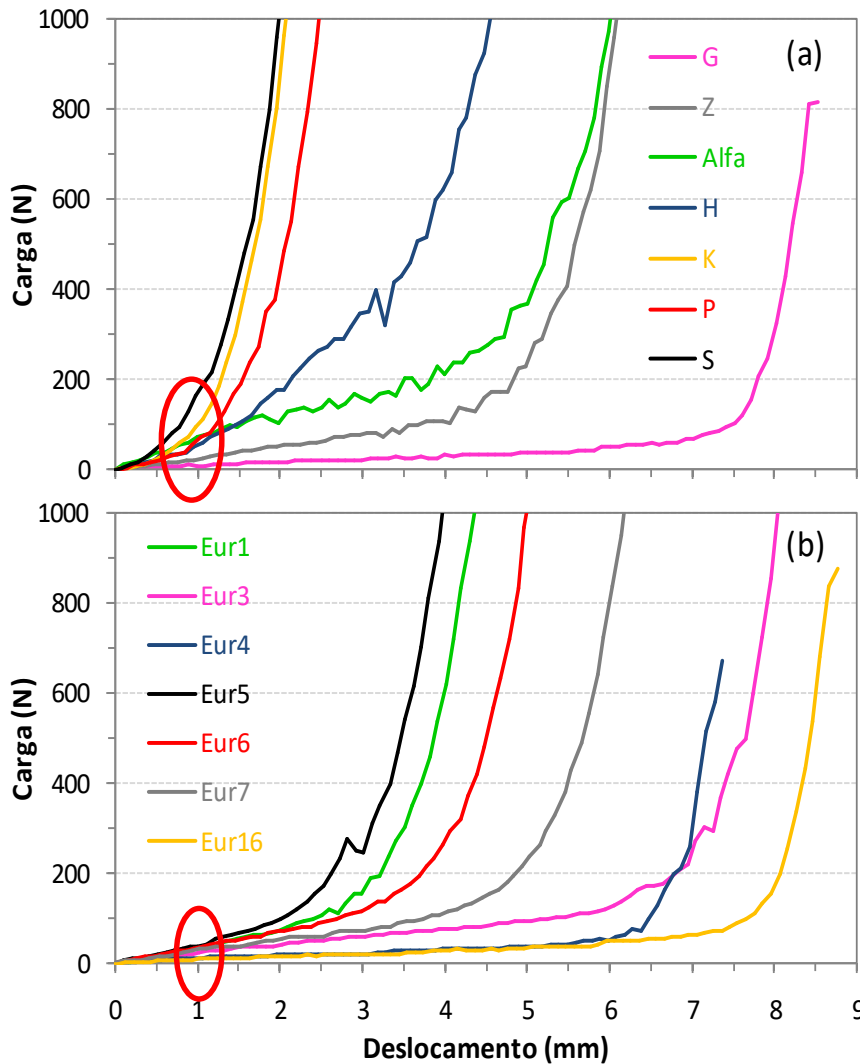
Higher speed caused lower segregation and hence a higher maximum displacement was achieved for most of the mortars

At lower speed segregation is more likely to occur, maximum displacement is reduced and results are scattered

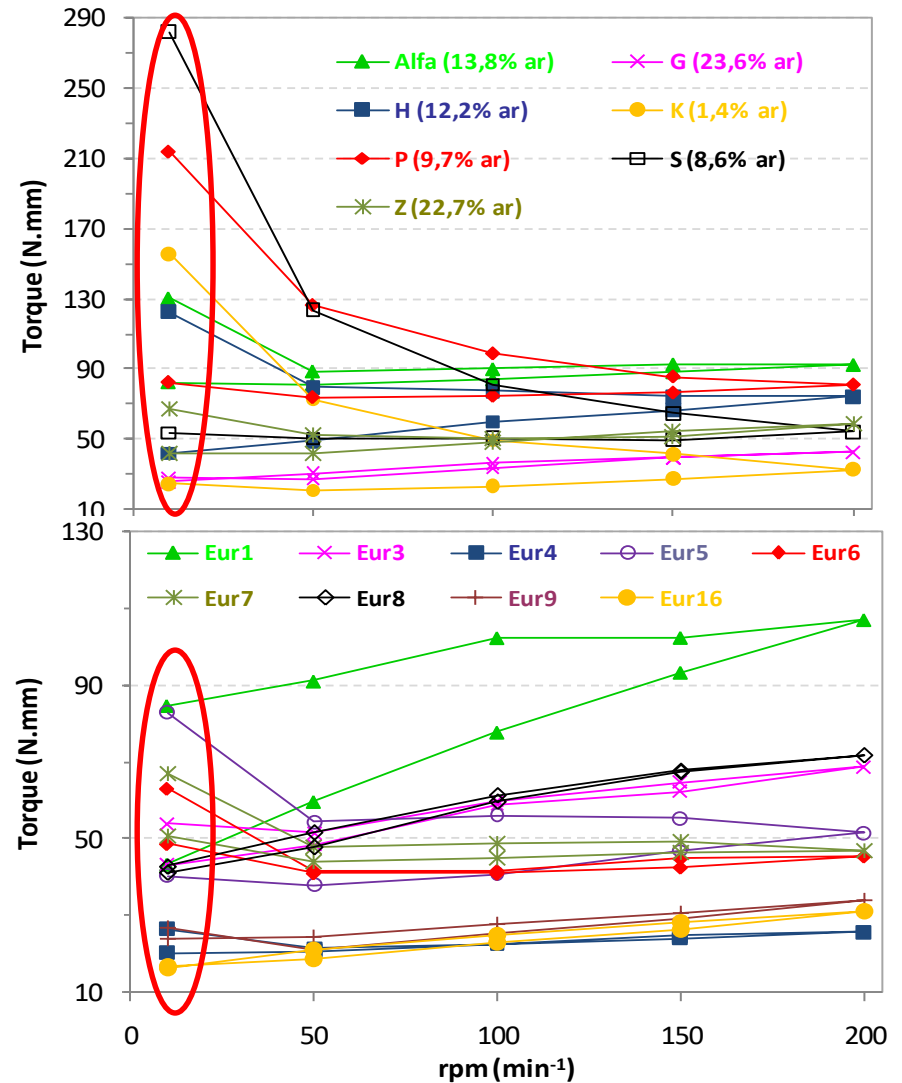


Avaliação de argamassas de revestimento: tensão de escoamento

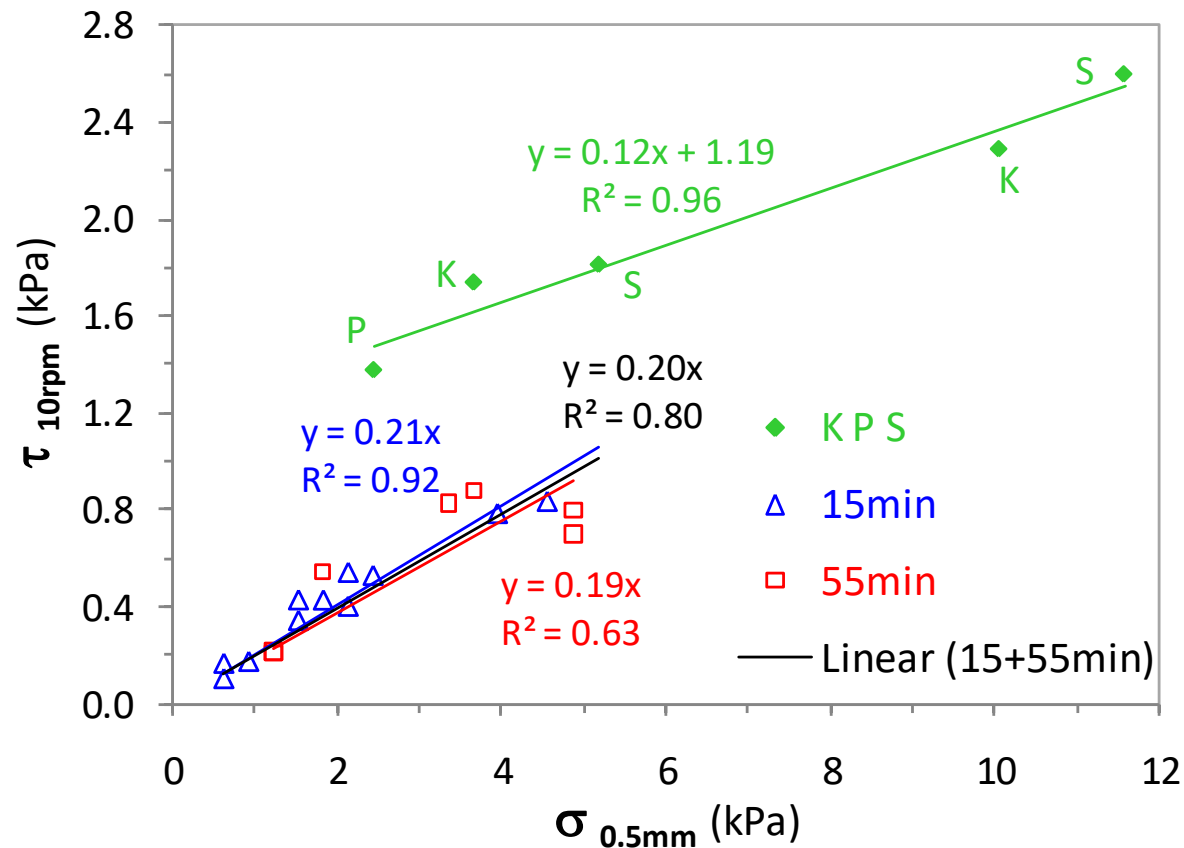
Squeeze-flow



Viskomat



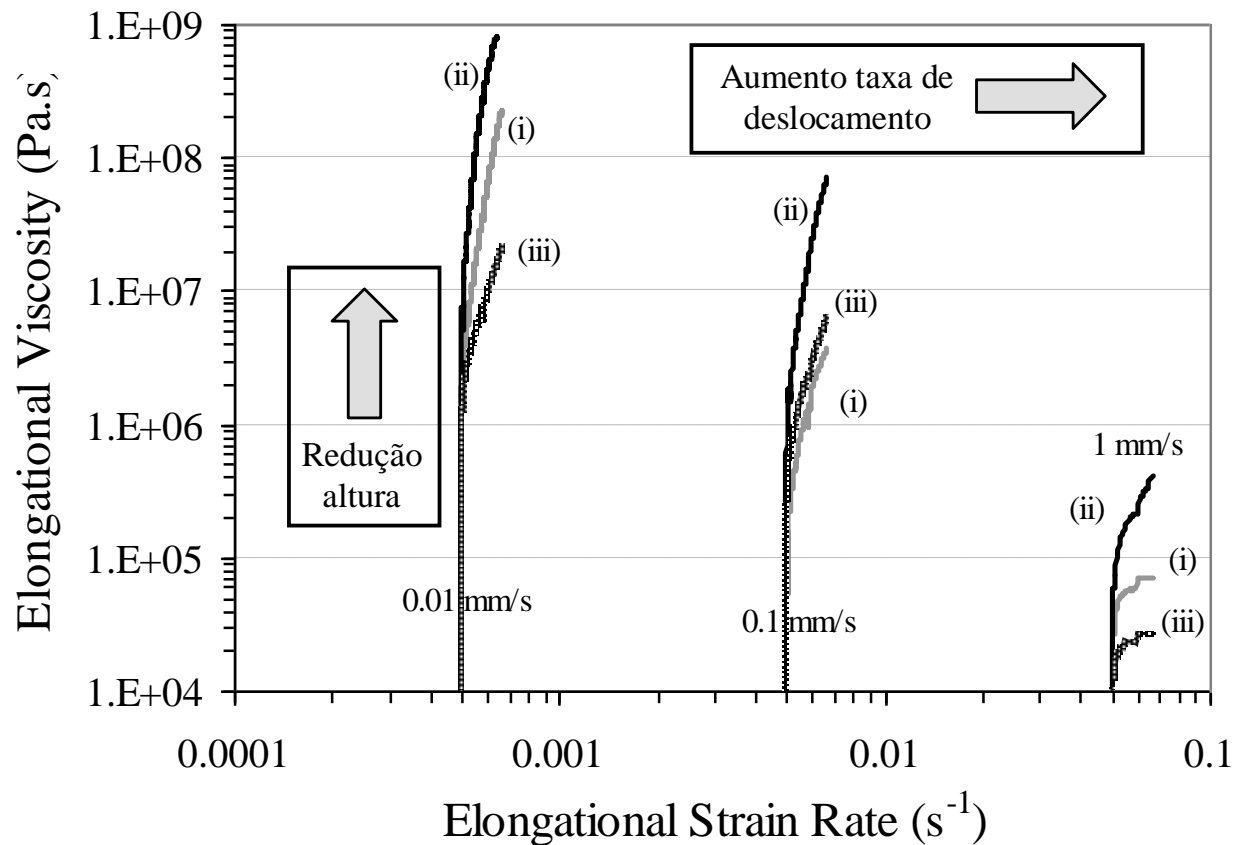
Avaliação de argamassas de revestimento: tensão de escoamento



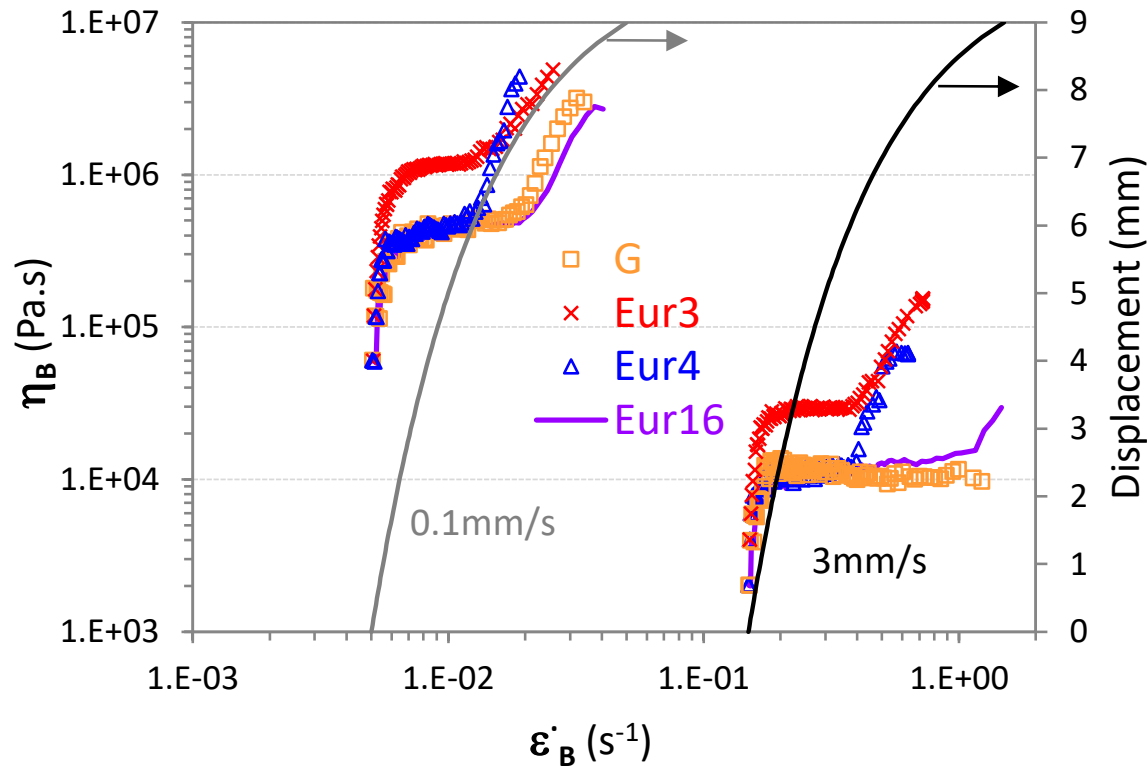
- Tensão de escoamento relacionada ao início da curva de squeeze-flow
  - Tensão em 10rpm (Viskomat) vs. Tensão em 0,5mm (squeeze-flow)

Avaliação de argamassas de revestimento: cálculo da viscosidade

$$\eta_B = \frac{\sigma_B}{\dot{\epsilon}_B} = 2L \left[ \frac{h_0 - (vt)}{v\pi R^2} \right]$$



## Squeeze-flow: Elongational viscosity

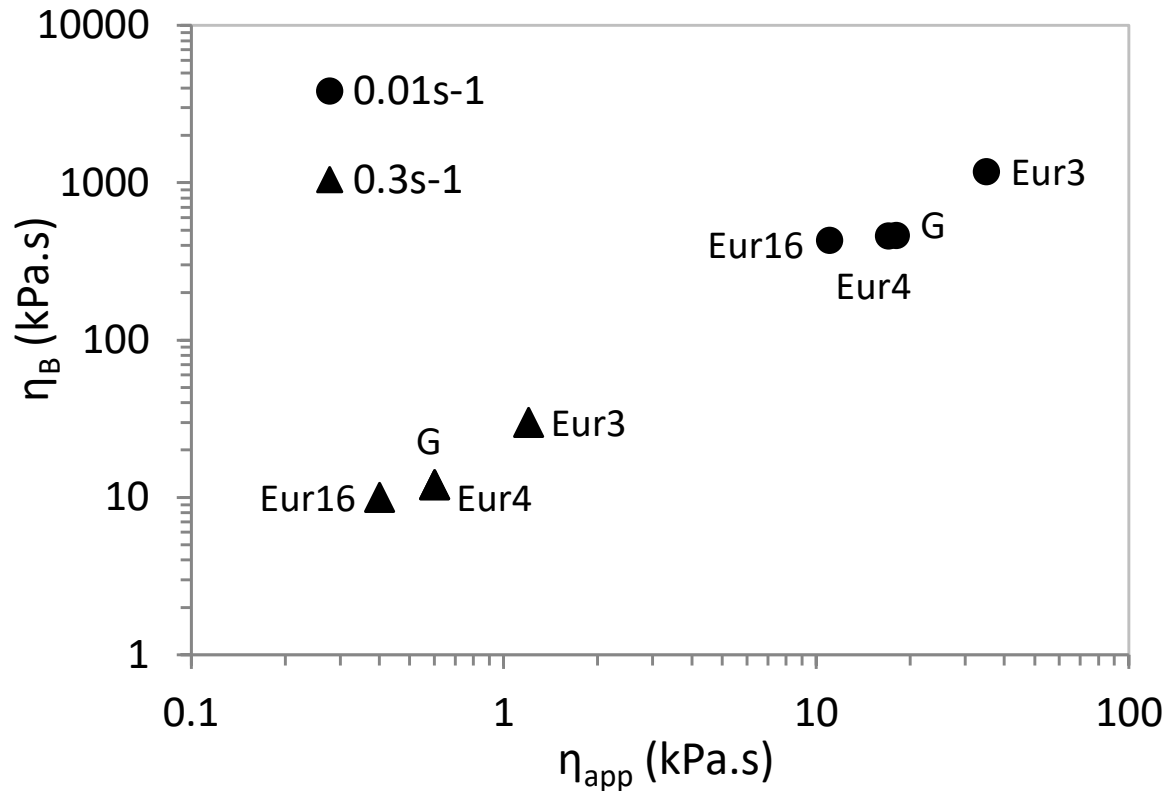


$$\dot{\epsilon}_B = \frac{\dot{\epsilon}_H}{2} = \frac{v}{(2h)}$$

$$\eta_B = \frac{\sigma_B}{\dot{\epsilon}_B} = 2L \left[ \frac{h_0 - (vt)}{v\pi R^2} \right]$$

- Extensional viscosity calculated for the mortars with very low segregation

## Rotational shear vs. extensional



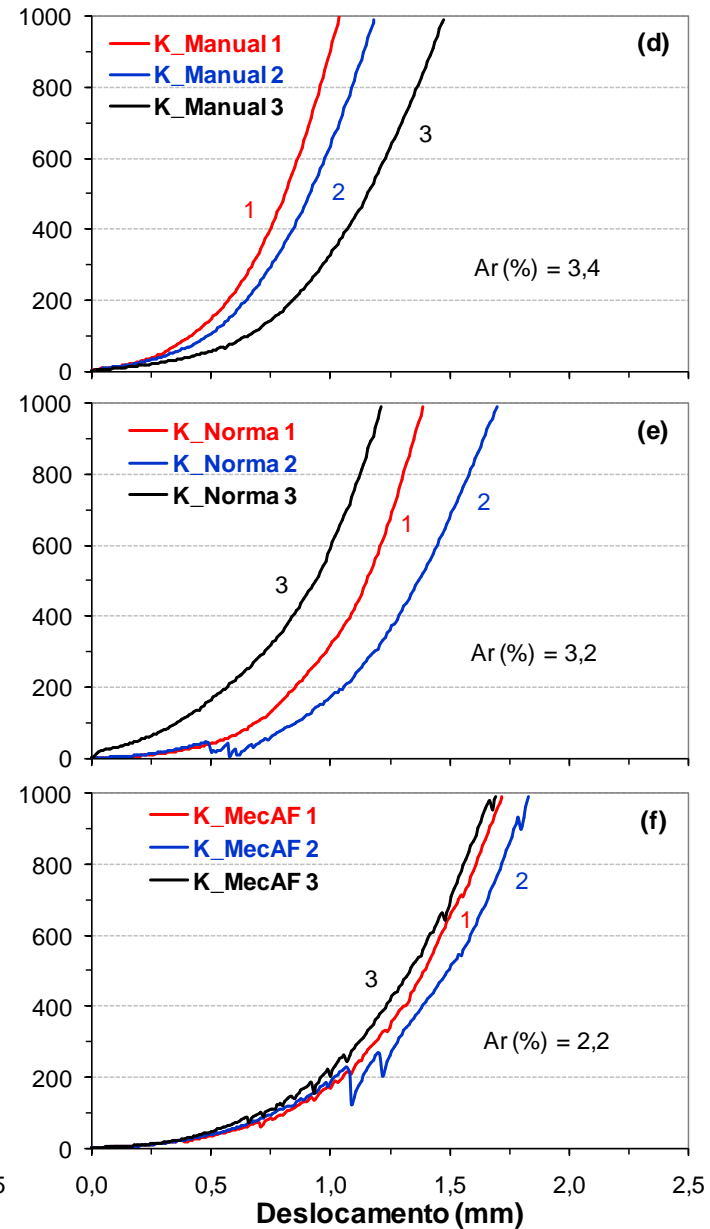
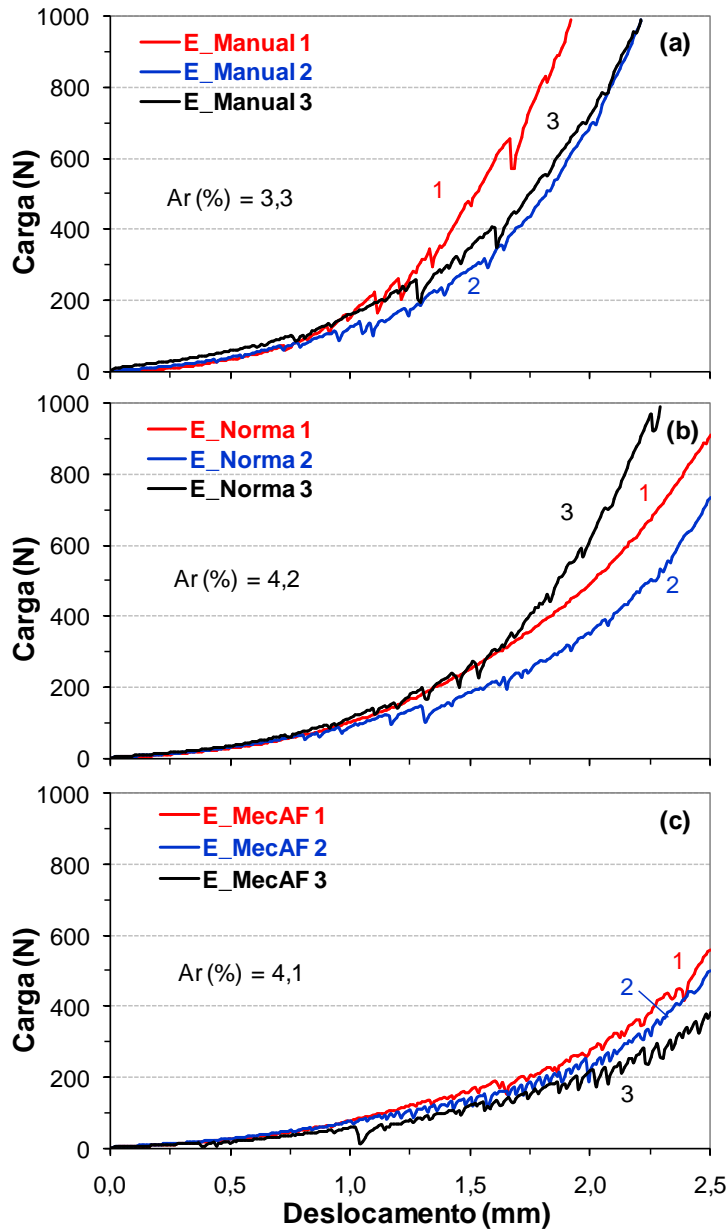
- The techniques rank the viscosity of the four mortars in the same order
- Viscosity decreases with increasing shear rate
- Extensional viscosity is 20-40 times the shear viscosity

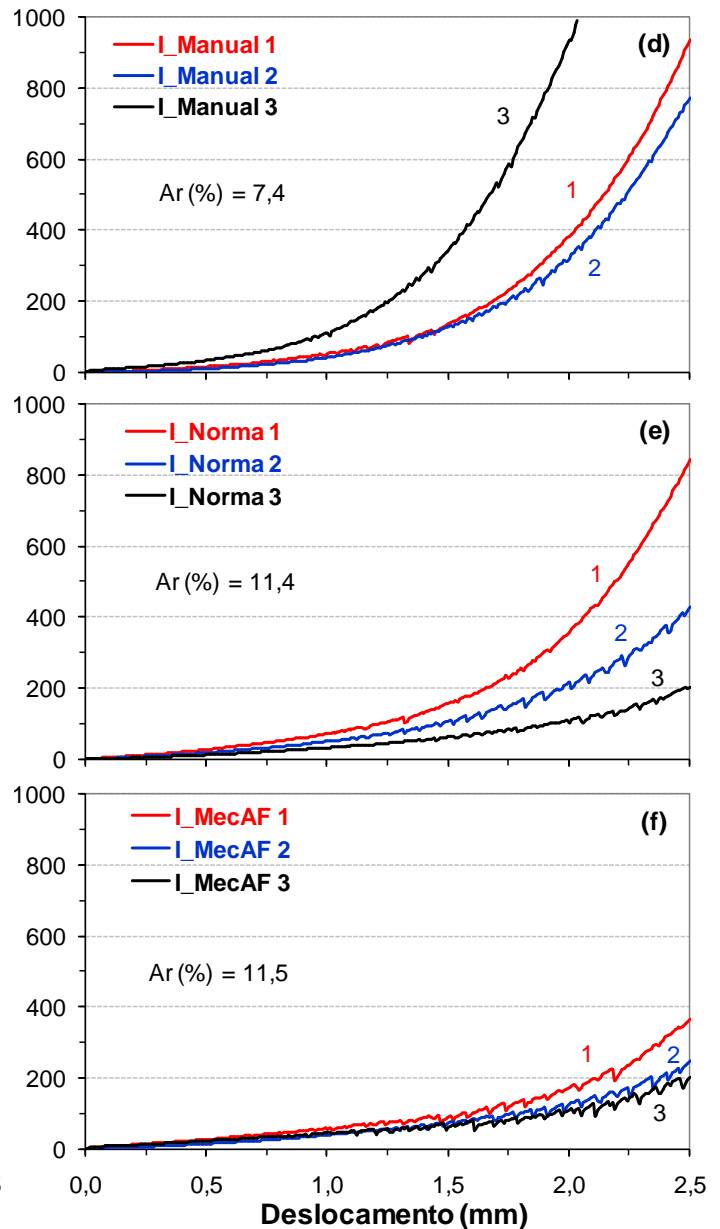
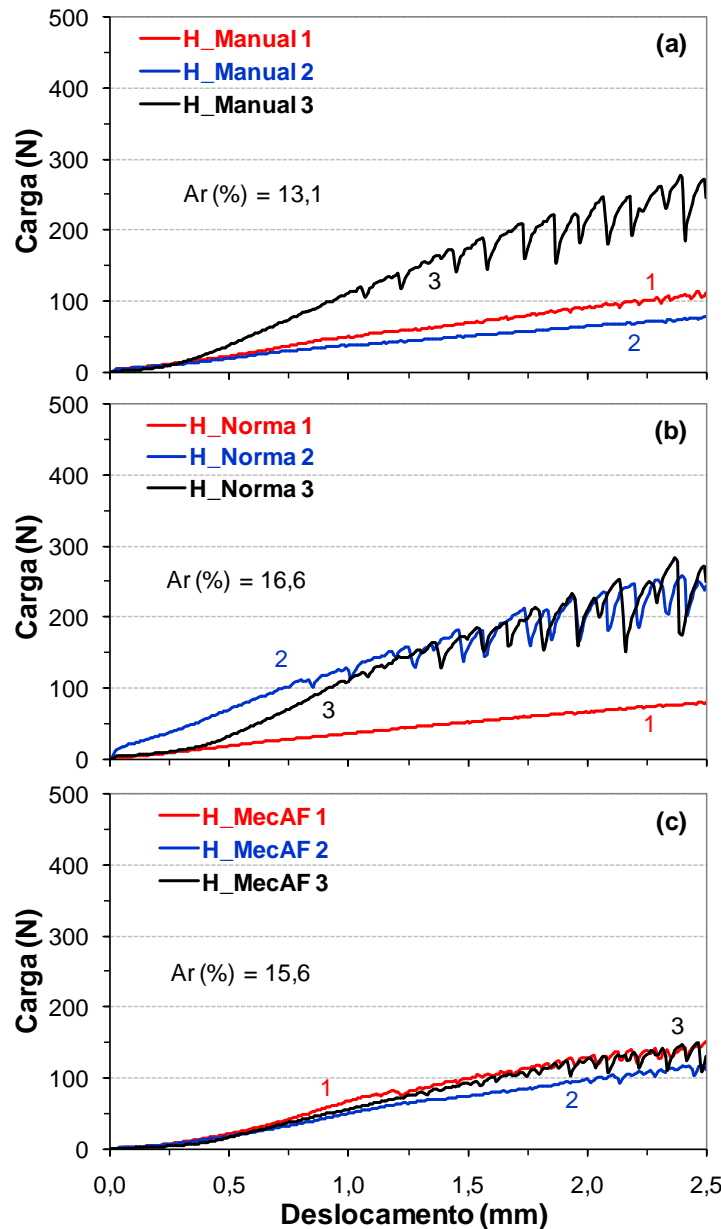
## Influência do tipo de mistura no comportamento de argamassas

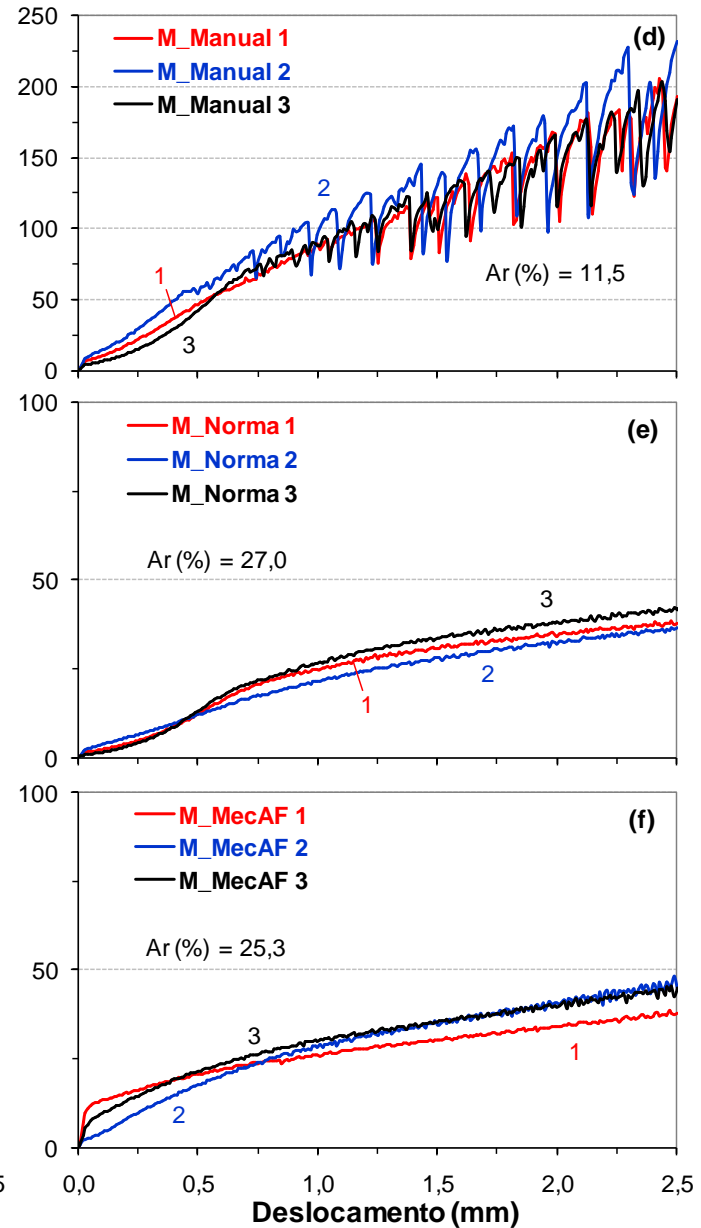
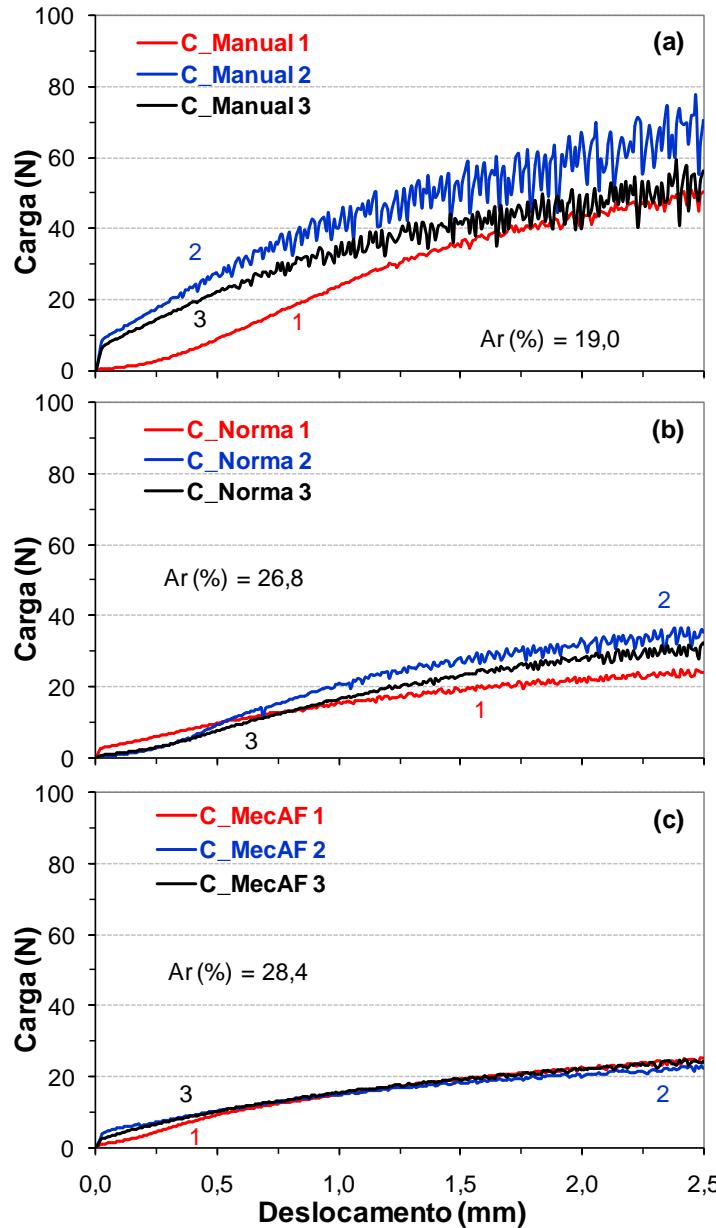
### **Procedimento de mistura**

- ✓ Manual - mistura manual realizada por diferentes operadores sem definição do procedimento de adição de água e tempo de mistura.
- ✓ Norma - mistura mecânica em argamassadeira de laboratório de acordo com a NBR 13276.
- ✓ Mecânica\_AF - mistura mecânica em argamassadeira de laboratório com adição de água de forma fracionada: (1) vertimento da argamassa anidra na cuba, (2) adição em fluxo contínuo de metade do teor de água em 40 segundos com misturador na velocidade I, (3) mistura por mais 20 segundos, (4) repetir passos 2 e 3. Tempo total de mistura igual a 2 minutos. Tempo de mistura com o teor de água total igual a 20 segundos.

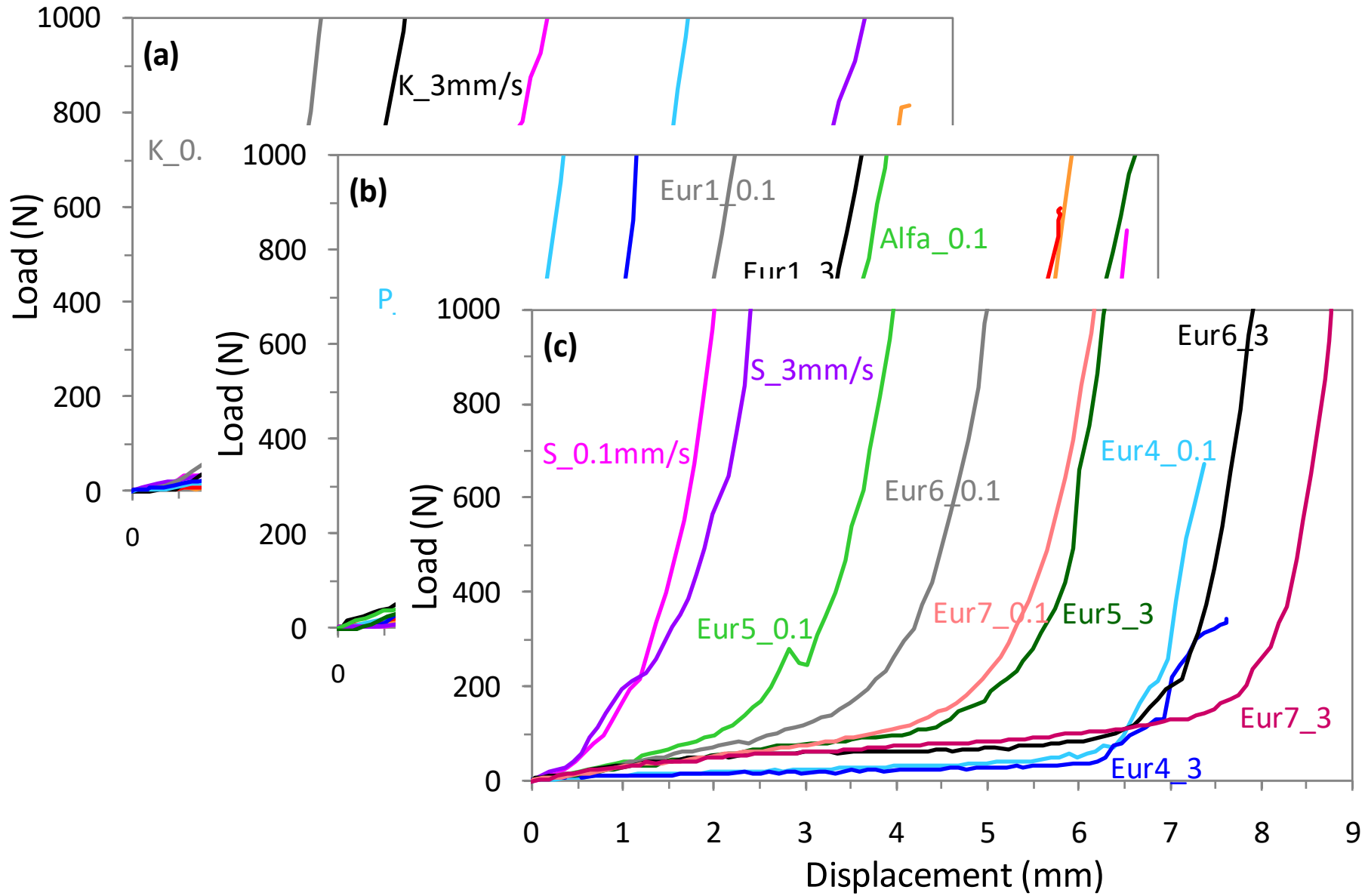


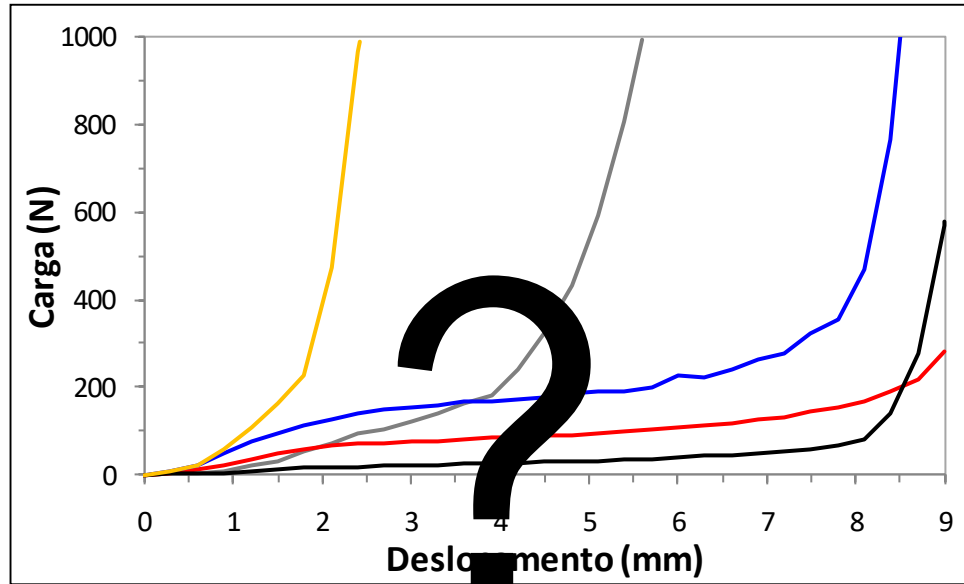






## Mapa argamassas brasileiras e europeias

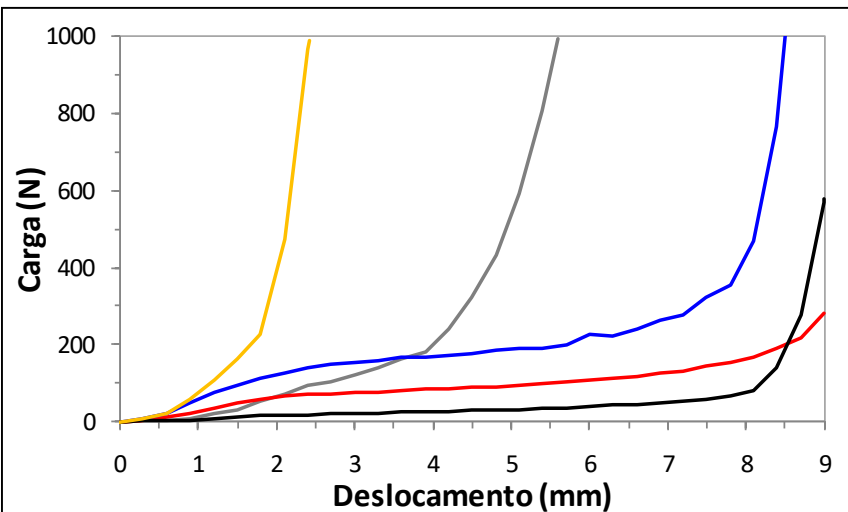




X



- Relacionar o comportamento reológico de argamassas de revestimento avaliado por squeeze-flow com o seu desempenho em relação à qualidade e à produtividade durante aplicação manual.



X





- **Paredes** construídas sobre pórticos de concreto com **blocos cerâmicos** de vedação com aplicação de **chapisco industrializado**.
- Área painel  $\approx 1\text{m}^2$



**Argamassas** – 6 produtos brasileiros de **revestimento** adequados para **aplicação manual** apresentando diferentes comportamentos reológicos em squeeze-flow.

- ❑ **Arg.1** – **argamassa industrializada** mista (cal e cimento) para revestimento interno e externo ou para assentamento de tijolos e blocos.
- ❑ **Arg.2** – **argamassa industrializada** pigmentada para revestimento interno e externo.
- ❑ **Arg.3** – **argamassa industrializada** para revestimento interno e externo.
- ❑ **Arg.4** – **argamassa industrializada** mista (cimento e cal) para revestimento externo.
- ❑ **Arg.5** – **argamassa industrializada** para revestimento interno e externo.
- ❑ **Arg.6** – argamassa de revestimento **dosada em obra** de construtora de grande porte na cidade de São Paulo.



- ❑ **3 pedreiros** experientes aplicaram **1m<sup>2</sup>** de cada argamassa
- ❑ **Avaliação** – durante a aplicação os pedreiros responderam ao **questionário de avaliação** sobre 4 tópicos do processo:
  - 1. Aplicação** – (a) lançamento da argamassa contra o substrato (“chapar”) seguido de (b) aperto e espalhamento sobre a superfície.



**2. Acabamento** – consiste nas etapas de **(c) sarrafeamento** (corte e nivelamento) e **(d) desempeno** (acabamento final).

Foram avaliados os seguintes itens:

- ❖ Tempo de espera entre a aplicação e o início do sarrafeamento
- ❖ Facilidade para sarrafear com a régua
- ❖ Facilidade para desempenar



**3. Qualidade final** – qualidade final (aspecto visual e rugosidade superficial) do revestimento aplicado considerando **acabamento liso**.

**4. Produtividade** – estimativa de produtividade esperada por pedreiro por dia de trabalho (m<sup>2</sup> de revestimento aplicado / pedreiro / dia).

☐ **Sistema de notas** – Os pedreiros deram notas para cada tópico em questão de acordo com o seguinte sistema de classificação:

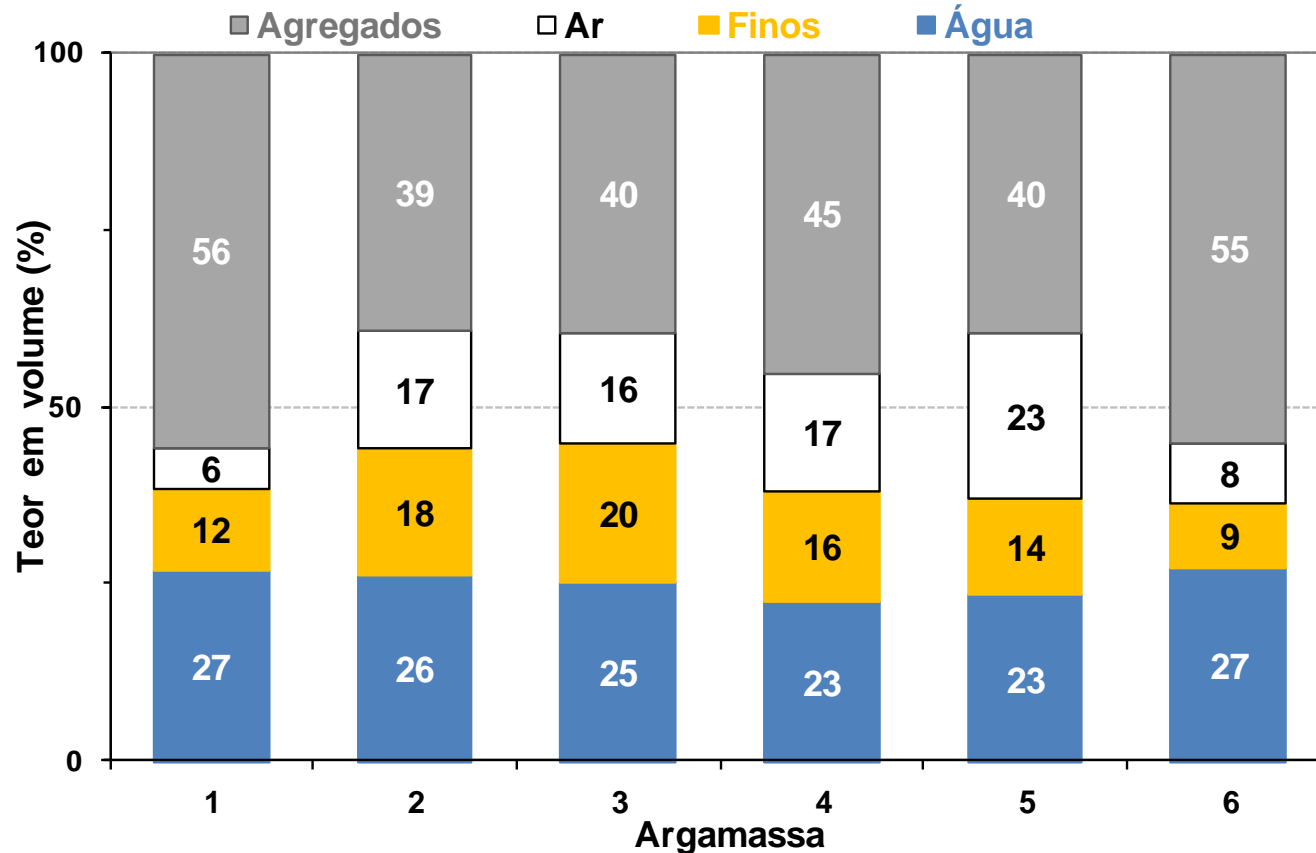
**✘ = Ruim**

**☐ = Regular**

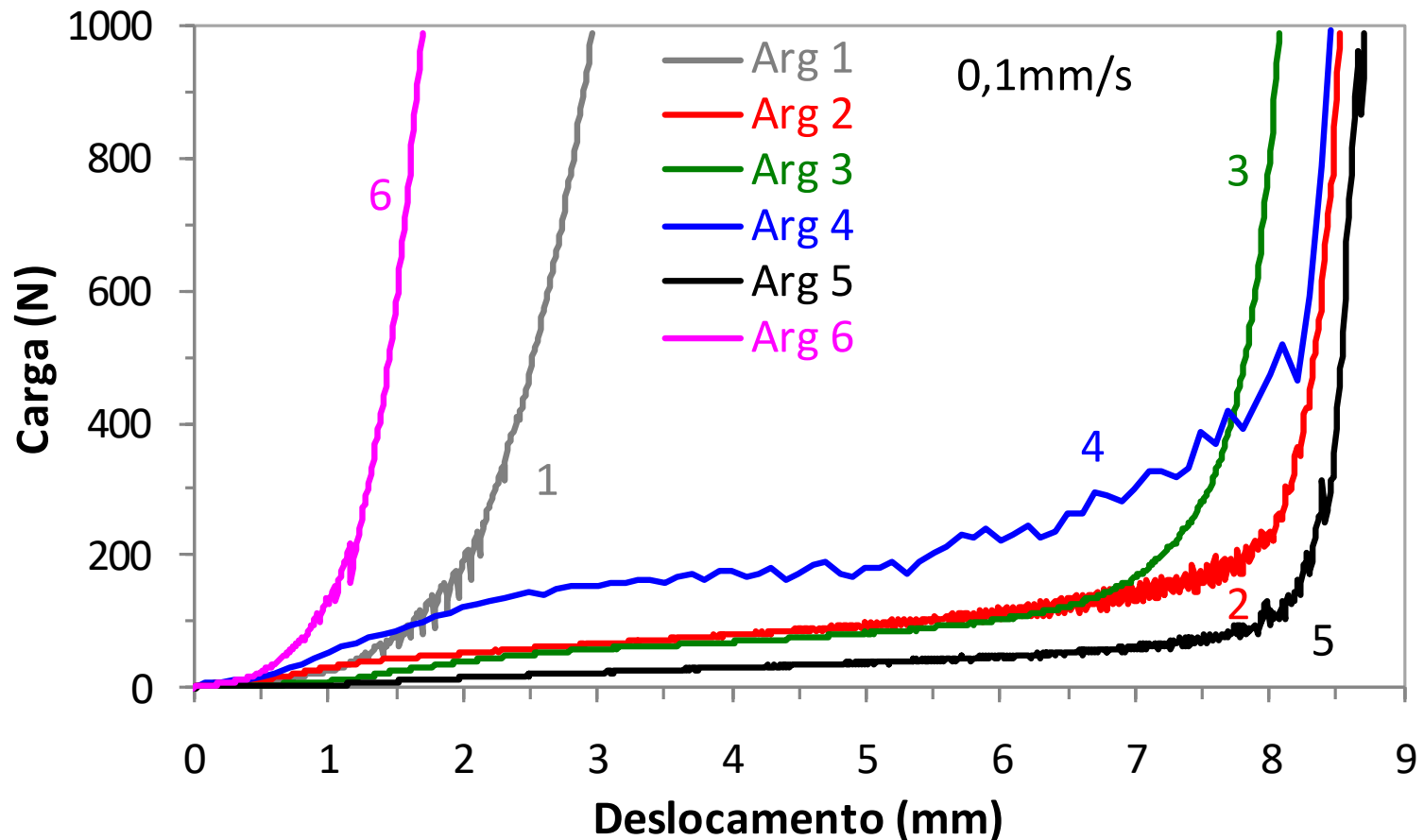
**😊 = Boa**

**⑩ = Ótima.**

- Distribuição de fases em volume das argamassas no estado fresco



- Argamassas 1 e 6: menores teores de ar (6-8%) e de pasta ( $\approx 45\%$ )
- Argamassas 2 – 5: maiores teores de ar (16-23%) e de pasta (55-60%)



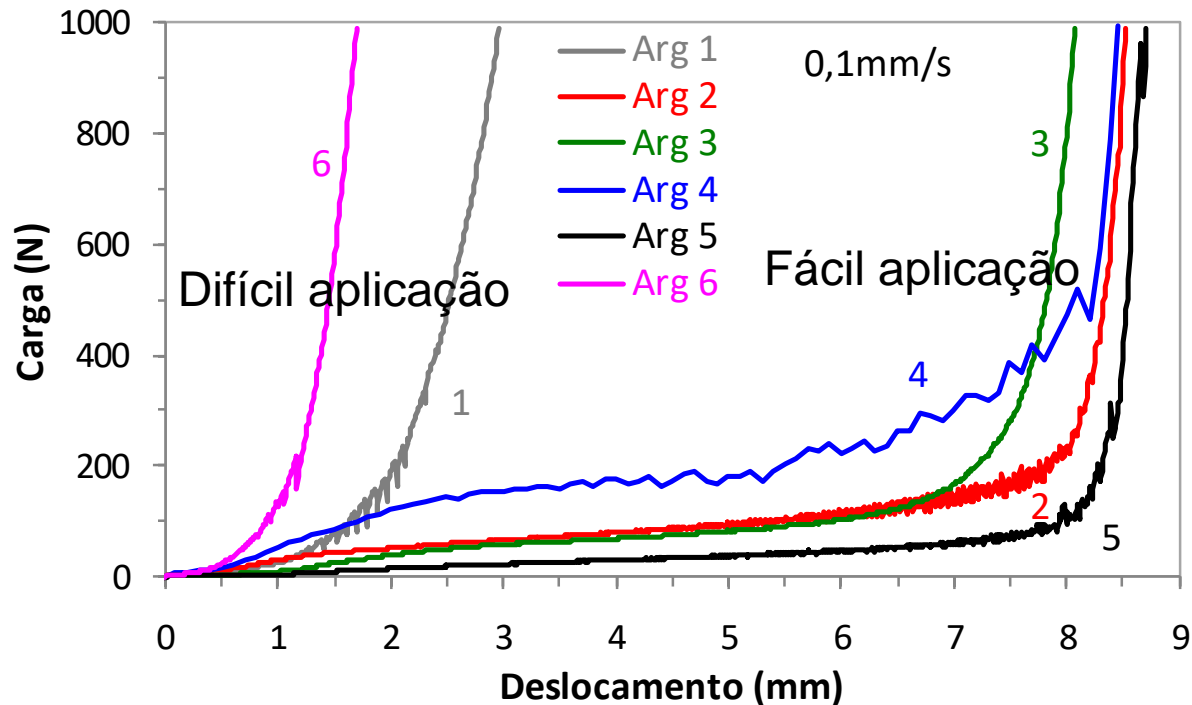
- Arg. 1 e 6: strain-hardening → pequenos deslocamentos resultam em cargas elevadas → atrito entre grãos e tendência a segregação pasta-agregado dificulta o fluxo
- Arg. 2 – 5: deformação plástica → maiores teores de pasta reduzem o atrito e facilitam o fluxo
- Arg. 4: deformação plástica ocorre em maiores níveis de carga

Etapa / quesito	Argamassa					
	1	2	3	4	5	6
<b>Aplicação</b>	☐☺⑩	☺☐☺	×××	⑩☺☺	☺⑩⑩	☺××
Espalhamento	×☐⑩	☺☐⑩	☺☐×	⑩☺☺	⑩☺☺	××☐
Aperto	☺☐⑩	⑩⑩⑩	☐☺×	☺☺☺	⑩☺☺	☺☐×
<b>Acabamento</b>	☺☺⑩	☺☐☐	×××	☐☺☺	⑩☺☺	⑩☺☺
Espera (min)	35	160	160	70	180	35
Sarrafeamento	☺☺☺	☺☐×	×××	×☺☐	⑩☺☺	⑩⑩☺
Desempeno	☺☺⑩	☐☺☐	☐×☐	☐☺☺	⑩⑩⑩	⑩☺☺
<b>Qualidade final</b>	⑩☺⑩	☺☺☐	☐☐☺	⑩⑩☺	⑩☺⑩	☐×☐
<b>Produtividade</b> (m <sup>2</sup> /dia)	35,30,40	30,20,15	>10,>10,10	30,40,40	35,35,40	25,25,40

× = Ruim; ☐ = Regular; ☺ = Boa; ⑩ = Ótima

- ☐ **Aplicação:** 2, 4 e 5 bom desempenho → fácil deformação em squeeze-flow;
  - 1 intermediária e 6 ruim → difícil deformação;
  - 3 ruim → fácil deformação, porém alta adesão dificulta aplicação (gruda colher).
- ☐ **Acabamento:** 1, 5 e 6 muito fácil; 3 difícil devido à elevada adesão.
- ☐ **Qualidade final:** 1, 4 e 5 melhor avaliadas; 6 ruim → superfície muito áspera.
- ☐ **Produtividade:** 1, 4 e 5 alta produtividade; 2 e 6 intermediária; 3 baixa.

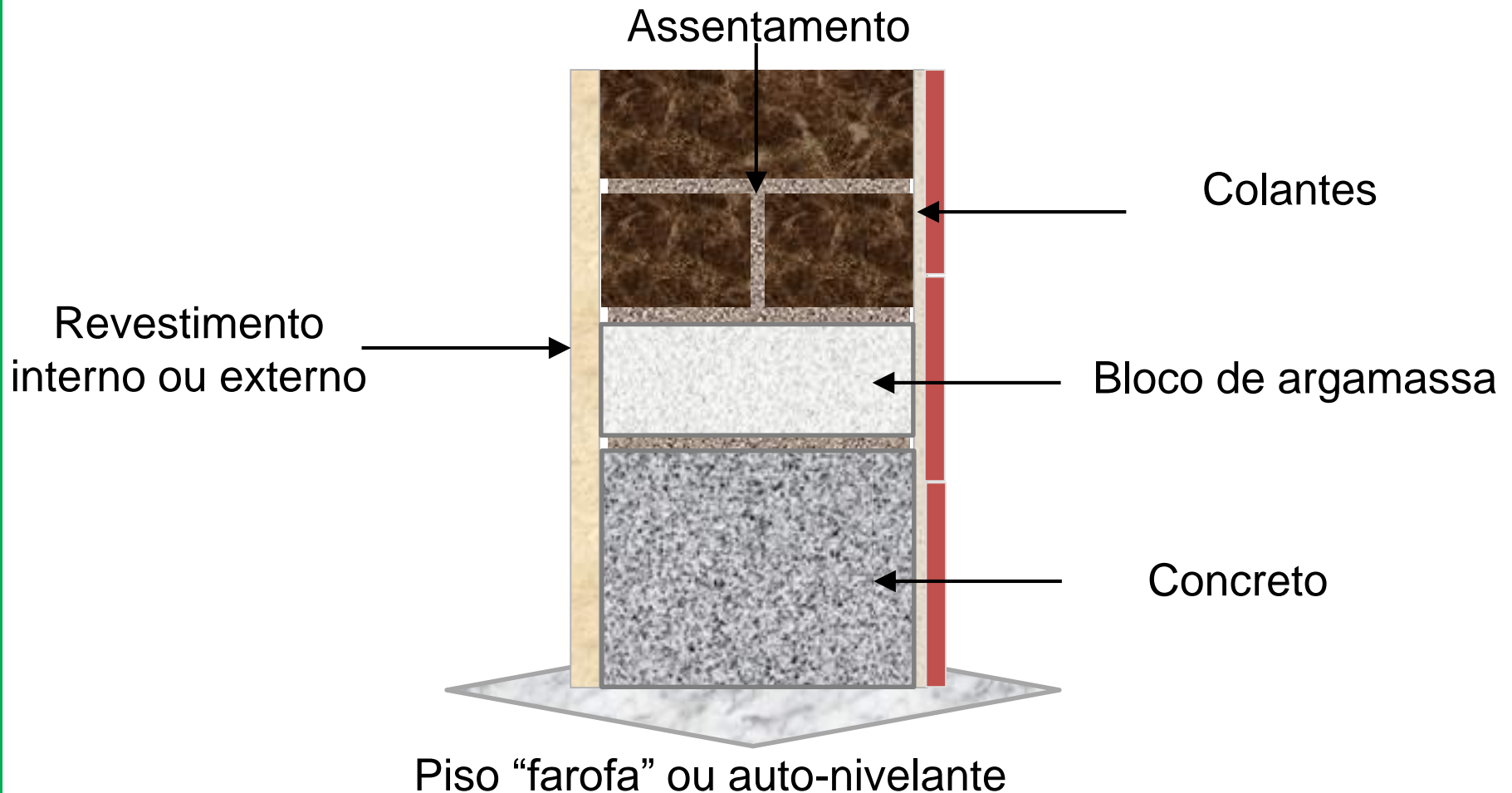




- ❑ Squeeze-flow apresentou **boa relação com o espalhamento** e aperto contra o substrato
- ❑ **A adesão da argamassa na colher teve influência negativa na opinião dos pedreiros.**
- ❑ Método deve também ser utilizado para avaliar a **adesão**.
- ❑ Argamassas **3** e **6** receberam as piores classificações.
- ❑ Argamassas **4** e **5** foram consideradas as de melhor desempenho, aliando facilidade de aplicação e acabamento, qualidade final e elevada produtividade.

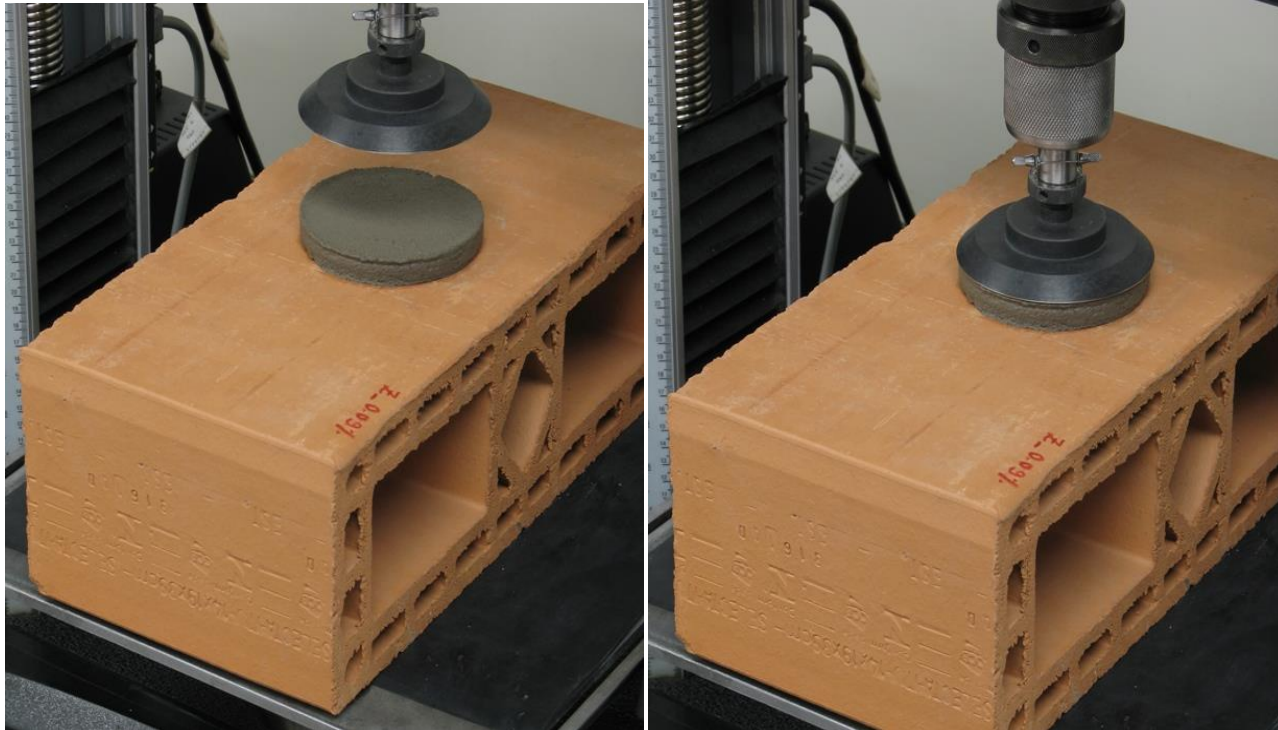
- ❑ Squeeze-flow apresentou **boa relação com o espalhamento** e aperto contra o substrato, mas a adesão da argamassa na colher teve influência significativa na opinião dos pedreiros.
- ❑ Método deve também ser utilizado para avaliar a **adesão**, através da puxada da argamassa após a deformação inicial.
- ❑ Argamassas **3** e **6** receberam as piores classificações, devido à dificuldade na aplicação e reduzida produtividade.
- ❑ Argamassas **4** e **5** foram consideradas as de melhor desempenho, aliando facilidade de aplicação e acabamento, qualidade final e elevada produtividade.





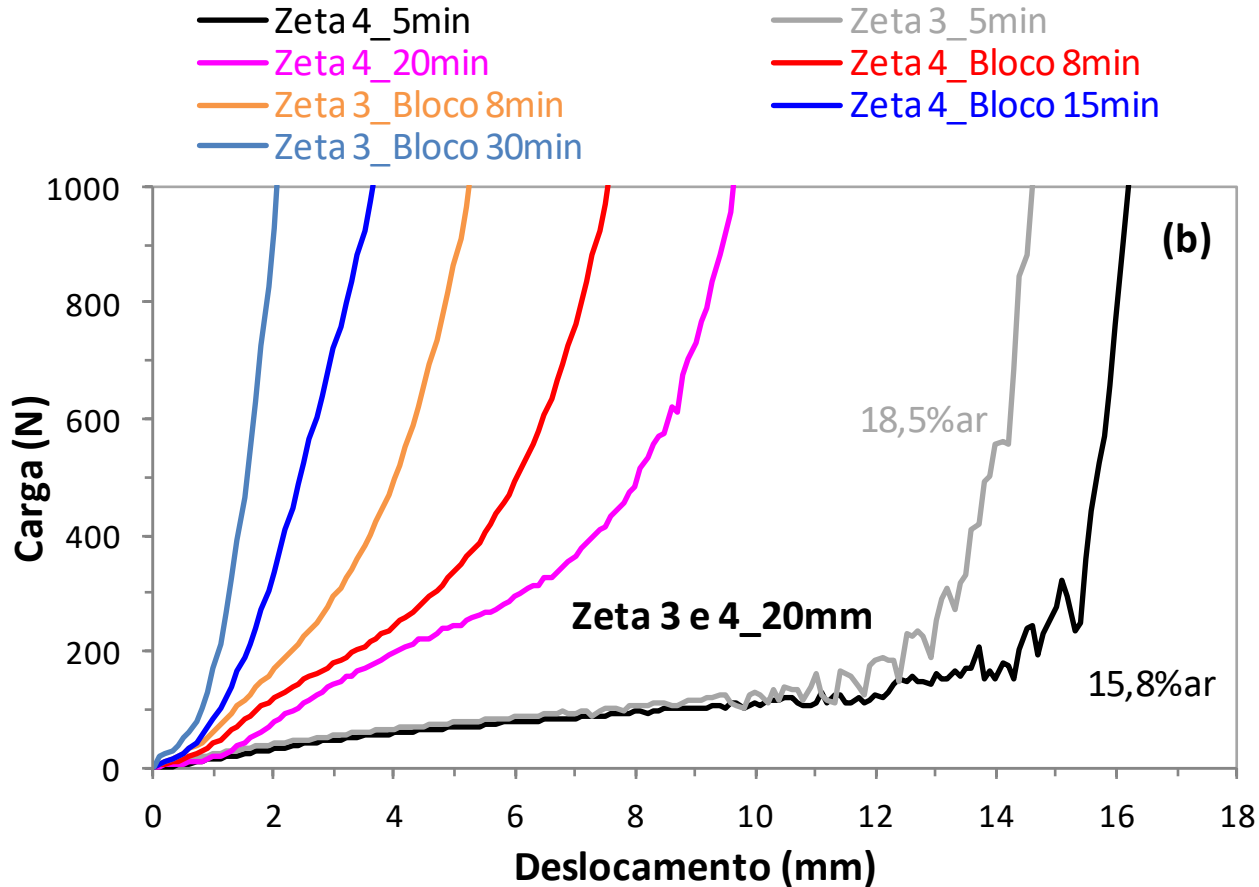
- ❑ Argamassas são aplicadas sobre bases absorventes

## Configuração de ensaio



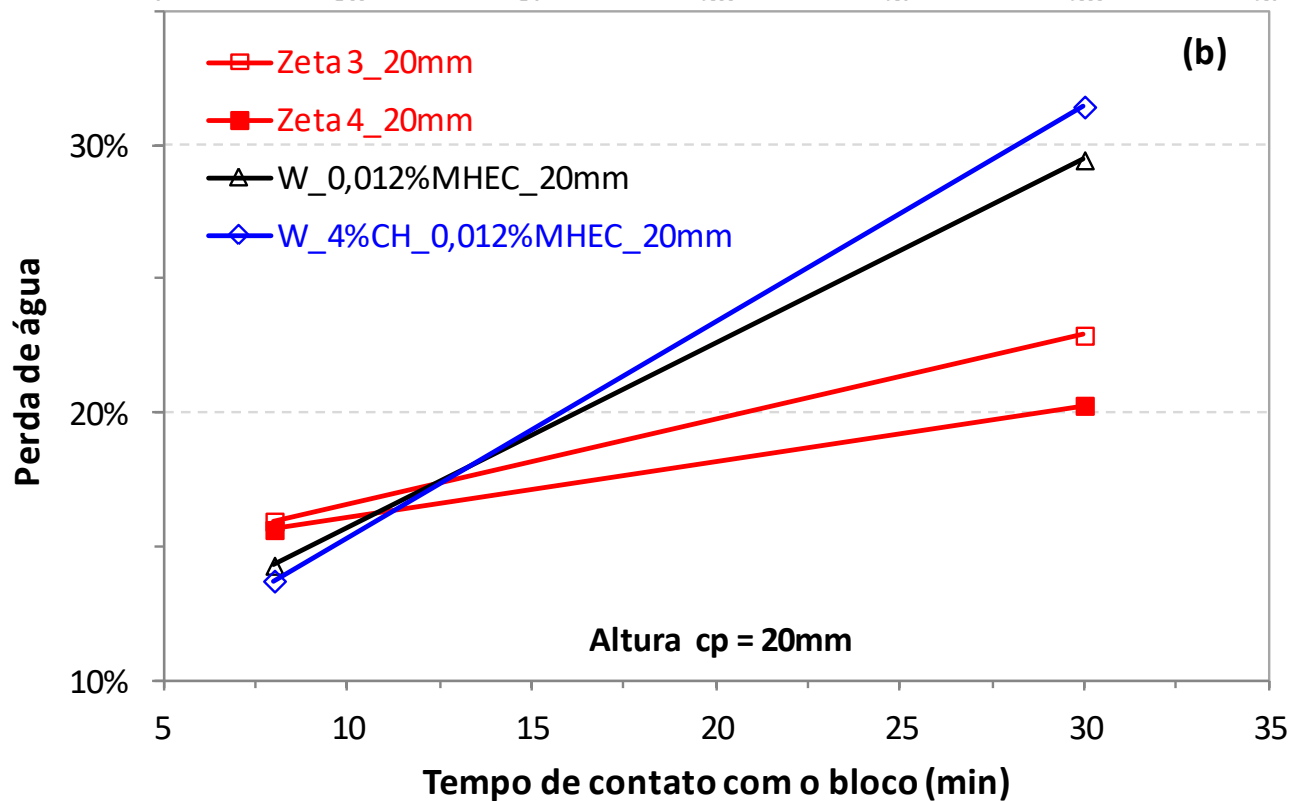
- ❑ Squeeze-flow de argamassas de revestimento sobre blocos cerâmicos

## Squeeze-flow argamassa de revestimento



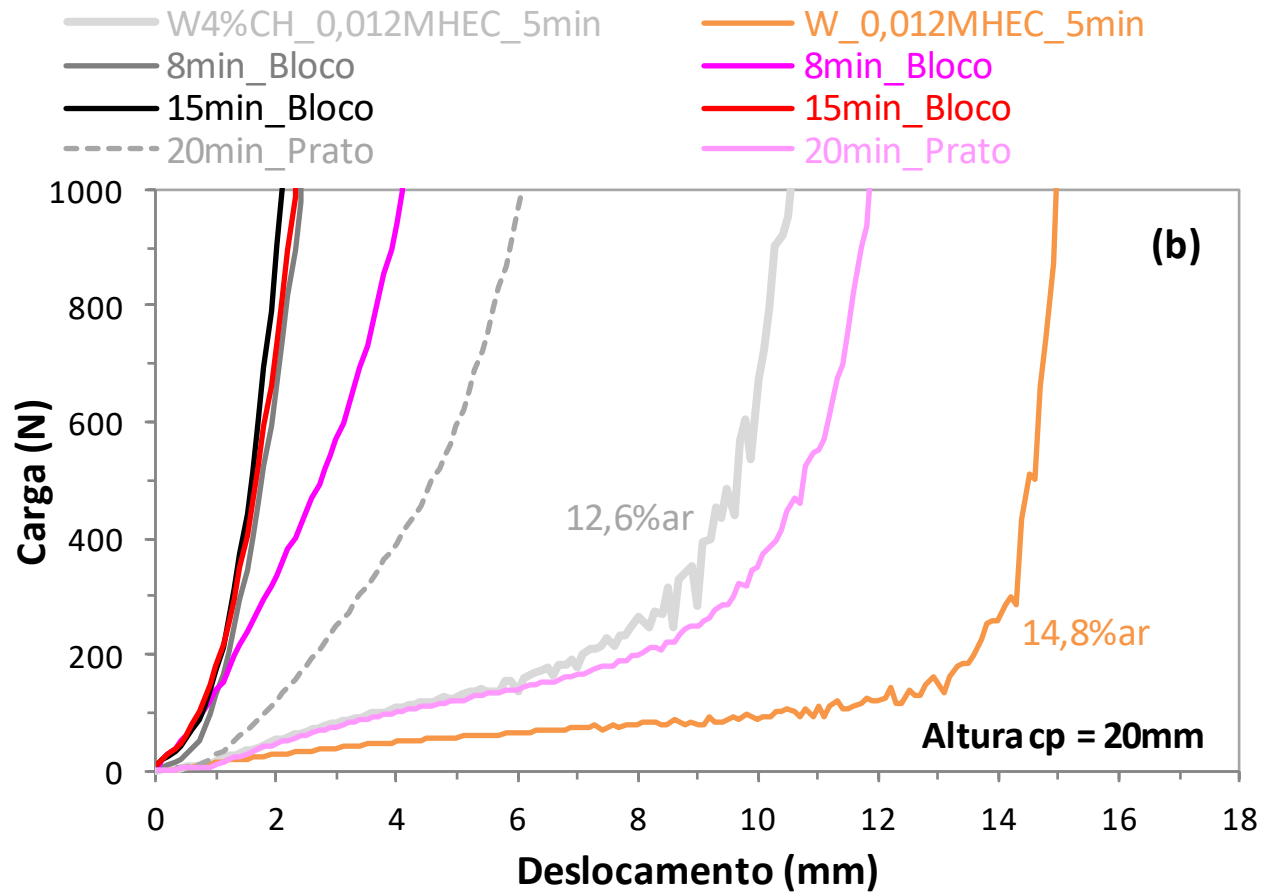
❑ Perda de água para o bloco altera o comportamento reológico significativamente

## Absorção de água



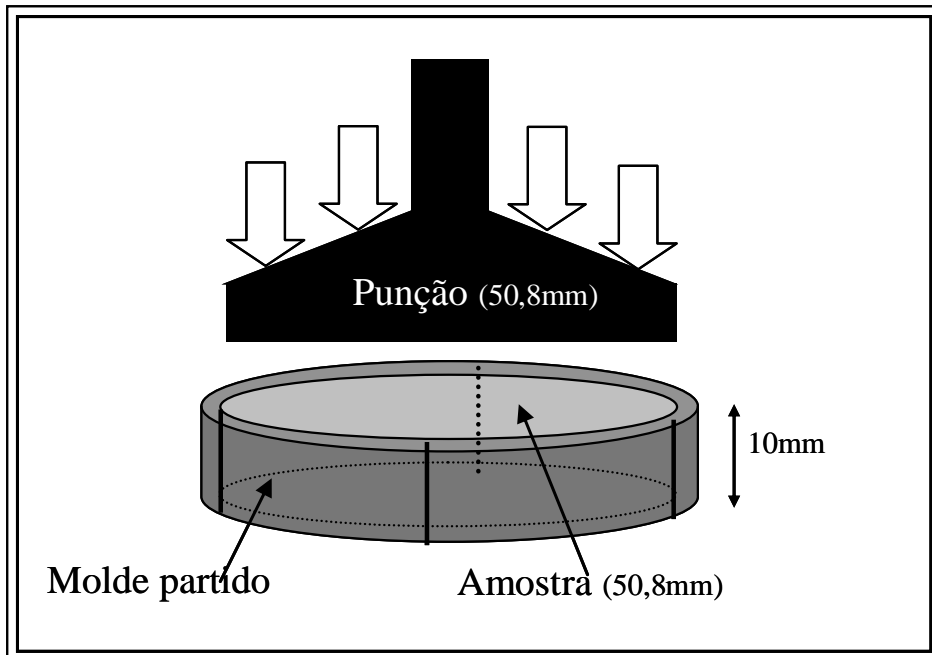
- ❑ Redução no teor de MHEC aumentou a perda de água para o bloco

## Squeeze-flow argamassa de revestimento



❑ Perda de água para o bloco altera o comportamento reológico significativamente

## Configurações alternativas - Argamassa colante

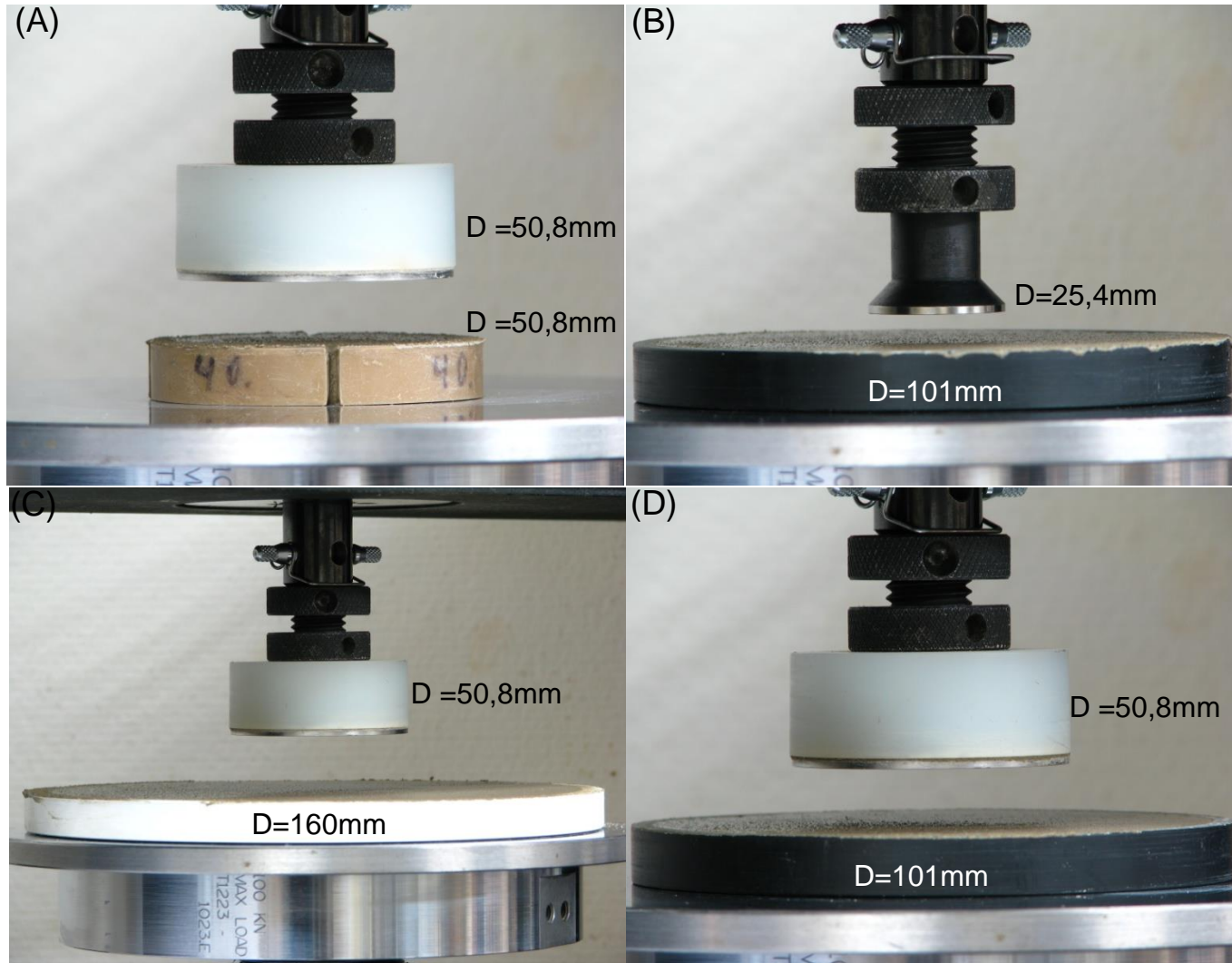


- Diâmetro = 50,8mm
- Altura = 10mm

- Dificuldade para desmoldar
- Utilização de moldes partidos
- Ensaio realizado com molde

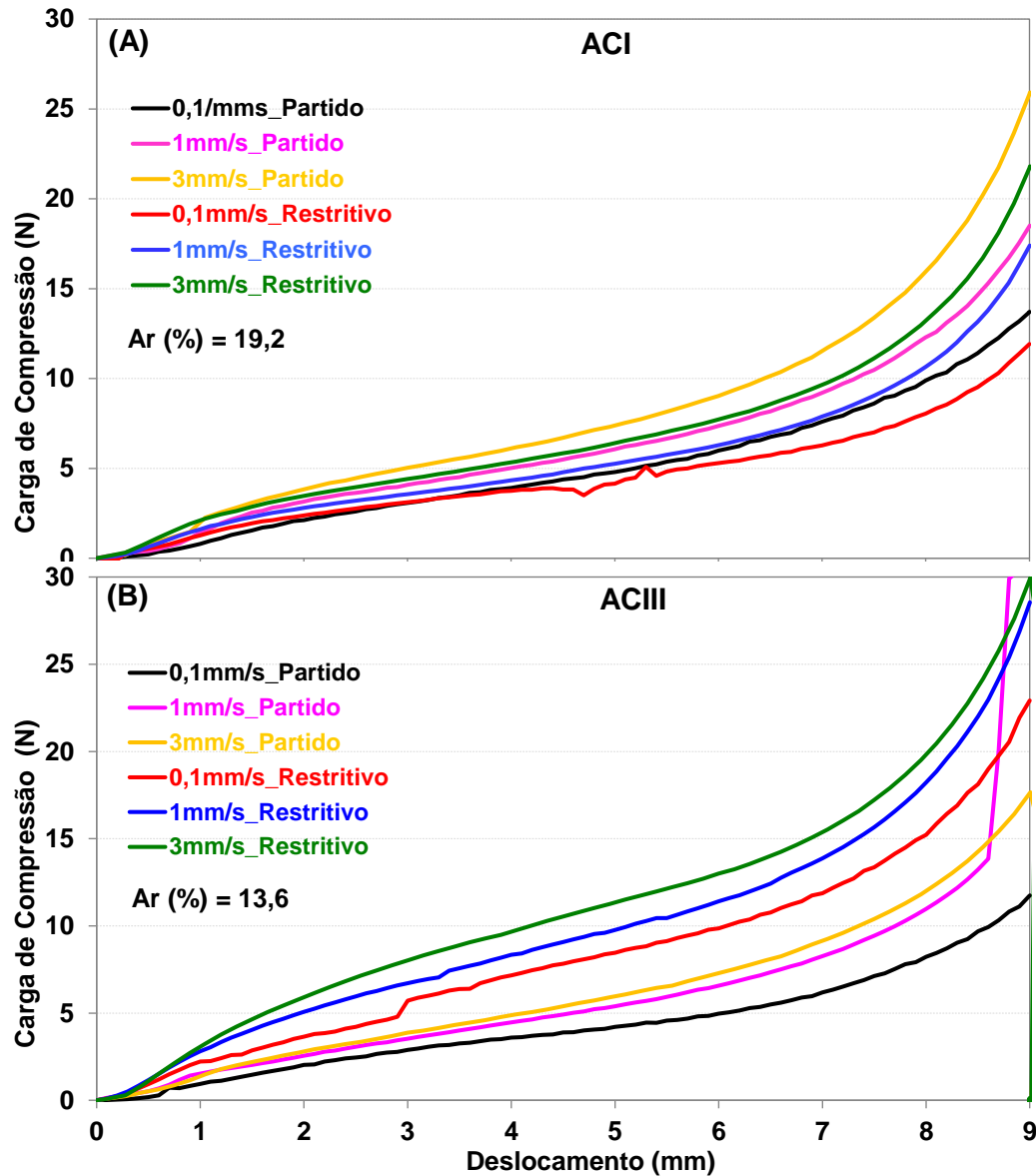


## Configurações alternativas - Argamassa colante



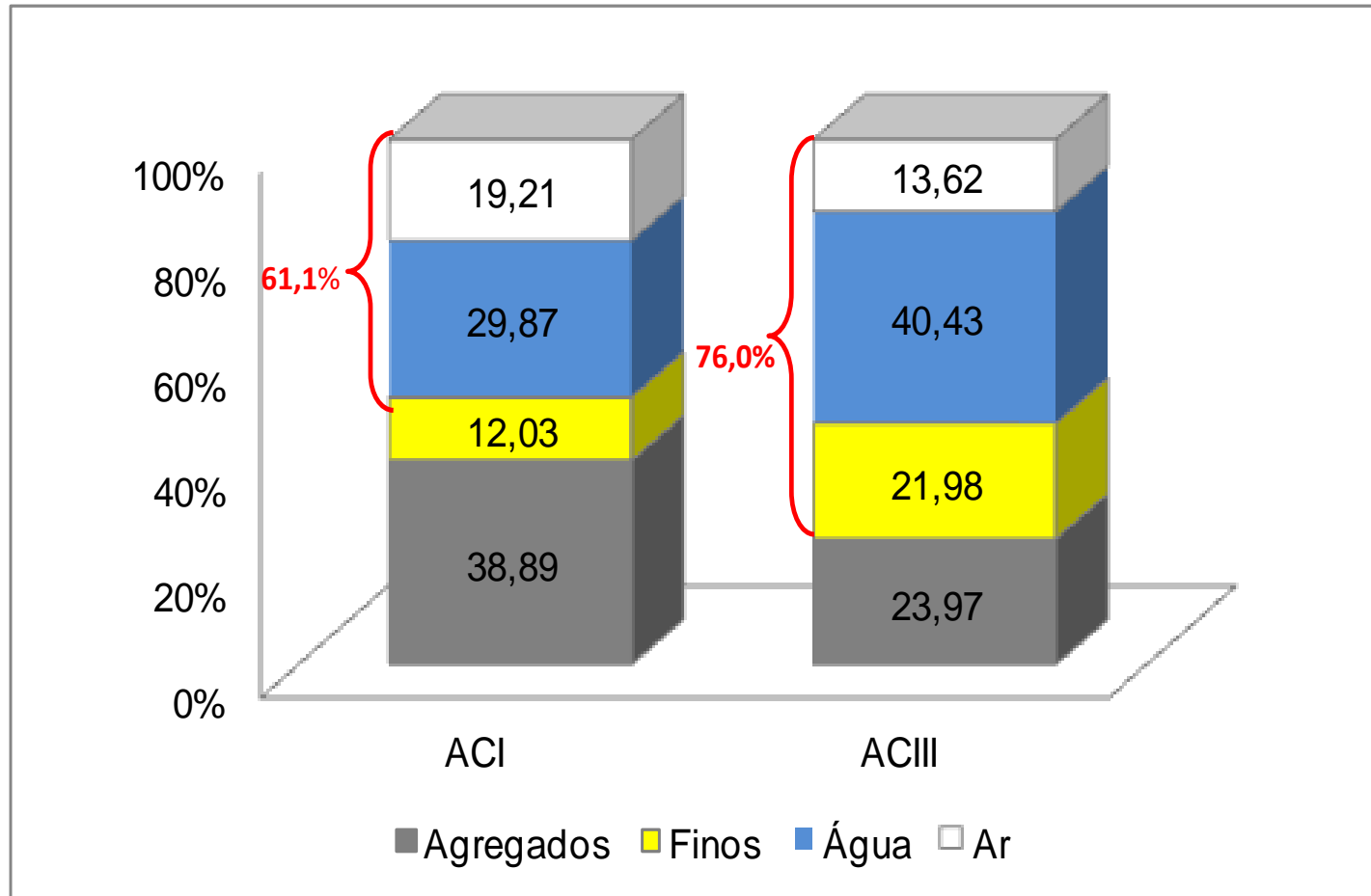
■ Configurações com confinamento lateral

## Configurações alternativas - Argamassa colante



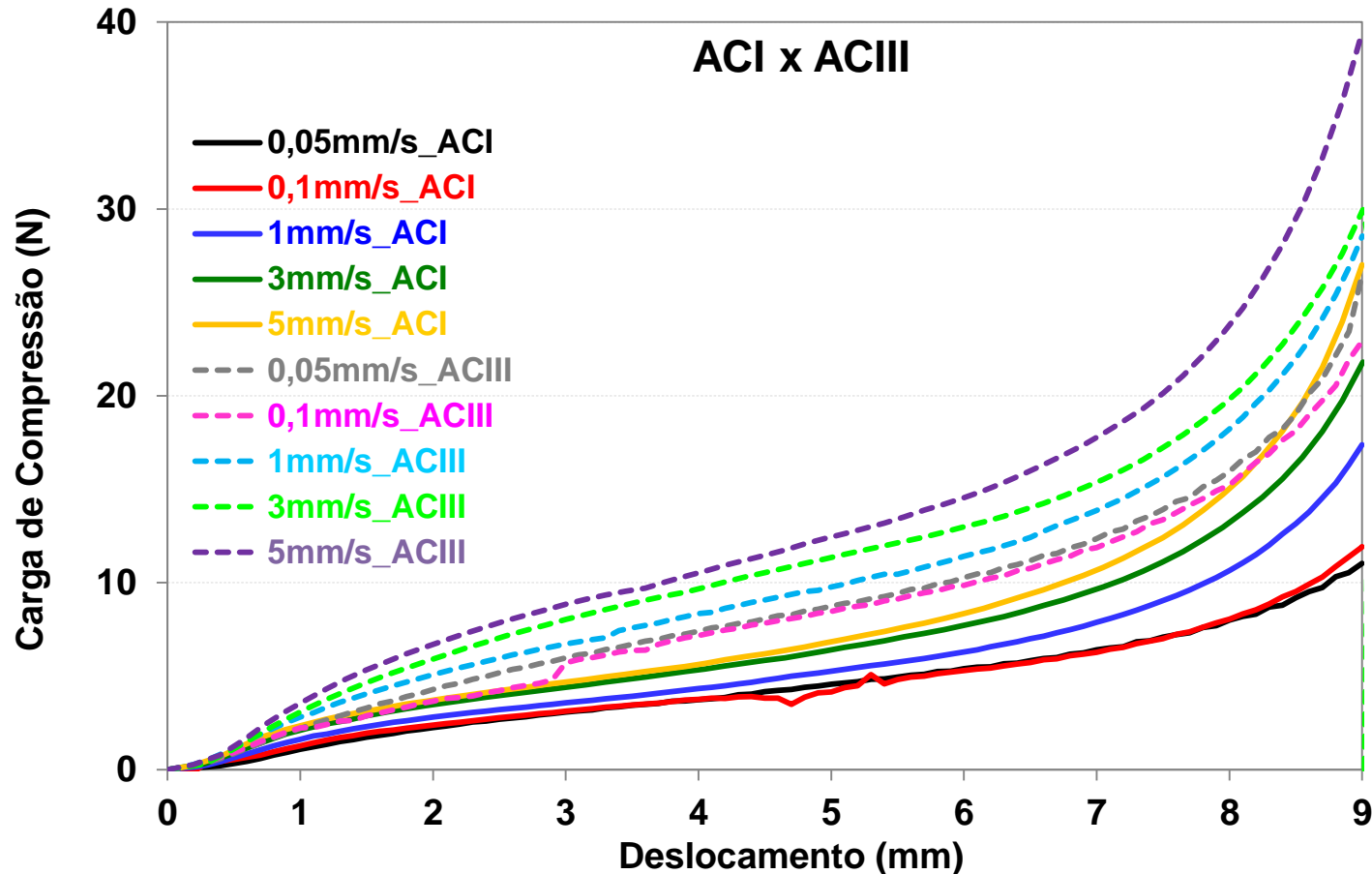


## ACI vs ACIII



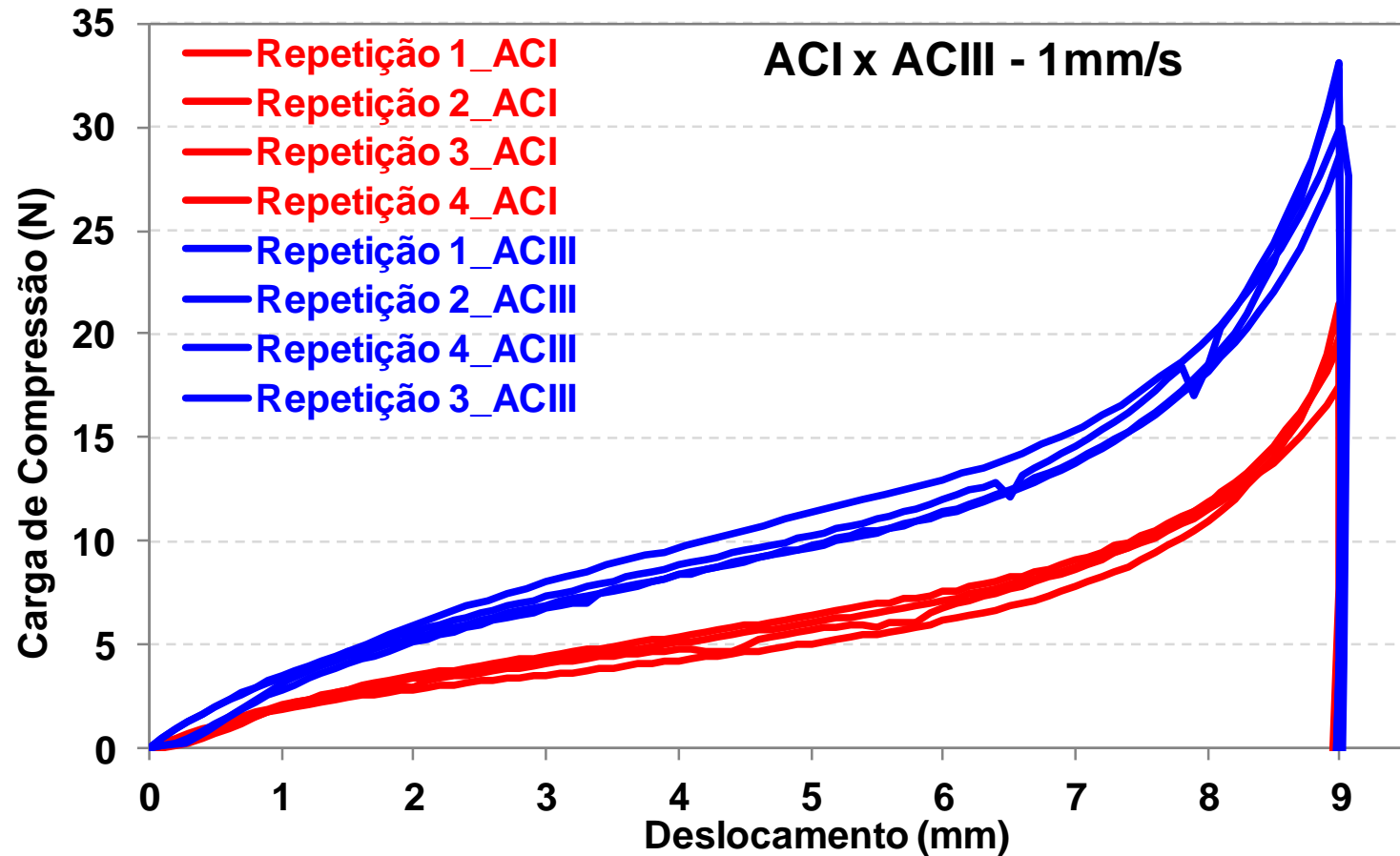
- ❑ Kudo, E.K. Caracterização reológica de argamassas colantes. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. 2012, 147p.

## Squeeze-flow: ACI vs ACIII



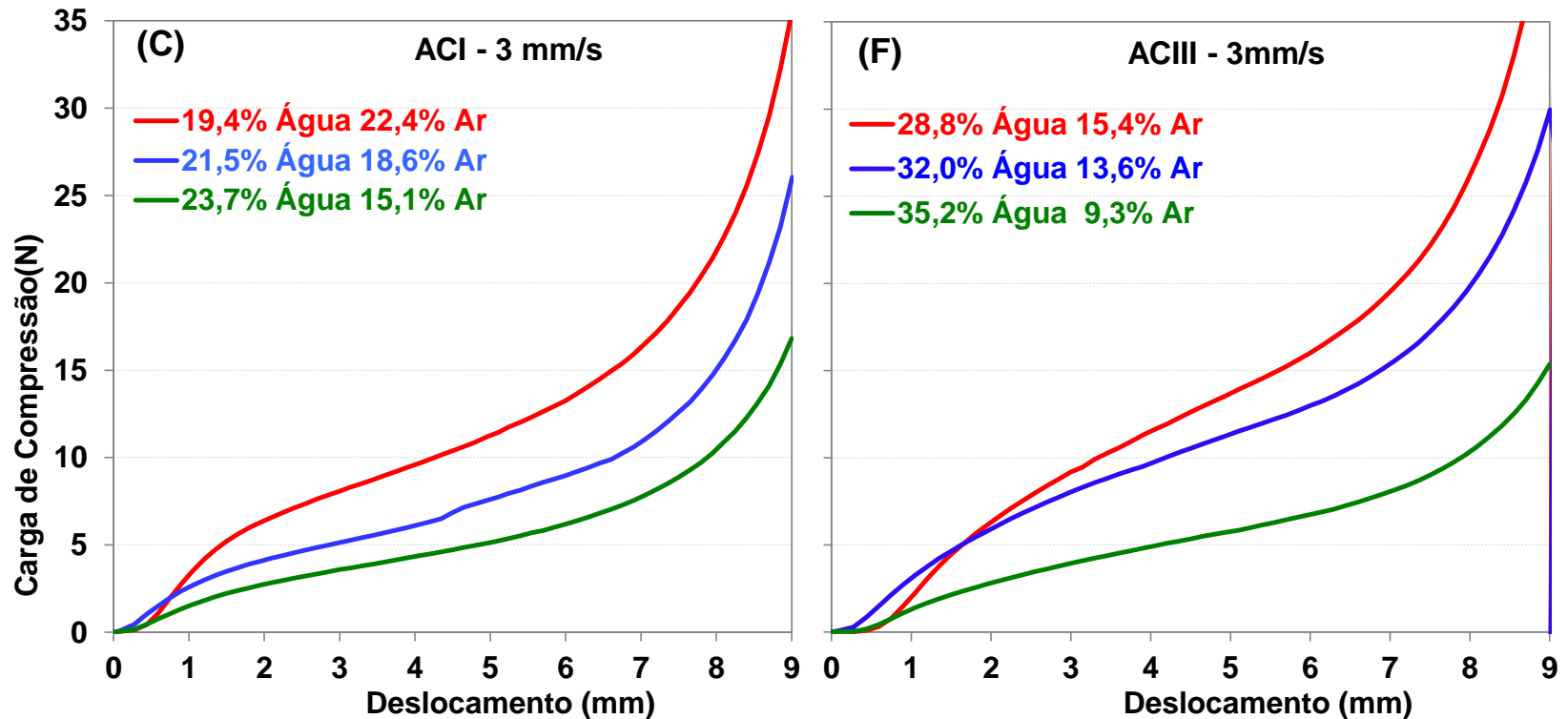
- ❑ Kudo, E.K. Caracterização reológica de argamassas colantes. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. 2012, 147p.

## Repetibilidade – squeeze-flow



☐ Elevada repetibilidade: bom procedimento e treinamento

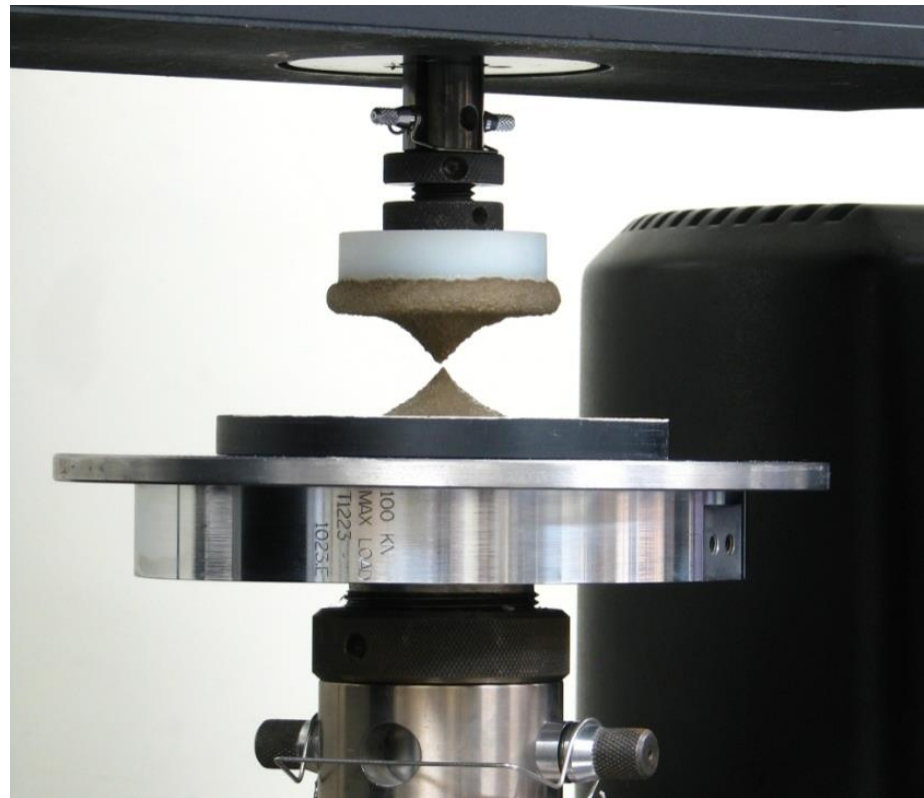
## Squeeze-flow: influência do teor de água



- Teor de água nominal
- +10%
- 10%

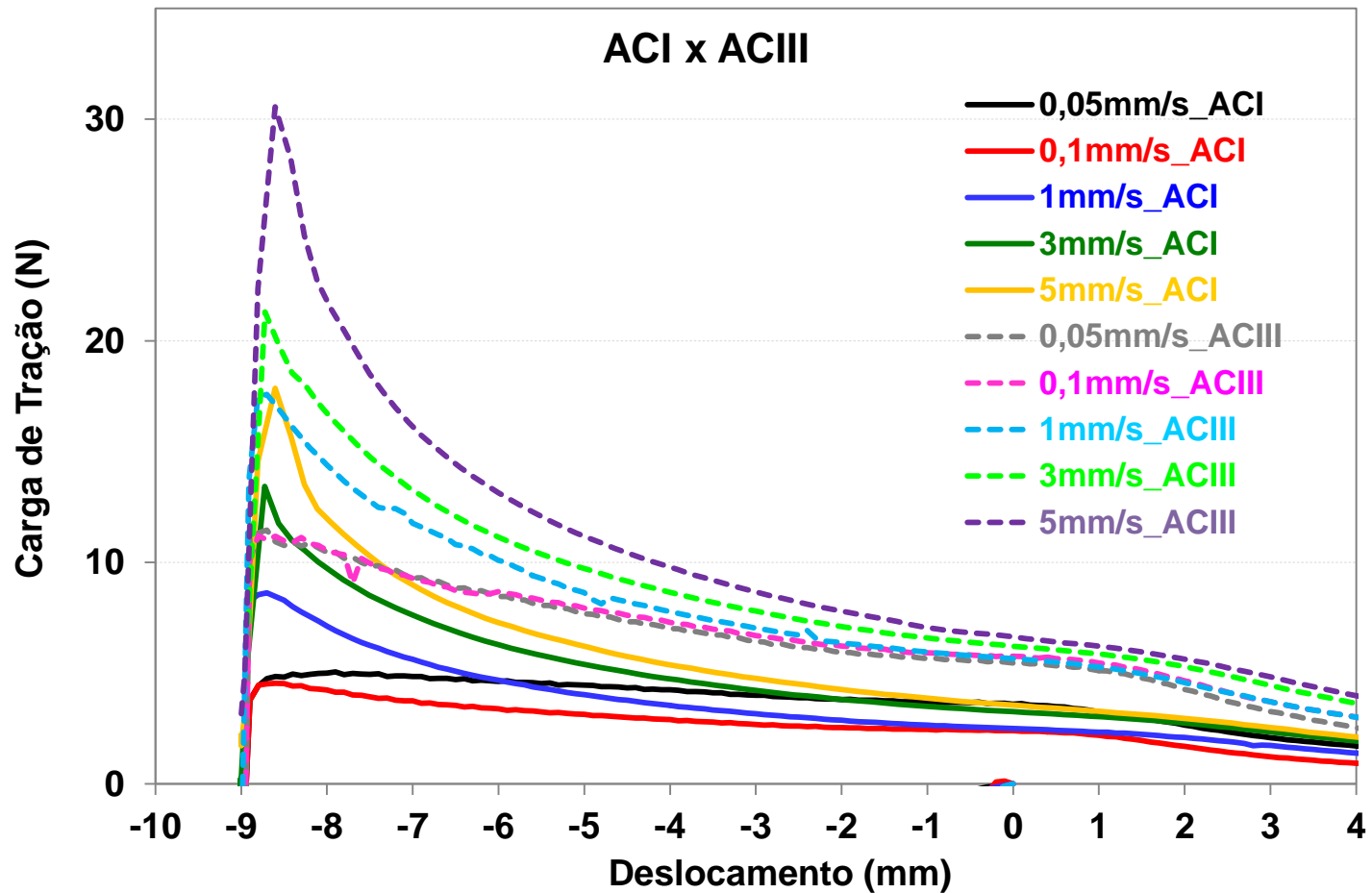
- Criação de faixas de comportamento ótimo para aplicação
- Ferramenta para desenvolvimento de produtos e controle de processo

## Pullout-flow



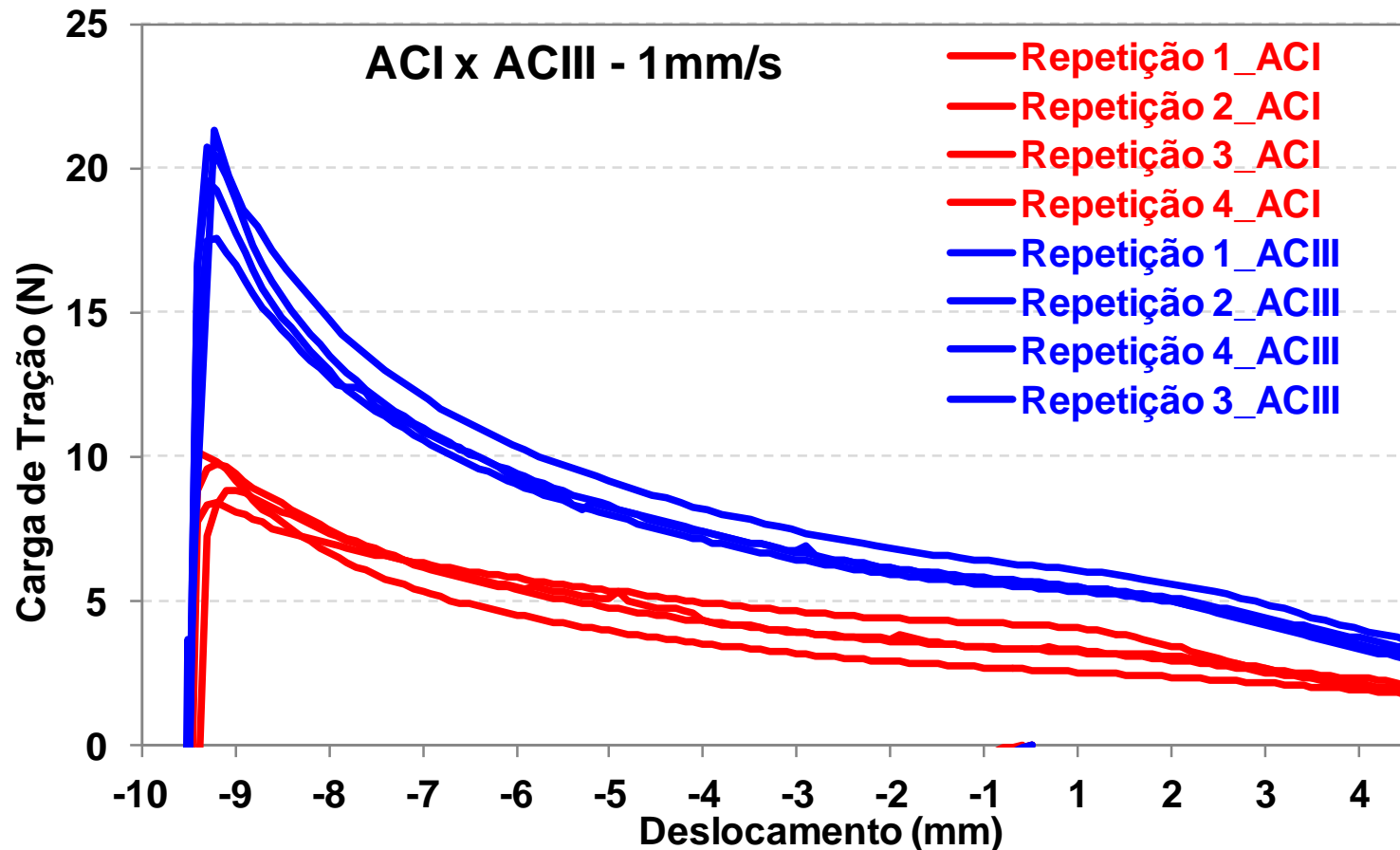
- ❑ Kudo, E.K. Caracterização reológica de argamassas colantes. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. 2012, 147p.

## Pullout-flow: ACI vs ACIII



□ Kudo, E.K. Caracterização reológica de argamassas colantes. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. 2012, 147p.

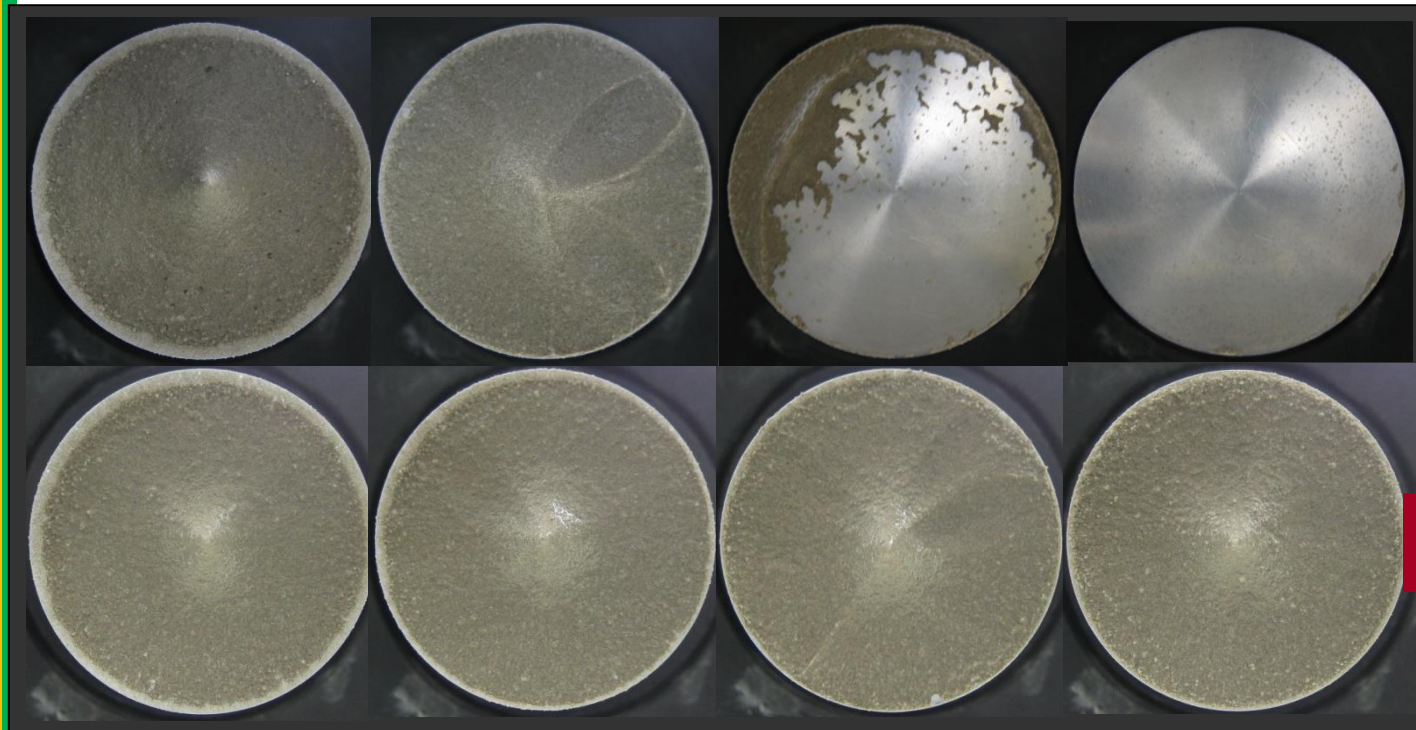
## Repetibilidade – pullout-flow



☐ Elevada repetibilidade: bom procedimento e treinamento

## Pullout-flow

Punção após o ensaio



película

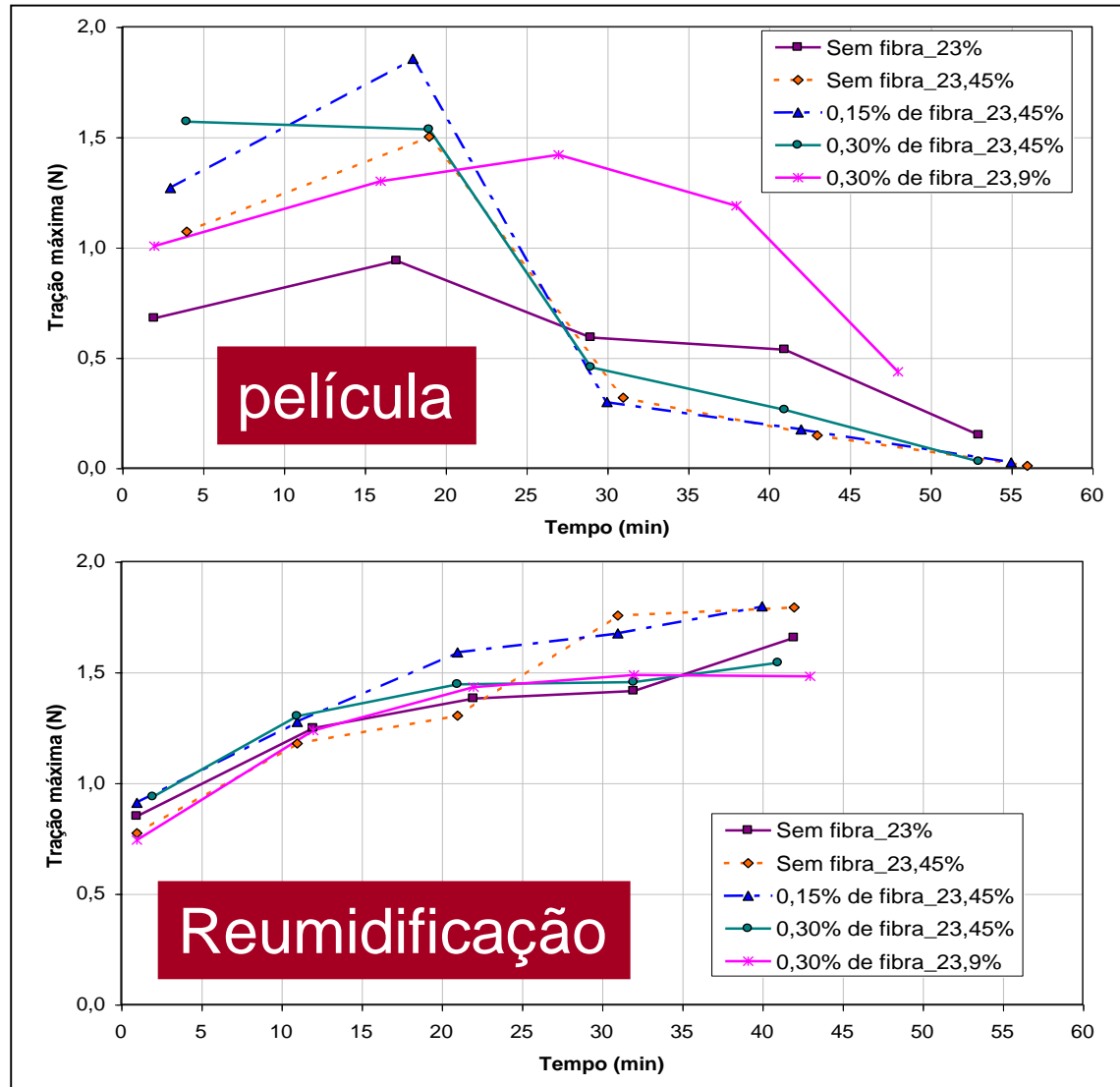
Reumidificação



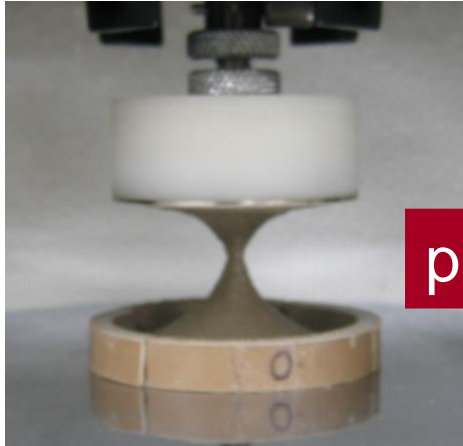
tempo



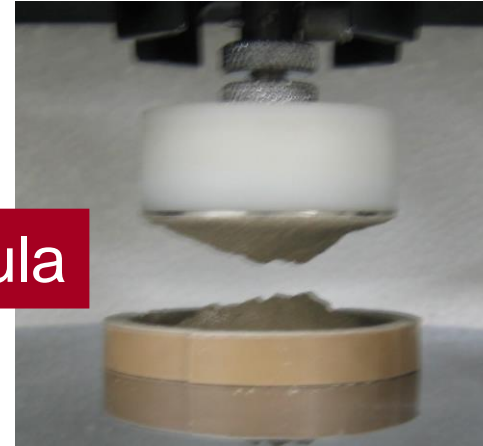
## Pullout-flow



## Pullout-flow



(Após a mistura)

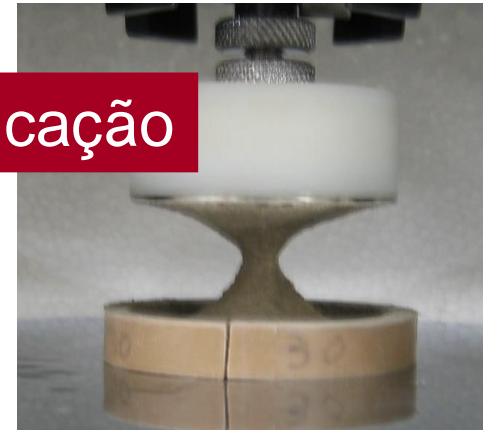


(Início da formação de "película")

película



(3 min após umidificação)



(18 min após umidificação)

Reumidificação

- ❑ ANTUNES, R. P. N. Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.
- ❑ ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Influência da seqüência de mistura nas propriedades reológicas de argamassas avaliada por squeeze-flow. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI, In: Anais, ANTAC, Florianópolis, 2005. p 158-179.
- ❑ CARDOSO, F. A.; AGOPYAN, A.K; CARBONE, C.; JOHN, V.M.; PILEGGI, R.G. Squeeze flow as a tool for developing optimized gypsum plasters. Construction and Building Materials 23 (2009) p. 1349–1353.
- ❑ CARDOSO, F.A.; JOHN, V.M.; PILEGGI, R.G. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. Cement and Concrete Research, v. 39, p. 748-753, 2009.
- ❑ CARDOSO, F.A.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V.M. Caracterização reológica de argamassas através do método de squeeze-flow. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI, In: Anais, ANTAC, Florianópolis p 121-143, 2005.
- ❑ CARDOSO, F.A.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V.M.; Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 2010. <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF2010/BT545.pdf>
- ❑ CARDOSO, F.A. ; CAMPORA, F. L. ; PILEGGI, R. G. ; JOHN, V. M. . Aplicabilidade de argamassas de revestimento: avaliação empírica e comportamento reológico por squeeze-flow. In: Actas do 3º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa : APFAC, 2010.

- ❑ ENGMANN, J.; SERVAIS, C.; BURBIDGE, A. S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluids Mechanics* 132, p. 1-27, 2005.
- ❑ KOLENDA F.; RETANA, P.; RACINEUX, G.; POITOU, A. Identification of rheological parameters by the squeezing test. *Powder Technology*, v. 130, 2003, p. 56– 62.
- ❑ LOFRANO, F. C.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Influência da rugosidade das placas na caracterização reológica de argamassas por squeeze-flow. In: anais eletrônicos do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (VIII SBTA), Curitiba (2009).
- ❑ MIN, B. H.; ERWIN, L.; JENNINGS, H. M. Rheological behavior of fresh cement paste as measured by squeeze flow. *Journal of Materials Science* 29, p. 1374-1381, 1994.
- ❑ ÖZKAN, N.; OYSU, C.; BRISCOE, B. J.; AYDIN, I. Rheological Analysis of Ceramic Pastes. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 19, 1999, p. 2883-2891.
- ❑ PILEGGI, R.G.; BETIOLI, A.M.; CARDOSO, F.A.; JOHN, V.M; Extended rheological characterization of cement pastes: Squeeze flow plus rotational rheometry – In: anais eletrônicos do 12th International Congress on the Chemistry of Cement, Montreal – Canadá, 2007.
- ❑ STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering. Freeman Press, USA, 1996.
- ❑ TOUTOU, Z.; ROUSSEL, N.; LANOS, C. The squeezing test: a tool to identify firm cement-based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability. *Cement and Concrete Research*, 35, 2005. p. 1891– 1899.