

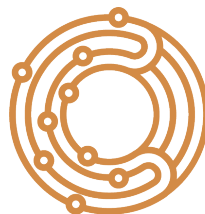
**9º CONGRESSO DA INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO**

**22 a 24 de Outubro 2024**

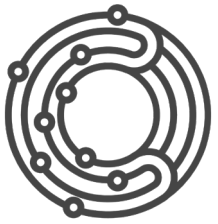
# **REAPROVEITAMENTO DE CAL DE FILTRO EM MASSAS DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

**Natã Ferraz, Suelen Nastri, Suelen Zenatti, Luciano  
Silva e Fábio Melchiades**

**24 de Outubro de 2024**



**CRC**  
centro de serviços em materiais cerâmicos



# JUSTIFICATIVA



Surgimento de uma demanda global por eficiência energética e sustentabilidade;



A indústria cerâmica brasileira é sustentável:

- Produção majoritariamente realizada por Via Seca;
- Baixa espessura dos produtos fabricados;
- Ciclo de queima rápido;
- Matérias-primas se deslocam por distâncias baixas.



A eficiência energética do processo de fabricação de cerâmicas já chegou no limite, desta maneira, apenas processos de caráter inovador podem trazer novos ganhos significativos de eficácia.



# OBJETIVO GERAL



Desenvolvimento de produto BIII (revestimento de piso ou parede) pelo método via seca a partir de uma massa típica de produto BIIb e cal de filtro



+ Cal de Filtro →

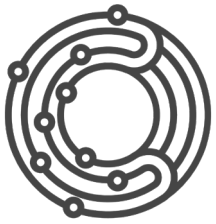


## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Reaproveitamento da cal de filtro – economia circular;

Diminuição do consumo de gás;

Ganho de produtividade.



# O GRUPO BIII

Tabela I. Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com a norma NBR 13.006

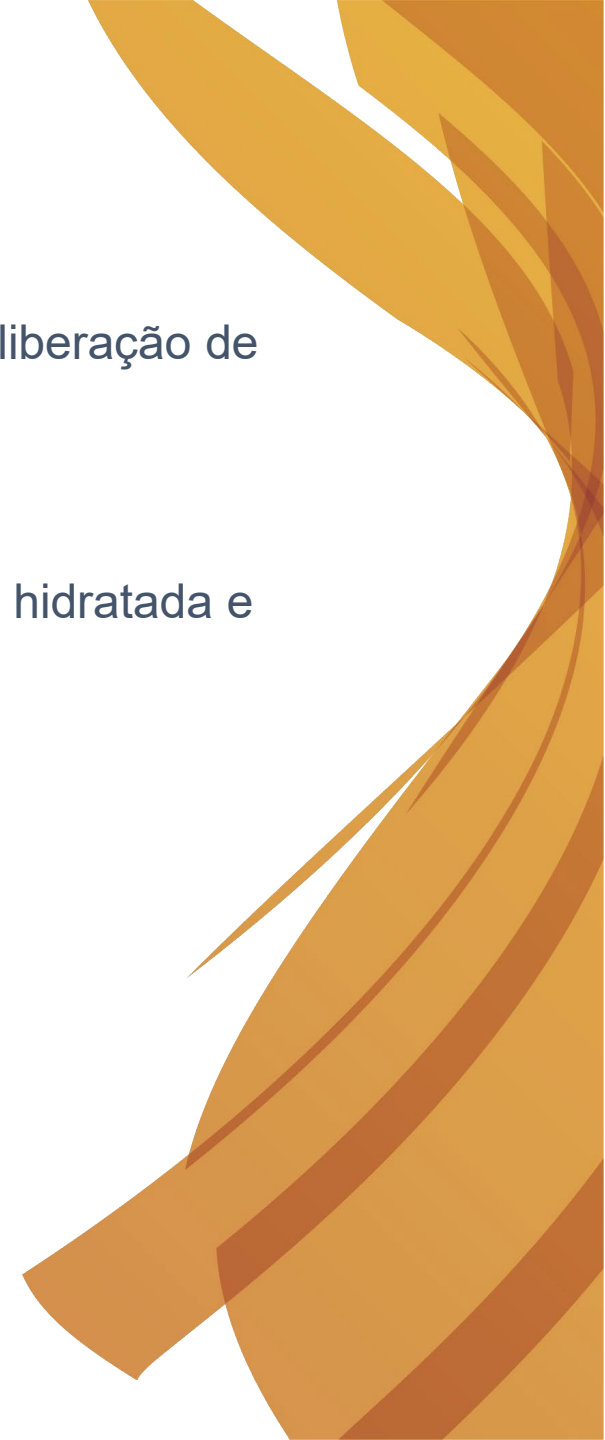
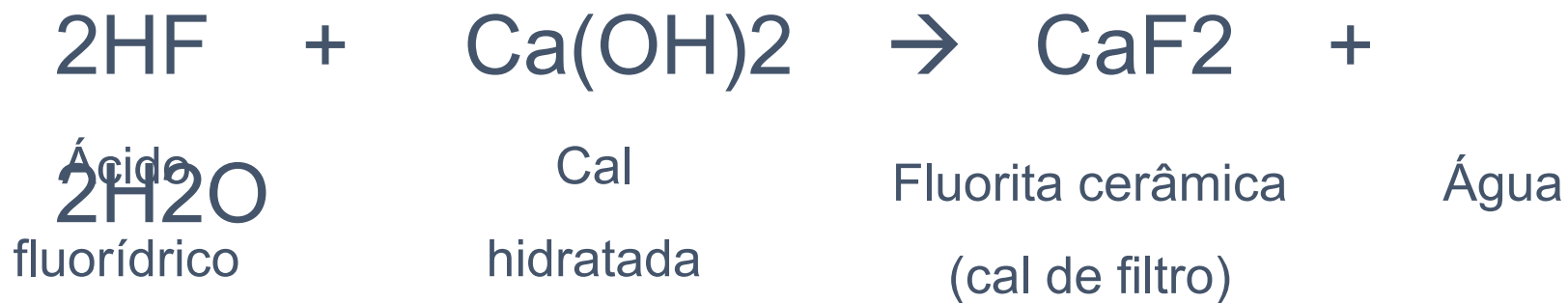
Conformação	Grupo I $E_v \leq 3\%$	Grupo II <sub>a</sub> $3 < E_v \leq 6\%$	Grupo II <sub>b</sub> $6 < E_v \leq 10\%$	Grupo III $E_v > 10\%$
A Extrudada	Grupo AI <sub>a</sub> $E_v \leq 0,5\%$ (ver Anexo M)	Grupo AII <sub>a-1</sub> <sup>a</sup> (ver Anexo B)	Grupo AII <sub>b-1</sub> <sup>a</sup> (ver Anexo D)	Grupo AIII (ver Anexo F)
	Grupo AI <sub>b</sub> $0,5 < E_v \leq 3\%$ (ver Anexo A)	Grupo AII <sub>a-2</sub> <sup>a</sup> (ver Anexo C)	Grupo AII <sub>b-2</sub> <sup>a</sup> (ver Anexo E)	
B Prensada a seco	Grupo BI <sub>a</sub> $E_v \leq 0,5\%$ (ver Anexo G)	Grupo BII <sub>a</sub> (ver Anexo J)	Grupo BII <sub>b</sub> (ver Anexo K)	Grupo BIII <sup>b</sup> (ver Anexo L)
	Grupo BI <sub>b</sub> $0,5 < E_v \leq 3\%$ (ver Anexo H)			

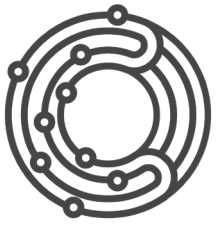
Características técnicas		BIII Prensado
Absorção de água (%)		> 10
Módulo de ruptura à flexão (N/mm <sup>2</sup> )	Espessura $\geq 7,5\text{mm}$	$\geq 12$
	Espessura $< 7,5\text{mm}$	$\geq 15$
Expansão por umidade (mm/m)		$\leq 0,6$



# CAL DE FILTRO

- Resíduo industrial proveniente de filtros que utilizam cal hidratada para controlar a liberação de flúor;
- Produto da reação entre o ácido fluorídrico e a cal hidratada;
- A cal hidratada é administrada em excesso, desta forma, a mistura final contém cal hidratada e cal de filtro





# O PROCESSO

Via Seca



Consumo de Gás 40% Menor

Baixa emissão de CO2

Eficiência energética



Processos  
de  
produção.

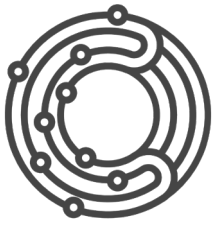


Via Úmida

Maior consumo de água (atomização)

Maior consumo de energia

Alta emissão de CO2



# INFLUÊNCIA DO PROCESSO

## A fabricação de

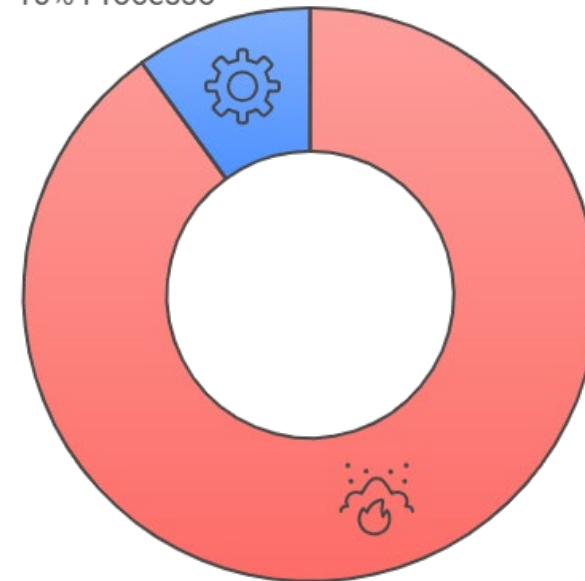
### Monoprososa

- Uma massa de Monoprososa emite aproximadamente **320 Kg CO<sub>2</sub> / ton** de produto fabricado;
  - Aproximadamente 40% a mais que a média dos demais revestimentos fabricados no Brasil;
- O processo de atomização representa cerca de 35% do consumo de gás natural;
- Altos teores de carbonatos contribuem para maior emissão.

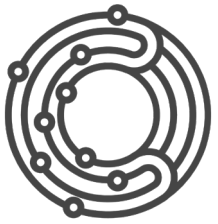


## Emissões de CO<sub>2</sub>

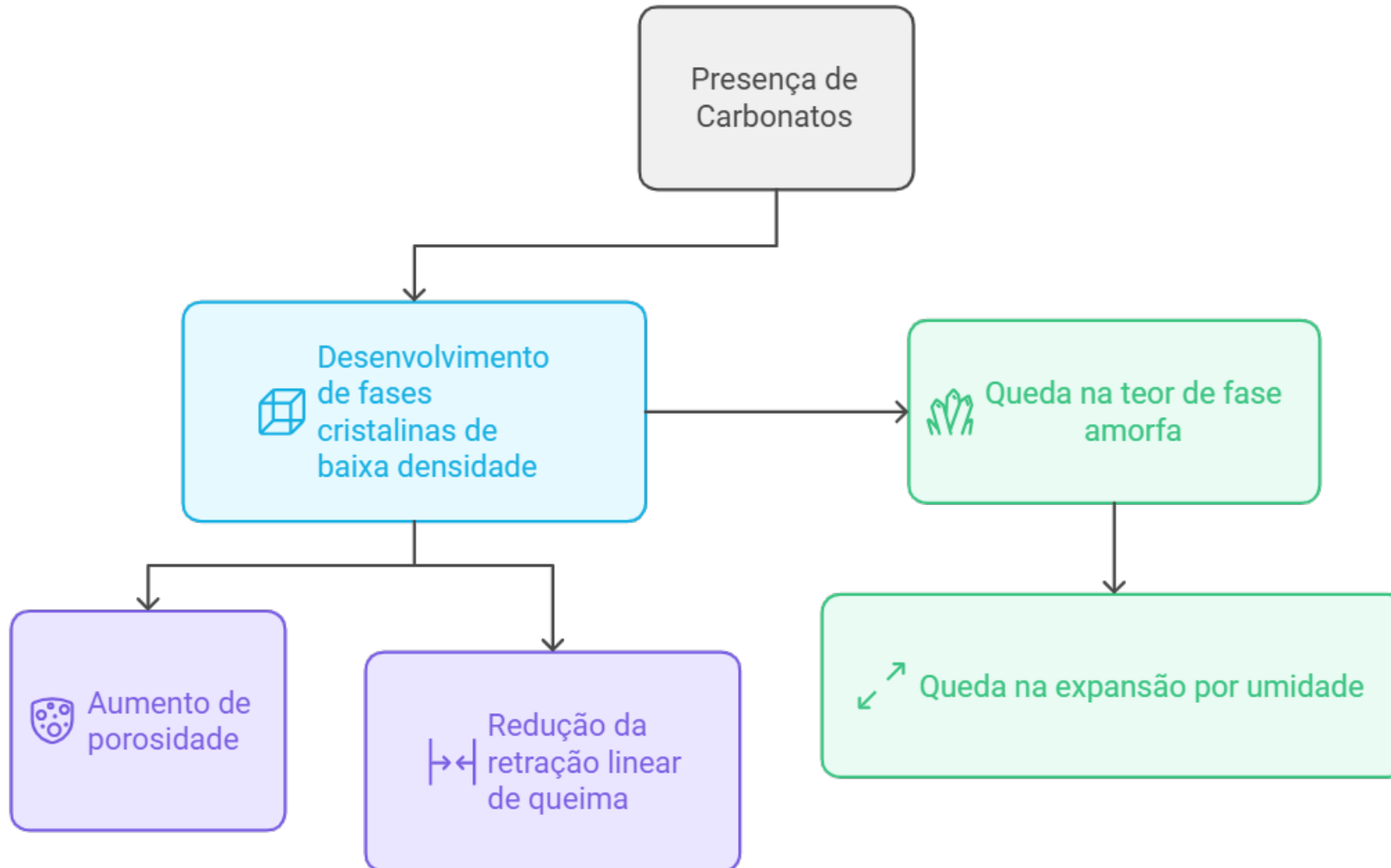
10% Processo

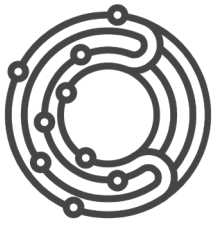


90% Combustão



# A FUNÇÃO DOS CARBONATOS





# A FUNÇÃO DOS CARBONATOS

Formação de Metacaulinita



500°C

Decomposição dos carbonatos



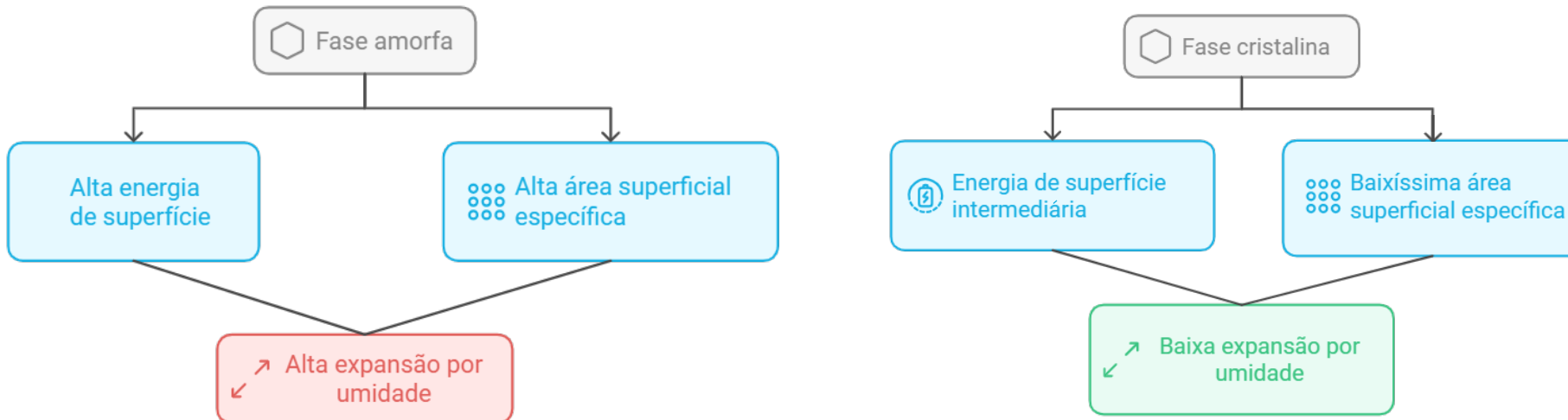
850°C

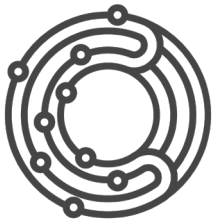
Formação de fases cristalinas



1000°C

Temperatura °C





# O PROJETO - METODOLOGIA

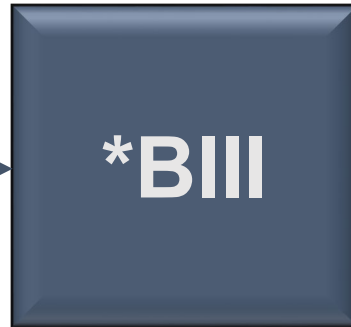
- O trabalho foi realizado tendo como base uma massa típica de produto Bllb, que foi avaliada em sua condição padrão, com diminuição de teor de resíduo e com acréscimo de 2, 4 e 6% de cal de filtro.
- **Moagem a seco** ajustando-se o tempo para atingir resíduo de 30% na massa padrão e 6 a 8% nas massas testes (malha ABNT #230 - abertura de 63  $\mu\text{m}$ );
- Granulação do pó obtido com 10% de água e conformação de corpos de prova a 180 Kgf/cm<sup>2</sup> por prensagem;
- Determinação da **densidade aparente** (Dap) após secagem;
- Determinação do **módulo de ruptura a flexão** (MRF – resistência mecânica) após secagem;
- **Queima em ciclo térmico de 20 minutos** de duração em forno a rolos de laboratório em diferentes temperaturas;
- Medidas de **absorção de água** realizadas a vácuo conforme NBR ISO 10545-3;
- **Retração linear de queima** determinada a partir da variação do comprimento medida com paquímetro;
- **Expansão por umidade** pelo método da autoclave com hidratação forçada a 5 atm por 2 horas;
- **Coeficiente de dilatação térmica** ( $\alpha_{25-325}$ ) na faixa de temperatura de 25 a 325°C obtido em



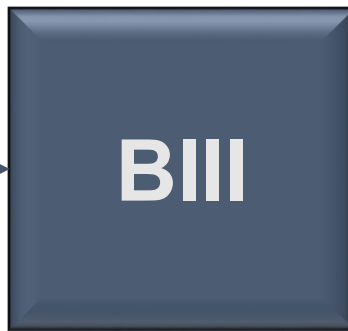
# O PROJETO - METODOLOGIA



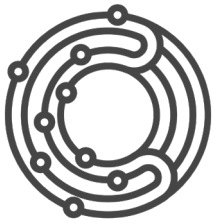
- Alto teor de resíduo;
- Absorção de água ~ 7%.



- BIIb com baixo teor de resíduo;
- Absorção de água > 10%.



- BIIb com baixo teor de resíduo;
- Uso de cal de filtro;
- Absorção de água > 10%.

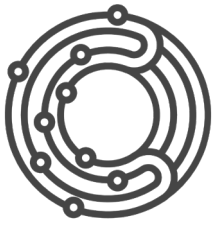


# RESULTADOS

- Diminuição do resíduo para ganho de fusibilidade e maior intimidade de mistura das matérias-primas.

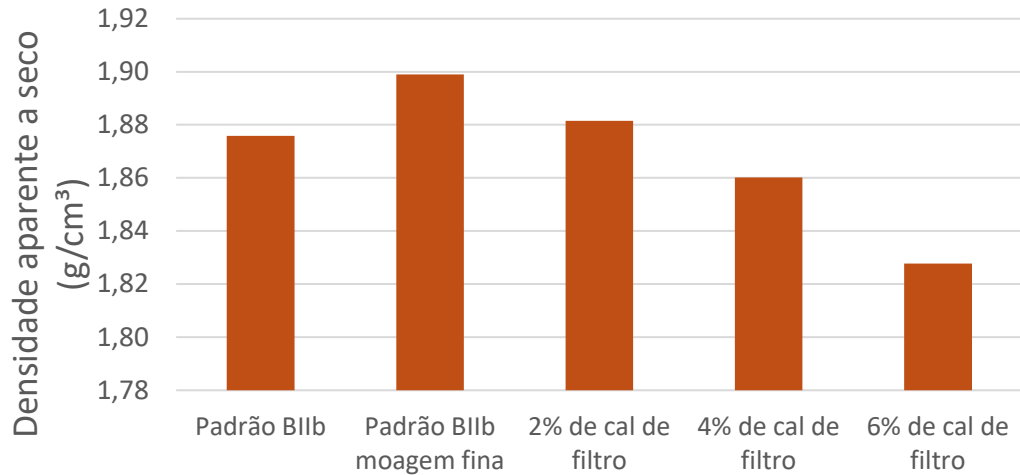
Matérias-primas	Padrão Bllb	Padrão Bllb moagem fina	2% de cal de filtro	4% de cal de filtro	6% de cal de filtro
Massa Padrão Bllb	100%	100%	98	96	94
Cal de filtro	--	--	2	4	6

Parâmetro	Padrão Bllb	Padrão Bllb moagem fina	2% de cal	4% de cal	6% de cal
Resíduo > 63 µm (%)	29,3	7,2	7,9	6,1	7,1

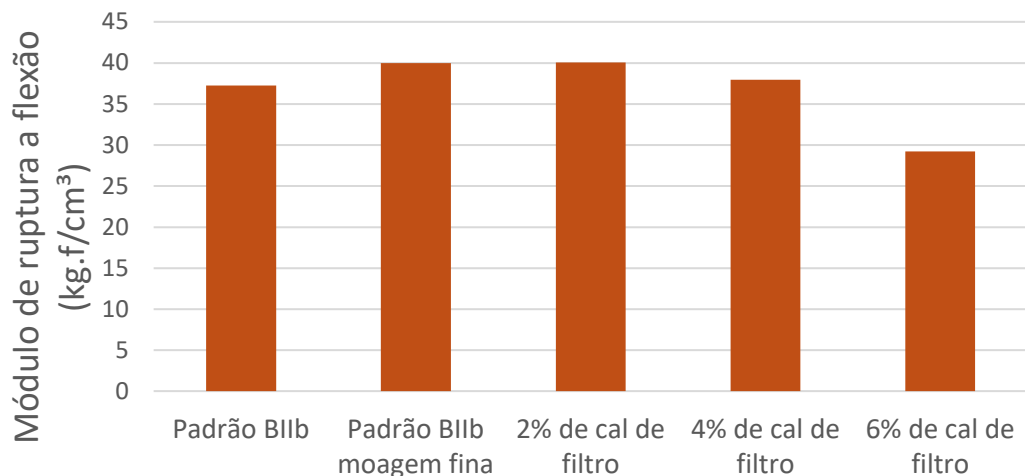


# RESULTADOS OBTIDOS ANTES DA QUEIMA

Compactação a seco

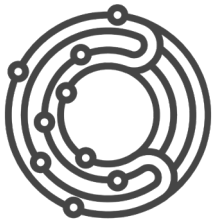


Resistência mecânica a seco



Formulação	Densidade aparente a seco (g/cm³)	Módulo de ruptura a flexão (kg.f/cm²)
Padrão BIIb	1,88	37
Padrão BIIb moagem fina	1,90	40
2% de cal de filtro	1,88	40
4% de cal de filtro	1,86	38
6% de cal de filtro	1,83	29

- O aporte de cal de filtro resultou em queda na compactação das massas, essa queda é mais pronunciada na massa com 6% de cal de filtro
- No caso das massas com 2 e 4% de cal de filtro, a queda de compactação não afetou o desempenho mecânico. Já no caso da massa com 6% de cal de filtro, foi observada uma queda de resistência mecânica.

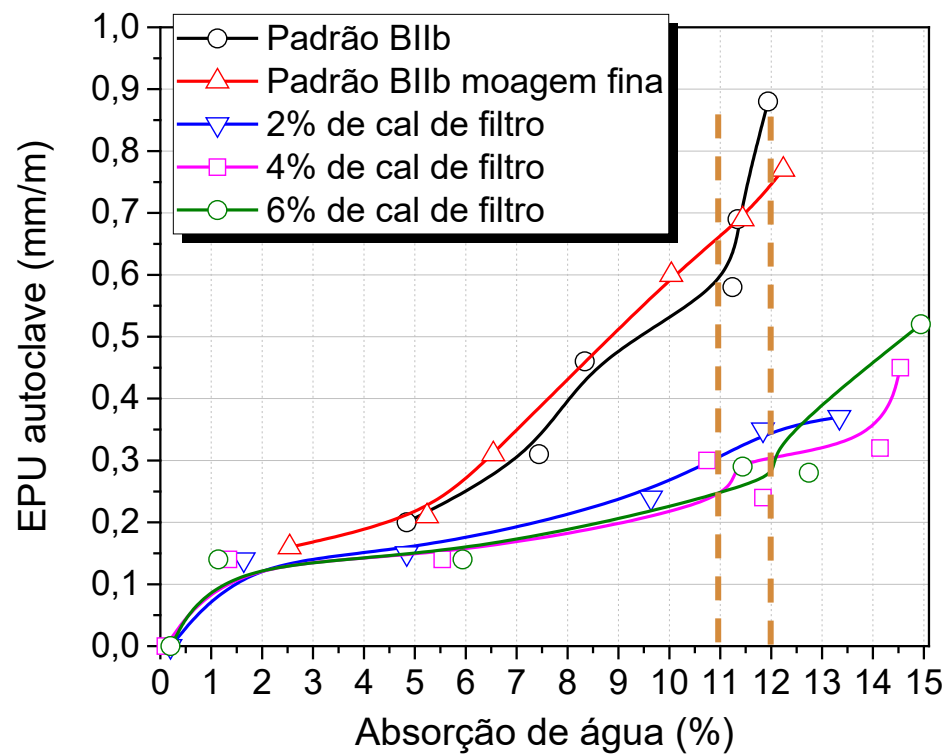


# RESULTADOS OBTIDOS APÓS QUEIMA

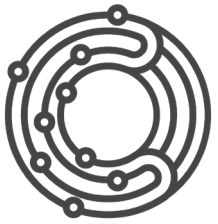
Parâmetros	Padrão Bllb Absorção de água < 10%
Temperatura de queima (°C)	1100
Absorção de água (%)	7,3
Retração linear de queima (%)	4,6
Expansão por umidade (mm/m)	0,16
Módulo de ruptura a flexão (N/mm <sup>2</sup> )	29
Coefficiente de dilatação térmica $\alpha_{25-325}$ (10 <sup>-7</sup> · °C <sup>-1</sup> )	81,7



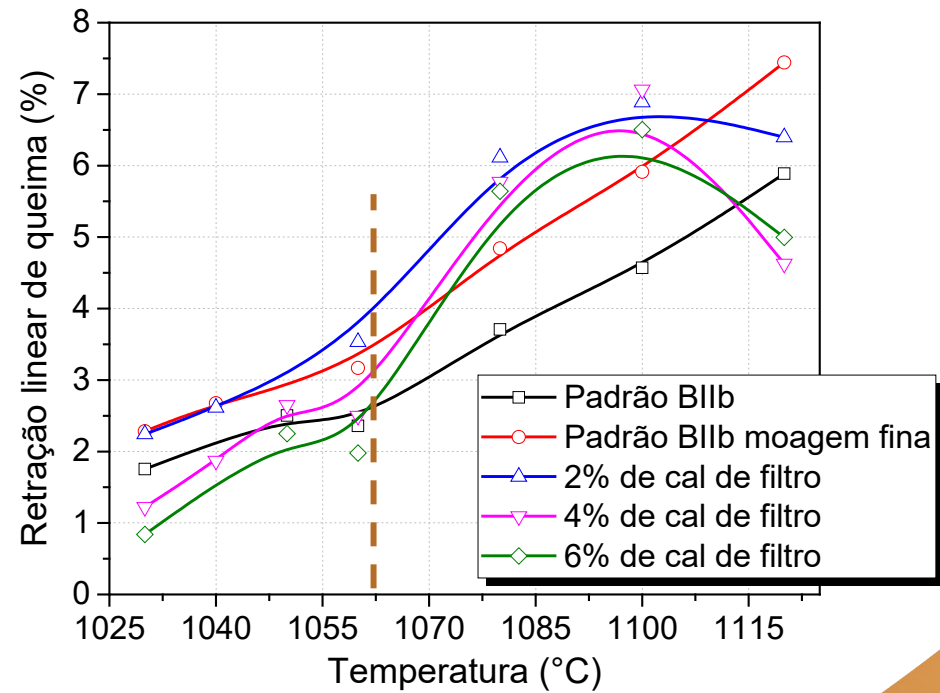
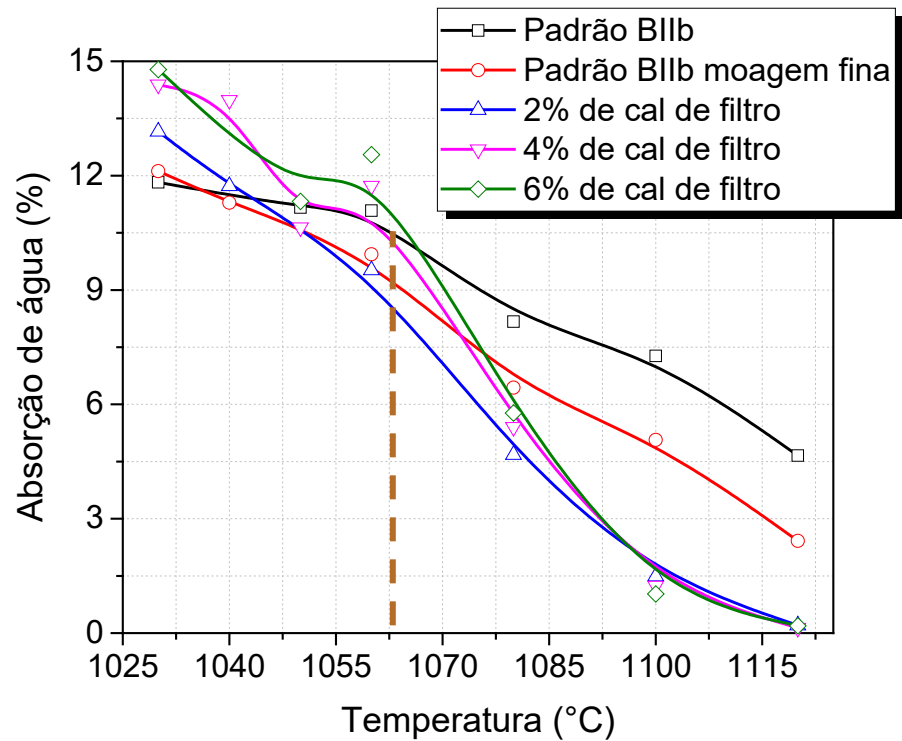
# RESULTADOS OBTIDOS APÓS QUEIMA

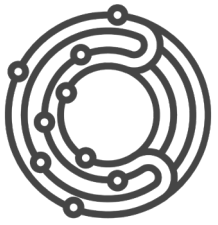


- Ganhos expressivos apenas com 2% de cal de filtro;
- A adição de 4 e 6% gerou massas com desempenho muito similar;
- Maior range de trabalho;



# RESULTADOS OBTIDOS APÓS QUEIMA





# CONCLUSÕES

- Redução do consumo de gás associado a menor temperatura de queima;
- Aproximadamente 2% de ganho de produtividade devido à queda na retração linear de queima;
- A cal de filtro tem plena capacidade de atuar como fonte de cálcio em massas cerâmicas com queima de ciclo rápido e baixa temperatura;
- O uso de cal de filtro gerou incremento significativo de fusibilidade da massa em temperaturas superiores a 1070°C. Este fenômeno está relacionado com a formação de eutéticos;
- Teores acima de 4% podem afetar a compactação e o desempenho mecânico da massa.





# CONSIDERAÇÕES

- A geração de cal de filtro é baixa, portanto, a viabilização de uso deste insumo se daria a partir da soma do rejeito de várias linhas/fornos, para abastecer apenas um forno;
- Existe ainda a possibilidade do aporte de teores inferiores a 2% de cal de filtro, ou aporte de cálcio associado a argilas calcárias da região.





HOME

SERVIÇOS

LAF

# ANÁLISES

utilizando das mais modernas técnicas  
de caracterização de materiais

Endereço: Parque Ecotecnológico Damha I. Unidade 34

CEP: 13.565-254. São Carlos, SP

# Obrigado!

Website: [crceram.com.br](http://crceram.com.br)

Fone: +55 (16) 3201 8625

E-mail: [crc@crceram.com.br](mailto:crc@crceram.com.br)