

**Nº 179360**

**Possível equivalência entre métodos volumétrico e calorimétrico para a avaliação da dinâmica do processo de hidratação de pastas de cimento Portland.**

**Equivalência entre métodos volumétrico e calorimétrico para a avaliação da dinâmica do processo de hidratação de pastas de cimento Portland**

**Martin, Ramon Valls  
Chotoli Fabiano Ferreira  
Lima, Sergio Soares**

*Palestra e Resumo apresenta no  
CONGRESSO BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS  
MATERIAIS, 25., 2024, Fortaleza.  
Pôster... 1 slide*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

**PROIBIDO REPRODUÇÃO**

# Possível equivalência entre os métodos volumétrico e calorimétrico para a avaliação da dinâmica do processo de hidratação de pastas de cimento Portland



**Martin, R. V.; Nazarre, D. J.; Chotoli F. F.; Lima, S. S.**  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

## COMPORTAMENTO DE PASTAS DE CIMENTO

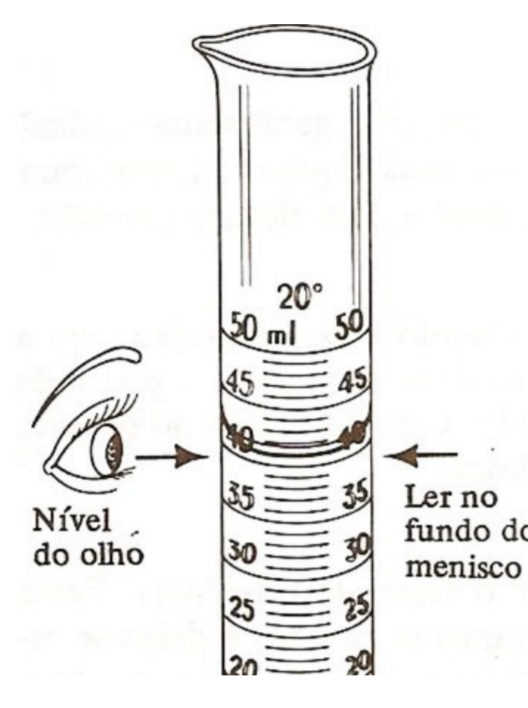
O endurecimento do cimento é resultado de uma série de reações químicas de hidratação que normalmente ocorrem com a geração de calor (reações exotérmicas) e com a variação de volume. A evolução no tempo destas reações pode ocorrer de forma bem distinta dependendo da composição do cimento e da adição de substâncias usadas como retardantes, plastificantes, impermeabilizantes. Estes aditivos alteram as características do concreto ou argamassa, tanto no estado fresco, como no endurecido. O estudo da dinâmica destes processos é importante para garantir a otimização de propriedades físicas como resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade. Estas reações químicas podem ainda continuar ativas por décadas.

## EXEMPLOS DE ENSAIOS COM PASTAS DE CIMENTO

**ENDURECIMENTO:** Medição dos tempos de pega com agulha de Vicat.

**HIDRATAÇÃO:** Medição do calor de hidratação por calorimetria. São utilizados equipamentos como o TAM Air (calorímetro isotérmico).

**COMPORTAMENTO VOLUMÉTRICO:** Medição da retração ou expansão da pasta.



Este ensaio é pouco utilizado pela ausência de equipamentos específicos e dificuldade de medição. Neste método, a amostra da pasta é submersa em água num recipiente, cujo nível é monitorado através da leitura do menisco numa coluna graduada.

## PRIMEIRO DESAFIO DIGITAL DO IPT

A necessidade da implementação do ensaio volumétrico de forma automatizada com a monitoração em tempo real do nível de líquido com resolução de microlitros e durante longos períodos de tempo originou um desafio tecnológico.

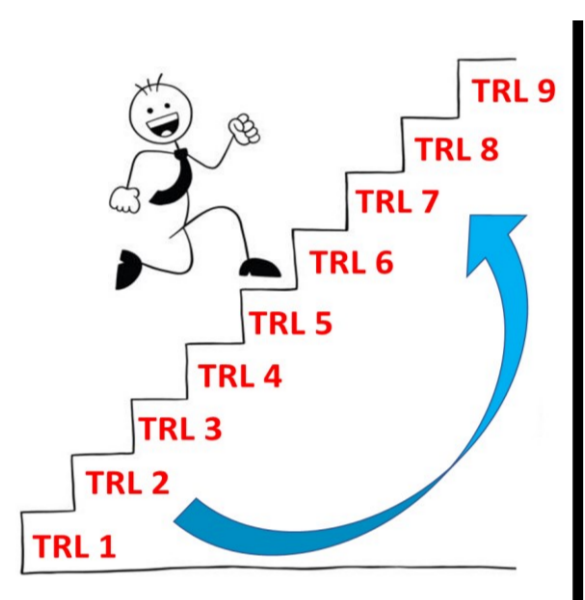
## DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A implantação da solução consistiu na materialização de um sistema de medição automatizado e de fácil utilização batizado de **MEDUSA: Toda amostra observada transforma-se em "pedra"!** O projeto, a fabricação e a montagem do equipamento foram totalmente realizados no IPT.

## CONFIGURAÇÃO FINAL

- 6 SENSORES DE ALTERAÇÕES VOLUMÉTRICAS para medir a retração ou expansão da pasta de cimento, utilizando uma configuração inédita, que é baseada em transdutores magnéticos, permitindo resolução de frações de microlitros.
- 2 CALORÍMETROS de alta sensibilidade para determinação do calor de hidratação e monitoração dos parâmetros térmicos, operando simultaneamente com os sensores de volume.
- Banho isotérmico e chassis com todos circuitos eletrônicos de controle, medição e aquisição de dados para operação autônoma e confiável durante ensaios prolongados (semanas ou meses).
- Computador com software de aquisição e tratamento de dados desenvolvido especificamente para esta aplicação com visualização do ensaio em tempo real.

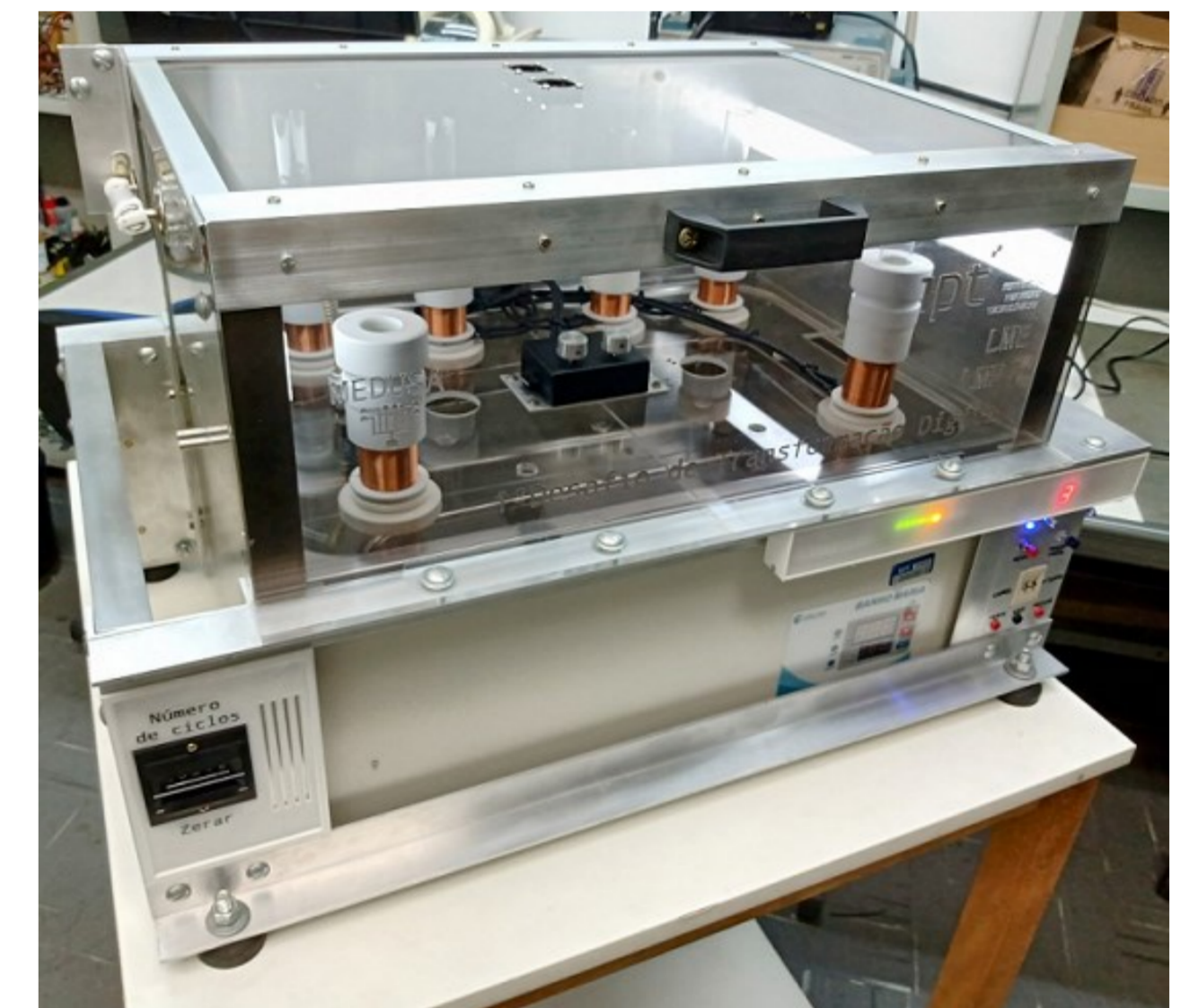
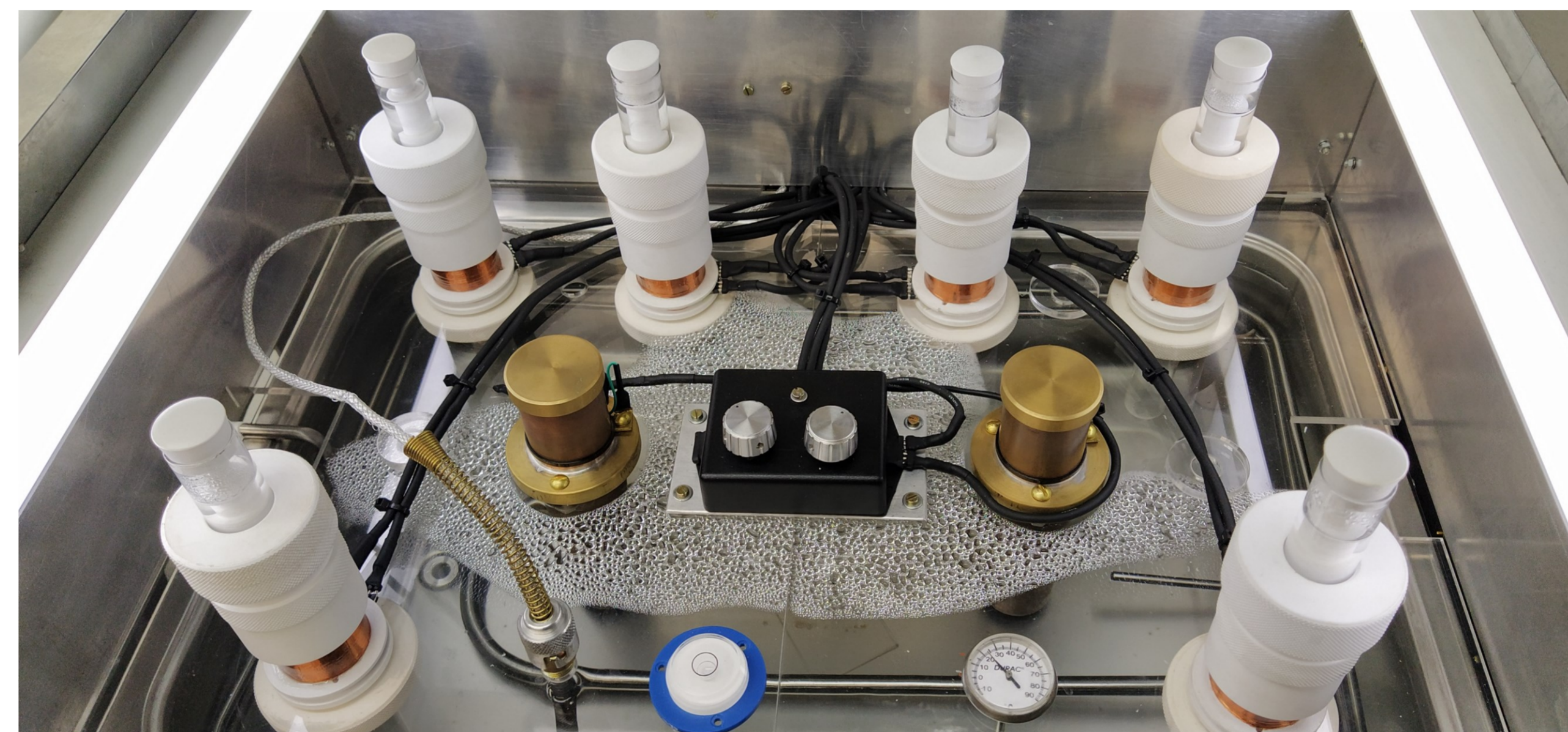
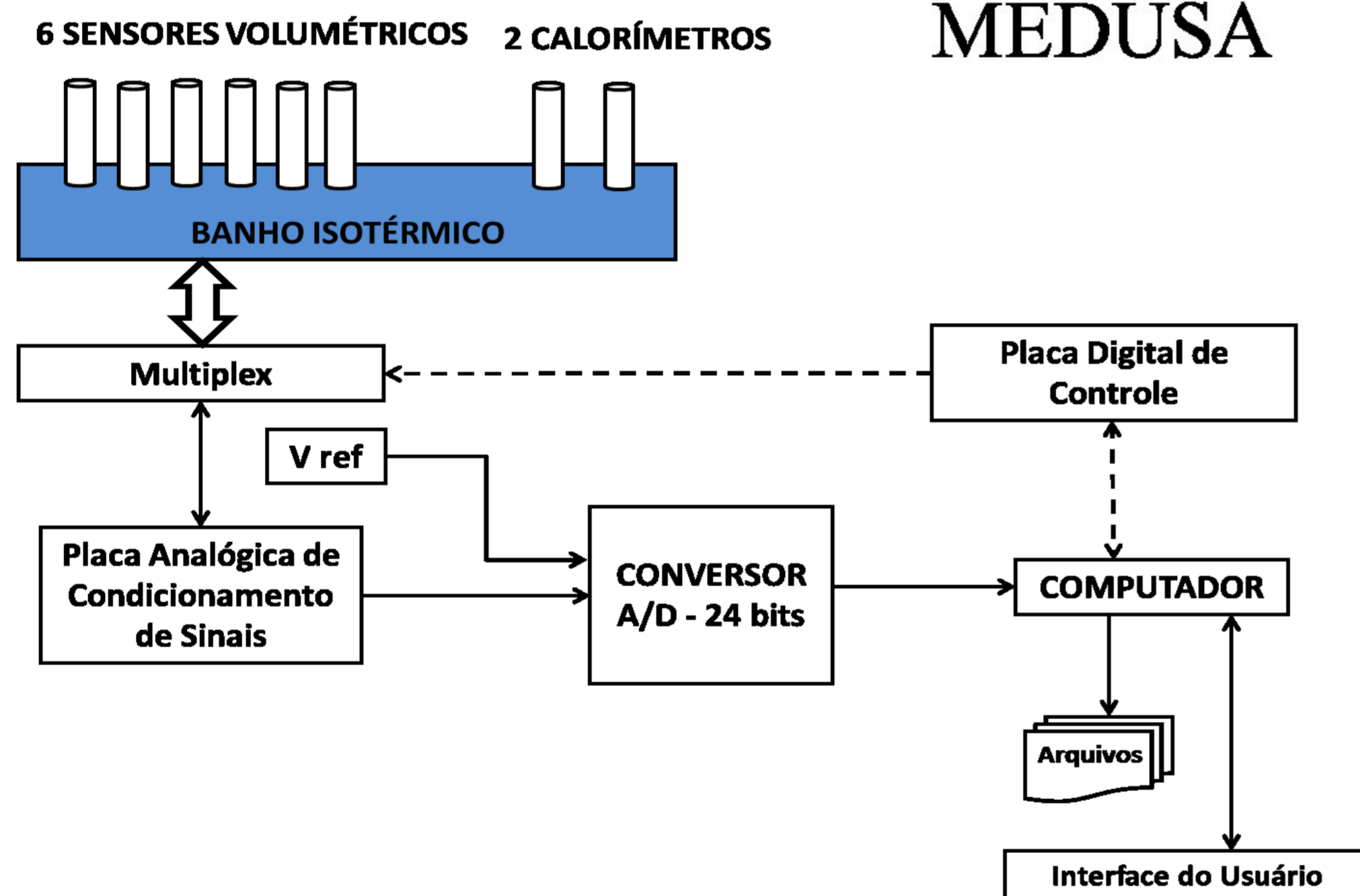
## IDEIA



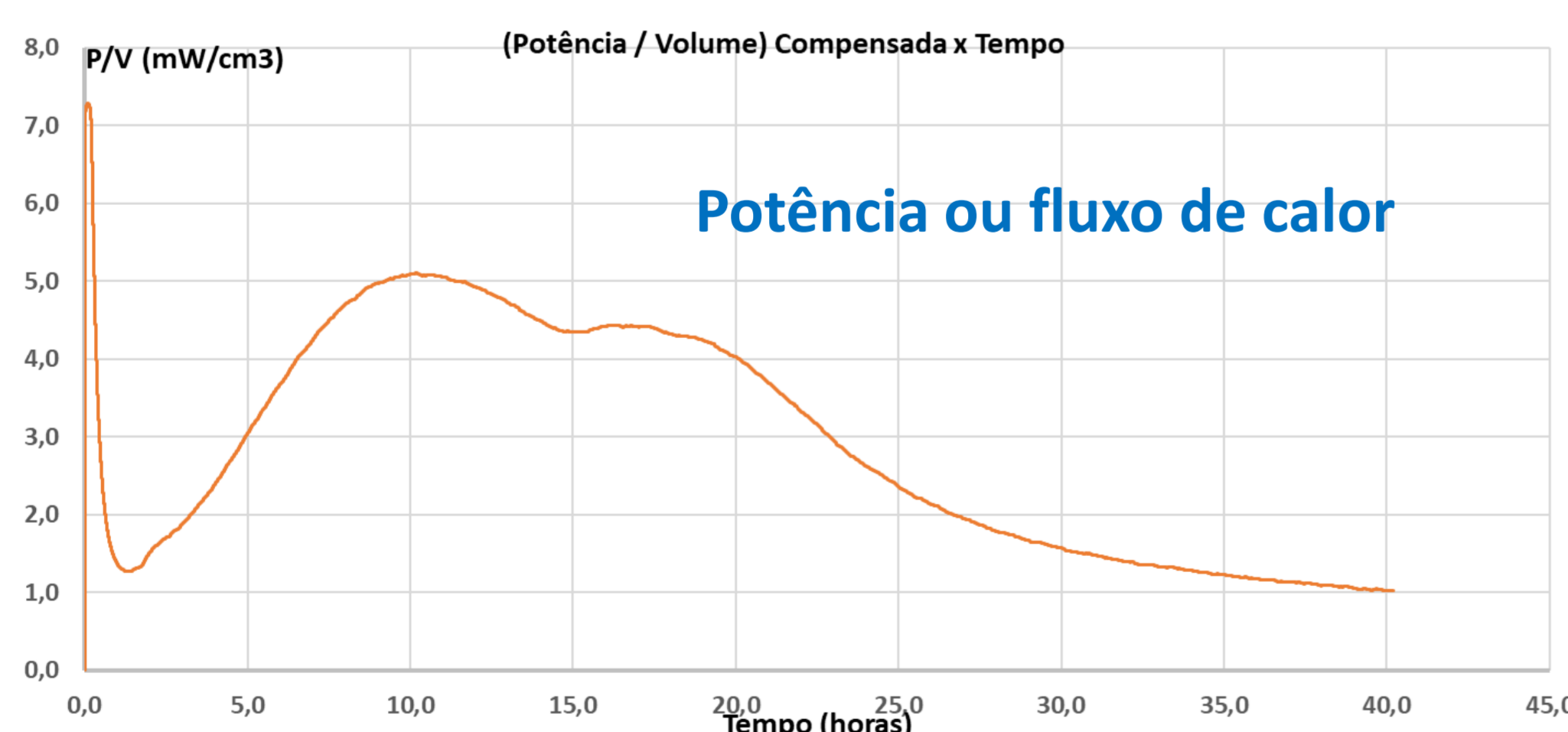
## PRODUTO



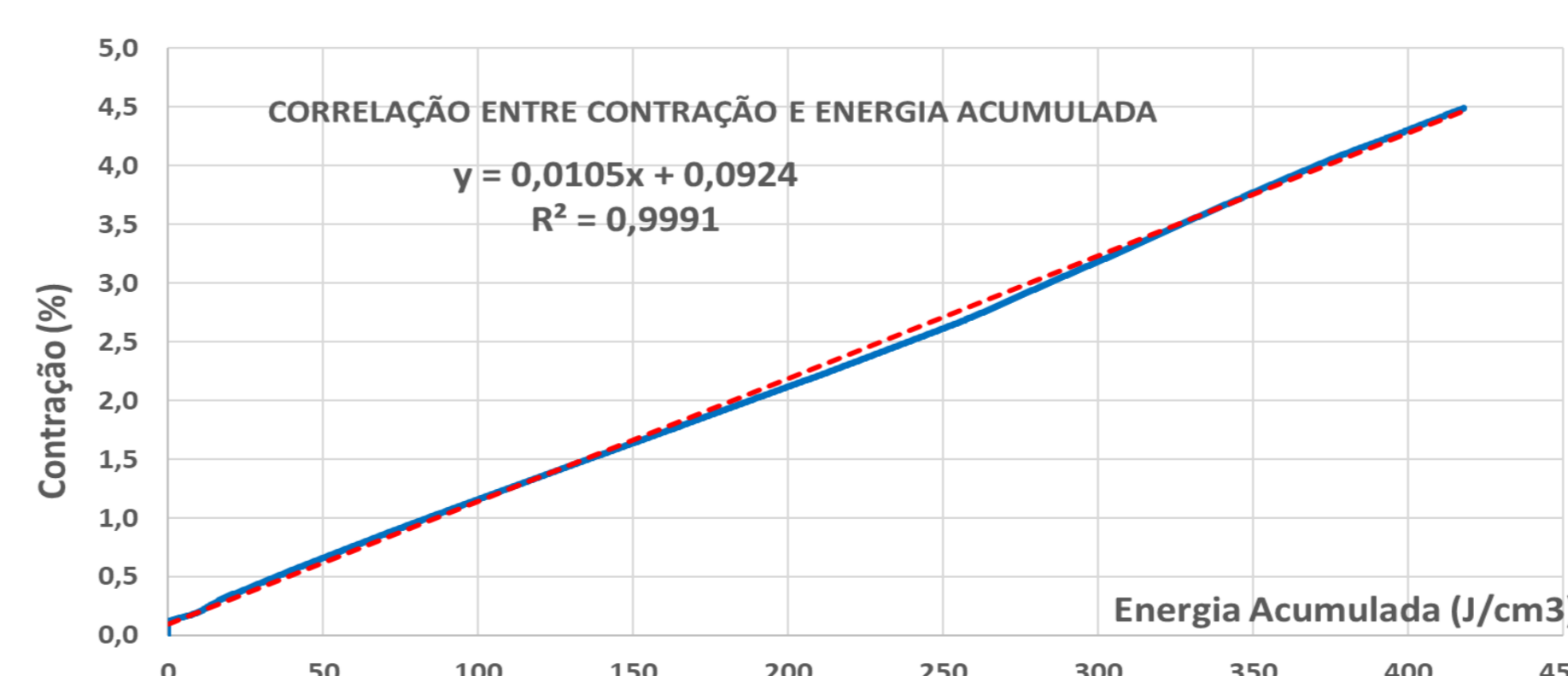
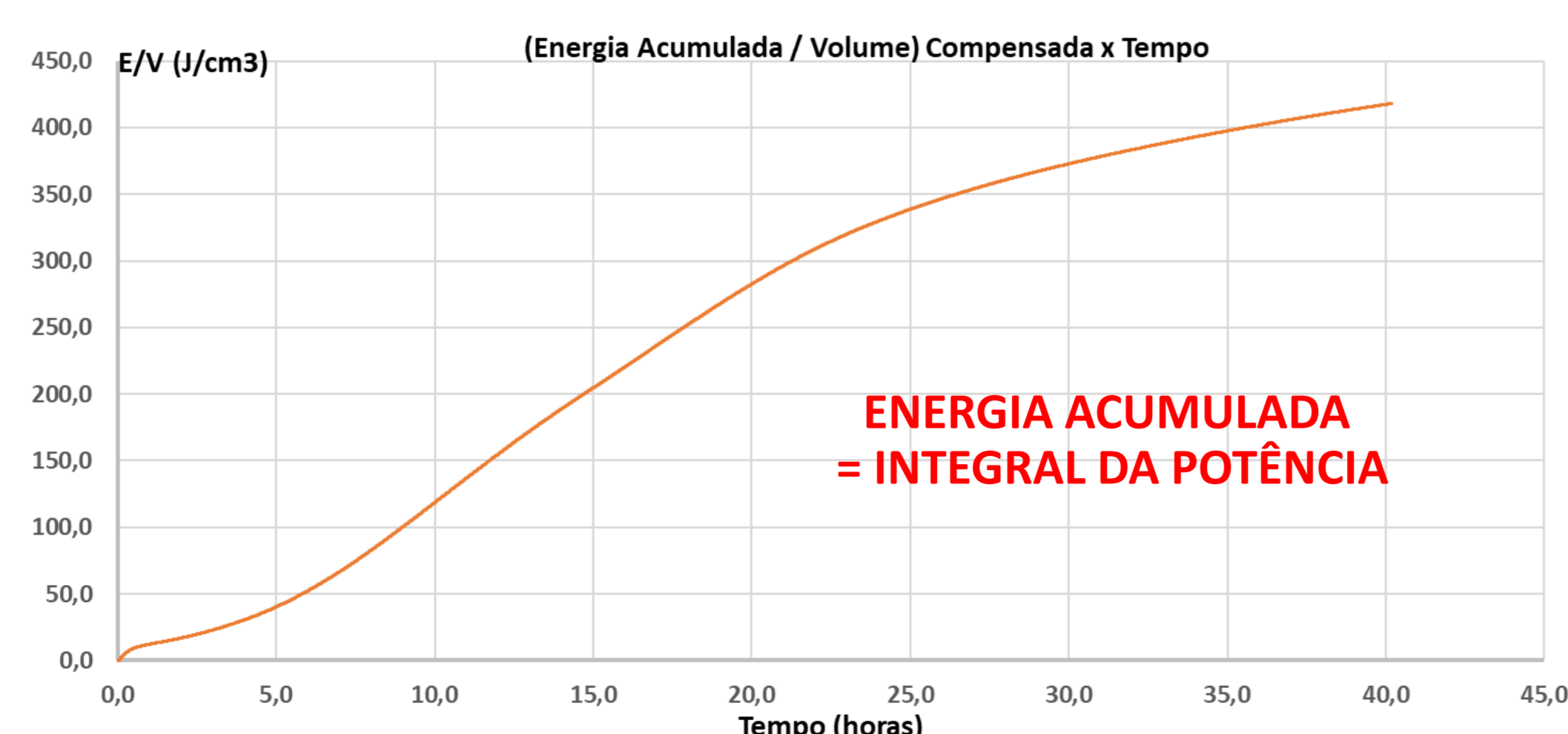
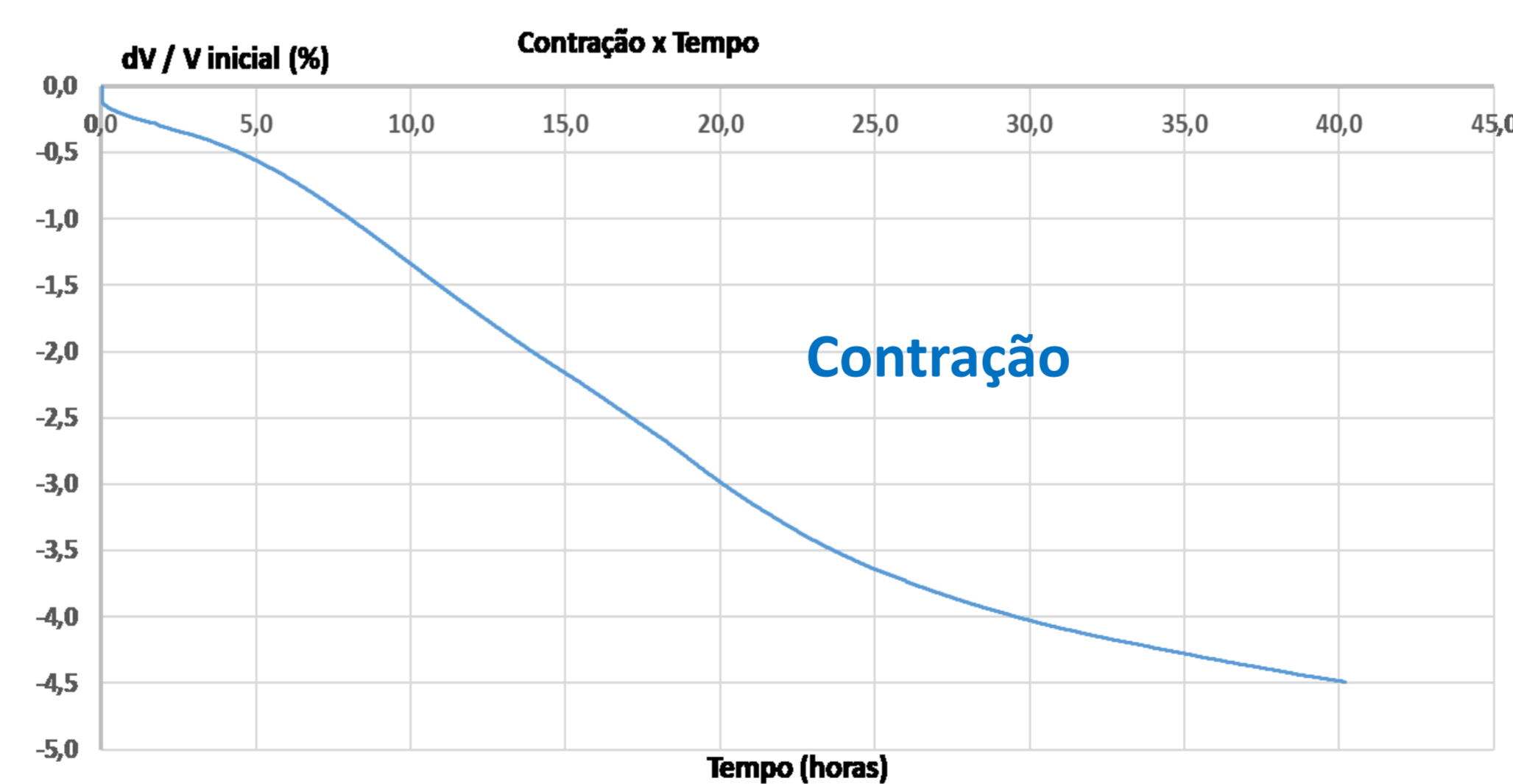
MEDUSA



## MEDIÇÃO PELO CALORÍMETRO



## MEDIÇÃO PELO SENSOR VOLUMÉTRICO



## COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

O cimento é provavelmente o material mais produzido e consumido pela humanidade. Testes de novas formulações e segurança de uso em aplicações críticas dependem da sua correta caracterização e entendimento dos processos envolvidos. Este instrumento inovador permitirá medir a evolução das propriedades de pastas de cimento em tempo real e de forma totalmente automatizada. Como primeiro resultado, nos testes com pastas de cimento Portland, surpreendentemente verificou-se uma forte correlação linear entre o calor de hidratação (integral do fluxo de calor) e a contração volumétrica da pasta durante as reações de hidratação em dois métodos totalmente distintos. Novos experimentos estão em curso em ambiente controlado para verificar se este resultado pode ser generalizado para outros tipos de pastas de cimentos e formulações.

Contato:  
Ramon Valls Martin  
ramon@ipt.br

[<< Voltar](#)

Ref.: MCoCge07-001

# Equivalência entre os métodos volumétrico e calorimétrico para a avaliação da dinâmica do processo de hidratação de pastas de cimento Portland

Apresentador: Ramon Valls Martin

Autores (Instituição): Martin, R.V.(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo); Nazarre, D.J.(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo); Chotoli, F.F.(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo); Lima, S.S.(Instituto de Pesquisas Tecnológicas);

Resumo:

O cimento é o componente ativo mais importante do concreto. Seu endurecimento é uma reação química de hidratação, exotérmica, que provoca uma contração de volume das amostras. Aditivos podem ser adicionados ao cimento para alterar a dinâmica desta reação, melhorando suas propriedades e mitigando seus problemas. Métodos normalizados são usados para monitorar a hidratação, sendo o mais comum a calorimetria de condução isotérmica, que mede o fluxo de calor

gerado em pequenas amostras da pasta do cimento. O gráfico no tempo do fluxo de calor apresenta tipicamente diversos picos, que integrados no tempo, resultam no calor total acumulado na reação. Por sua vez, o método volumétrico mede a retração da amostra normalmente submersa em água. Este método é bastante trabalhoso e sujeito a erros, pois exige leituras periódicas durante vários dias do menisco de um tubo graduado, que monitora o nível do banho. Enquanto calorímetros (Ex.: TAM Air) são ferramentas relativamente comuns na indústria cimenteira, não há no mercado instrumentos que atendam adequadamente as análises volumétricas. Neste trabalho, desenvolvemos um equipamento totalmente automatizado com esta finalidade. O equipamento realiza simultaneamente leituras de retração e fluxos de calor em diversas amostras (6 transdutores volumétricos e 2 calorímetros) com elevada resolução, em intervalos de tempo ajustáveis e praticamente sem limite de tempo máximo. Os resultados podem ser acompanhados em tempo real local ou remotamente. Tanto para a análise volumétrica, quanto para a análise calorimétrica, não há anisotropia de forma, pois as amostras são exatamente iguais: pequenos tubos de ensaio preenchidos com 25 cm<sup>3</sup> da pasta, imediatamente após o seu preparo. O sistema mede variações inferiores a 0,5 µl, indicando uma resolução de 20 ppm. As medidas iniciais apresentaram valores típicos de  $dV/V_{inicial}$  (%) em torno de 5 % de contração após 48 h do início da reação. O resultado mais interessante nesta fase inicial de operação do equipamento mostrou que o gráfico da integral no tempo do fluxo de calor, que é o calor total acumulado na reação, tem uma correlação linear com a curva de contração no tempo. As duas expressões da mesma reação, apesar de medidas através de propriedades totalmente distintas (calor e volume) apresentaram uma surpreendente correlação linear com  $R^2 = 0,999$ . Em princípio, isso indica que constantes podem ser previamente determinadas para a obtenção da contração no caso do laboratório contar com apenas um calorímetro, ou da mesma forma, os picos do fluxo de calor podem ser determinados pelo cálculo da derivada da curva de contração, se a medida for realizada apenas por transdutores volumétricos, e assim, dispensando a necessidade dos calorímetros. Novas medidas estão em curso para verificar se estas correlações podem ser generalizadas para pastas com cargas diversas de aditivos e outros tipos de cimentos e argamassas.

