



INSTITUTO TECNOLÓGICO DO RIO GRANDE DO SUL
PORTO ALEGRE

Director: Prof. João Perloti

SEPARATA N.º 6

DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR DE REFRAATÓRIOS SILICO-ALUMINOSOS NACIONAIS

pele
Químico Franklin J. Gross
Chefe da Secção de Química do ITERS

Separata da revista CERÂMICA
v. I. n.º 1. 1955.

JULHO, 1955

Dilatação térmica linear de refratários silico-aluminosos nacionais (I)

Franklin Jorge Gross, Instituto Tecnológico do Est. do Rio Grande do Sul (II)

RESUMO

No presente trabalho é determinada a dilatação térmica linear reversível de alguns refratários silico-aluminosos nacionais, notadamente dos produzidos pelas indústrias de refratários do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil), utilizando um dilatômetro de precisão com registro fotográfico da curva de dilatação. São assim tornados públicos dados até então não conhecidos sobre refratários nacionais, permitindo melhor avaliar o comportamento dos refratários produzidos pela indústria regional. São reproduzidas igualmente as curvas de dilatação térmica dos refratários ensaiados.

SUMMARY

In this paper the thermal expansion of Brazilian fire-clay bricks is determined, principally of those produced by refractory plants located in Rio Grande do Sul (Brazil), utilizing a precision dilatometer with photographic record of expansion curves. Thus are published unknown data about several native refractory products making possible a better knowledge of their behaviour in service. The paper also reproduces the expansion curves of the refractories tested.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorstehende Arbeit befasst sich mit der Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten einiger brasilianischer Schamottesteine, hauptsächlich derjenigen, die im Staate Rio Grande do Sul hergestellt werden, unter Benutzung eines Präzisionsdilatometers mit photographischer Registrierung. Es werden hiermit Daten veröffentlicht, die bisher unbekannt waren und die es ermöglichen, eine bessere Kenntnis des Verhaltens einheimischer Schamottesteine im Betriebe zu gewinnen. Der Artikel bringt ausserdem die Ausdehnungskurven der untersuchten Schamottesteine.

(I) — Trabalho do Setor de Cerâmica da Seção de Química do Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul, apresentado ao 1.º Congresso Brasileiro de Cerâmica, realizado em São Paulo, dezembro de 1955.

(II) — Membro da Associação Brasileira de Cerâmica, Chefe da Seção de Química do Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul. Professor Assistente da Cadeira de Tecnologia Inorgânica da Escola de Engenharia da Universidade do Rio Grande do Sul.

INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior (1) realizado no Setor de Cerâmica da Seção de Química do Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul determinamos as características essenciais dos refratários silico-aluminosos produzidos no Rio Grande do Sul, fornecendo a consumidores e fabricantes de refratários nacionais os dados indispensáveis para um melhor julgamento das possibilidades dos refratários produzidos no Estado. No trabalho então apresentado não foram incluídos dados correspondentes à determinação da dilatação térmica linear reversível pela simples razão de não dispor o Setor de Cerâmica do ITERS, naquela ocasião, a aparelhagem para execução de tão importante ensaio para caracterização de produtos refratários. A feliz intervenção do colendo Conselho Nacional de Pesquisas tornou possível sanar a falta então cometida, doando ao ITERS entre outro equipamento básico de pesquisa, um moderno dilatômetro universal de precisão; graças ao qual se tornou possível a realização do presente trabalho.

Queremos deixar consignado aqui os nossos agradecimentos à presidência da entidade científica máxima de nosso país pelo valioso auxílio à pesquisa no Rio Grande do Sul, dotando-a de ferramenta científica básica para melhor execução de suas elevadas tarefas.

Entre os ensaios de laboratório de produtos refratários destinados a determinar as propriedades consideradas diretamente relacionadas com a vida de um refratário na instalação industrial em que vai funcionar, a dilatação térmica linear ocupa, indubitavelmente uma posição de destaque. É fato notório que a resistência de um refratário ao choque térmico, em igualdade de outras características, é tanto maior quanto menor e mais homogênea for a dilatação no período de temperatura geralmente considerado crítico, ou seja, entre 300°C, temperatura na qual as tensões internas se tornam apreciáveis, e 700°C, temperatura na qual se admite tenha início o escoamento plástico da maioria dos materiais cerâmicos. Além disso a determinação do coeficiente de dilatação térmica do refratário nos fornece os dados básicos para previsão da expansão térmica da estrutura que vai ser aquecida, permitindo o cálculo exato das juntas de dilatação. Finalmente, mas não menos importantes, são as informações fornecidas pelo traçado das curvas dilatométricas no que

diz respeito aos constituintes cristalinos dos refratários em estudo e suas respectivas temperaturas de inversão.

Muitos pesquisadores já estudaram exaustivamente a dilatação térmica dos diferentes produtos refratários podendo os respectivos dados serem encontrados na literatura técnica especializada (2, 3, 4, 5, e 6). Também no Brasil o assunto já mereceu atenção dos pesquisadores nacionais, existindo um interessante trabalho sobre dilatação térmica de refratários produzidos no Estado de São Paulo (7).

O presente trabalho, conforme já foi dito, tem por objetivo completar dados já apresentados sobre os refratários produzidos no Estado do Rio Grande do Sul, apresentando os resultados dos ensaios de dilatação térmica linear realizada no Setor de Cerâmica do Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul e não publicados até a presente data.

Aparelhagem utilizada

Existem numerosos métodos para determinação da dilatação térmica descritos na literatura técnica especializada (8, 9). Eles são geralmente classificados em métodos diretos e indiretos.

Nos métodos diretos as modificações de comprimento são determinadas visando com o instrumento de medida (catetômetro) duas marcas de referência nos corpos de prova. Norton faz uma descrição detalhada deste equipamento em trabalho hoje já considerado fundamental na técnica da determinação de dilatação térmica (10). Modernamente ainda podemos citar entre os métodos diretos os trabalhos de A. H. Jay que utilizou o método de difração de raios-X para medir as modificações das dimensões da reticula de substâncias cristalinas durante o aquecimento. (11)

Nos métodos indicados geralmente se intercala um material de natureza diferente (sílica fundida, safira sintética) entre a aparelhagem de medida e o corpo de prova, para transmitir os movimentos deste último. Entre os instrumentos de medida podemos destacar micrômetros, microscópios, micrométrico, mecanismos óticos e mecânicos (8). O método do interferômetro de Fizeau (12), também pertence a este grupo de métodos. No presente trabalho foi adotado o método indireto de determinação da dilatação térmica, utilizando um dilatômetro universal Leitz com registro fotográfico da curva de dilatação.

Figura 1 — Esquema do Dilatômetro utilizado.

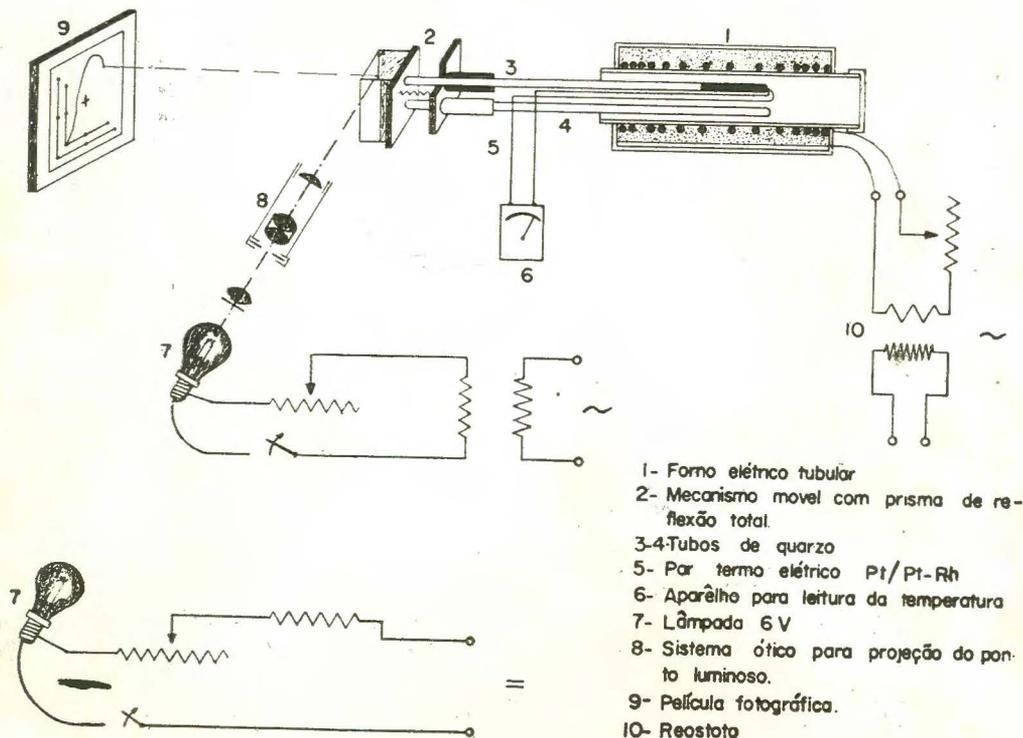


TABELA I — CARACTERÍSTICAS DE

	A
Análise química:	
Sílica (SiO ₂) %	70,10
Alumina (Al ₂ O ₃) %	26,70
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃) %	1,90
Óxido de cálcio (CaO) %	0,40
Óxido de magnésio (MgO) %	0,37
Dimensões, cm	22,4 × 11,6 × 5,4
Densidade real, g/cm ³	2,55
Densidade aparente, g/cm ³	1,99
Absorção, %	10,4
Porosidade aparente (em volume), %	20,8
Porosidade total, %	22,0
Resistência à compressão, a temperatura ambiente, kg/cm ² ..	190
Refratariedade (Cones Orton)	30 (1650°C)
Refratariedade sob carga:	
Início de deformação	1350°C
5%	1465°C
10%	1510°C
20%	1550°C
30%	1560°C
40%	—
Resistência ao choque térmico	12 ciclos
Variação posterior de dimensões:	
Retração linear (1400°C, 4h) %	4,0
Retração volumétrica (1400°C, 4h) %	13,9

OBSERVAÇÃO: — Todos os refratários, com exceção dos de letra F, são originários

TABELA 2 — DILATAÇÃO TÉRMICA TOTAL EM MM NAS TEMPERATURAS INDICADAS

Temperatura (°C)	A M O S T R A S				
	A	B	C	D	E
100	0,030	0,032	0,015	0,020	0,030
200	0,060	0,155	0,018	0,055	0,050
300	0,080	0,190	0,030	0,080	0,070
400	0,105	0,205	0,055	0,105	0,100
500	0,138	0,240	0,090	0,150	0,115
600	0,190	0,320	0,148	0,205	0,158
700	0,198	0,330	0,155	0,220	0,170
800	0,208	0,330	0,156	0,225	0,180
900	0,208	0,330	0,160	0,225	0,188

As curvas de dilatação térmica dos refratários sílico-aluminosos ensaiados permitem concluir que a dilatação na zona crítica das tensões entre 300 e 700°C é em geral relativamente pequena e homogênea, com exceção da amostra B, que apresenta elevada dilatação inicial, assim como também acentuadas inversões da curva nos pontos das modificações cristalinas da sílica.

REFRATÁRIOS SÍLICO-ALUMINOSOS

B	D	C	F
82,55	74,07	73,44	65,46
13,88	22,35	23,27	27,96
1,82	2,41	1,93	6,19
0,35	1,00	0,83	1,08
—	0,26	0,75	0,89
23,4 × 11,4 × 6,2	23,4 × 11,2 × 6,0	21,9 × 10,7 × 6,0	23,1 × 11,3 × 6,5
2,55	2,66	2,97	2,55
1,79	1,91	1,85	2,11
16,3	13,1	11,9	6,8
28,9	24,8	21,6	14,1
29,8	28,2	25,1	17,2
156	144	260	248
28(1615°C)	27(1605°C)	27/23 (1605-1615°C)	28(1615°C)
1380°C	1125°C	1295°C	1290°C
1465°C	1148°C	1335°C	1390°C
1510°C	1245°C	1360°C	1445°C
1530°C	1347°C	1380°C	1545°C
1540°C	1415°C	1385°C	1580°C
—	1425°C	1390/C	1600°C
6 ciclos	5 ciclos	10 ciclos	4 ciclos
0,7	2,7	1,7	3,1
—	12,0	6,5	6,9

de fábricas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul.

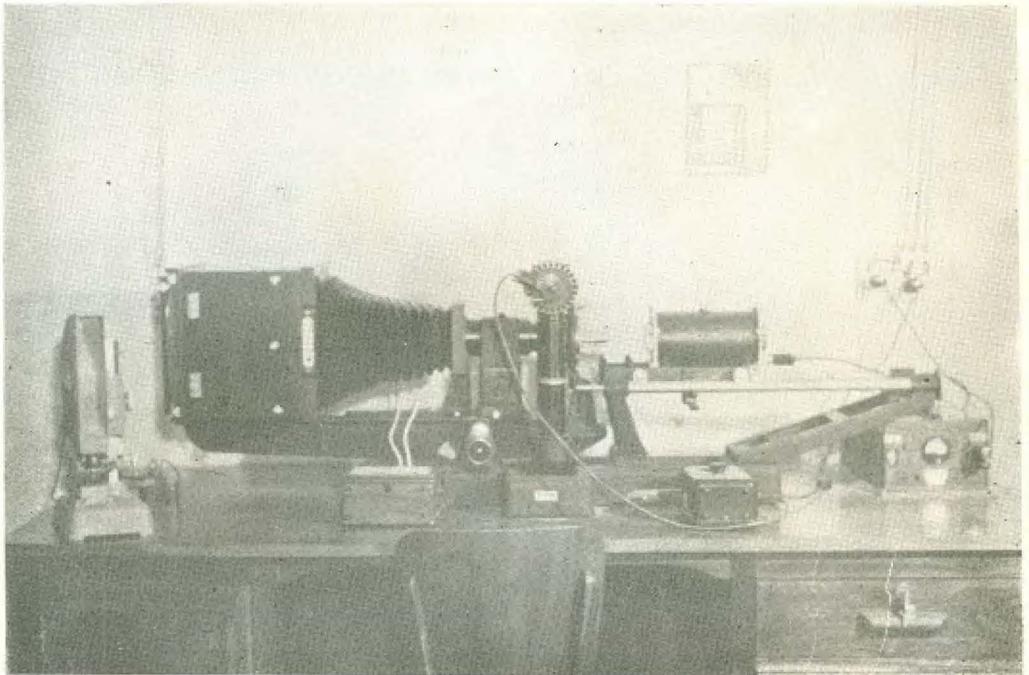
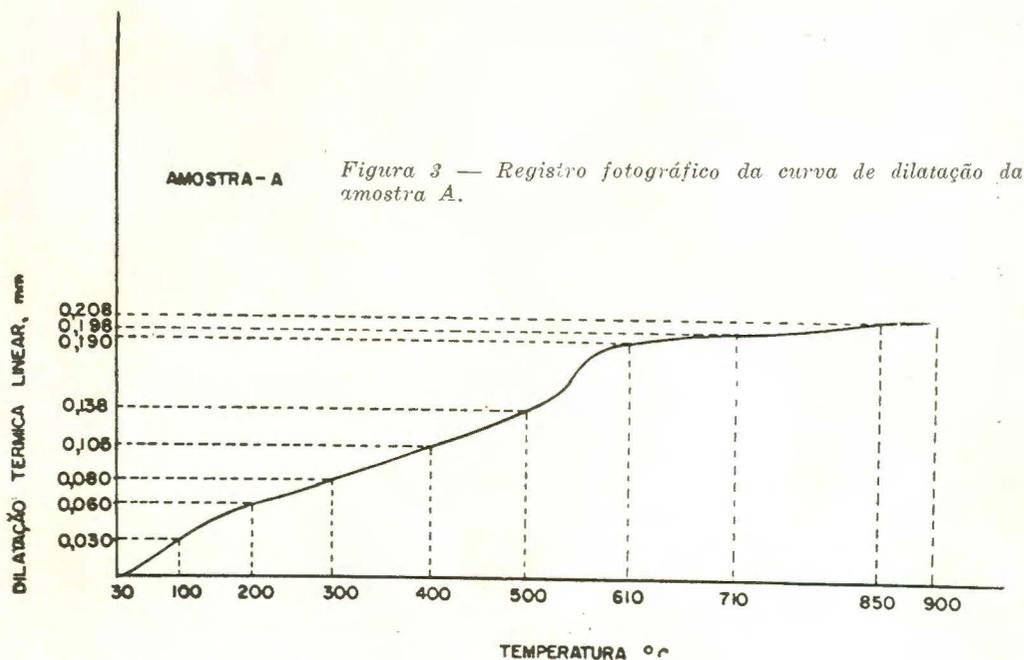


Figura 2 — Fotografia do Dilatômetro utilizado.



A figura n.º 1 apresenta um esquema da aparelhagem utilizada e a figura n.º 2 uma fotografia do dilatômetro em questão. O modo de funcionamento do aparelho é, em resumo o seguinte:

Os dois elementos básicos da aparelhagem, o dilatômetro propriamente dito e o forno elétrico tubular de aquecimento estão dispostos sucessivamente sobre um banco ótico. O forno elétrico permite aquecimento até 1200°C e sua velocidade de aquecimento pode ser rigorosamente controlada com auxílio de um reostato. O forno tubular pode ser facilmente colocado sobre o corpo de prova a ser ensaiado, graças ao auxílio de um cavalete que permite o deslizamento do forno. O corpo de prova a ser ensaiado se encontra horizontalmente em um tubo de quartzo que em sua extremidade apresenta forma de navícula. Durante o aquecimento e dilatação se transmite por intermédio de uma haste de quartzo para um mecanismo móvel dotado de um prisma de reflexão total. Uma pequena lâmpada de 6 V serve como fonte luminosa, sendo utilizada para projetar um ponto luminoso sobre a superfície de projeção de uma câmara fotográfica. O raio luminoso é conduzido sobre o prisma móvel, de modo que o ponto luminoso se desloca sobre a chapa ou papel fotográfico existente na câmara fotográfica, de acordo com a dilatação do corpo de prova em ensaio. O aumento normal da dilatação pelo sistema ótico da aparelhagem é de 200 vezes. Em caso de necessidade podem

ser utilizados sistemas óticos com aumentos de 400 a 800 vezes. O eixo de ordenadas é calibrado por meio de um micrômetro de precisão que permite estabelecer graduações com intervalo de 0,01 mm, tornando assim possíveis leituras até 0,001 mm. A temperatura é determinada com um termopar Pt/Pt-Rh, cuja extremidade é colocada em pequeno orifício no próprio corpo de prova, sendo lida em galvanômetro de precisão.

RESULTADOS

Para o ensaio de dilatação térmica linear foram conhecidos corpos de prova cilíndricos de 50 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro por corte e acabamento final com esmeril, diretamente a partir de tijolos refratários comerciais, tais como foram recebidos no Laboratório. Foi determinada a dilatação térmica entre a temperatura ambiente e 900°C sendo a velocidade de aquecimento de 4°C por minuto, durante todo o ensaio.

Na tabela n.º 1 estão reproduzidas as características dos refratários estudados e na tabela n.º 2 os valores da dilatação térmica linear total dos corpos de prova ensaiados. Nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7 são reproduzidos os registros fotográficos da dilatação térmica experimentalada pelas amostras ensaiadas, tal como são fornecidas pelo dilatômetro utilizado e a fig. 8 representa as curvas de dilatação de todos refratários ensaiados.

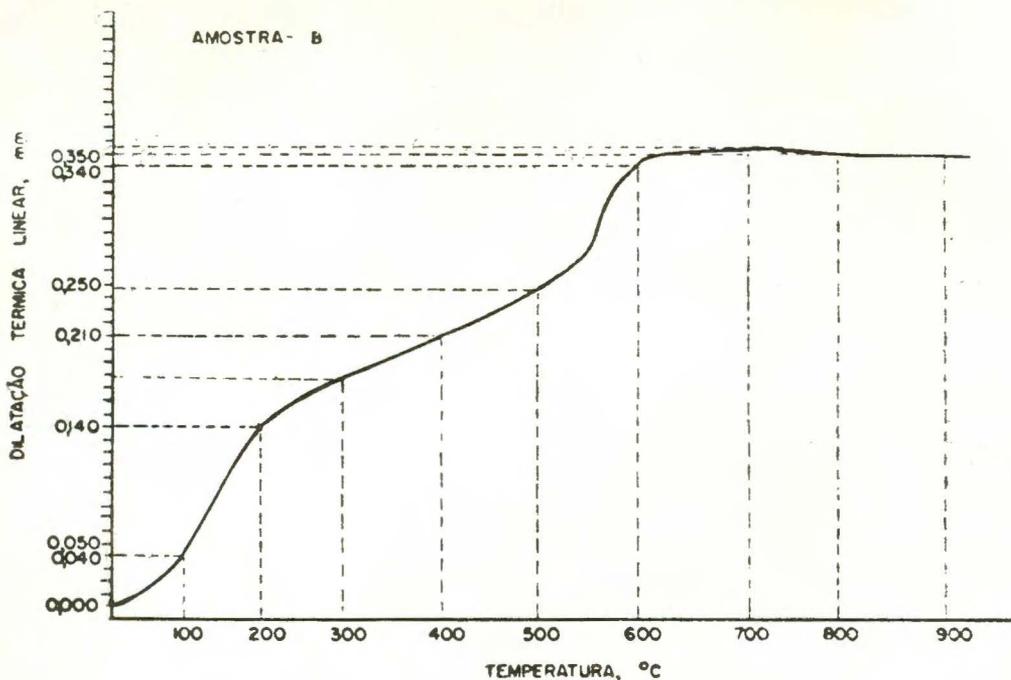


Figura 4 — Registro fotográfico da curva de dilatação da amostra B.

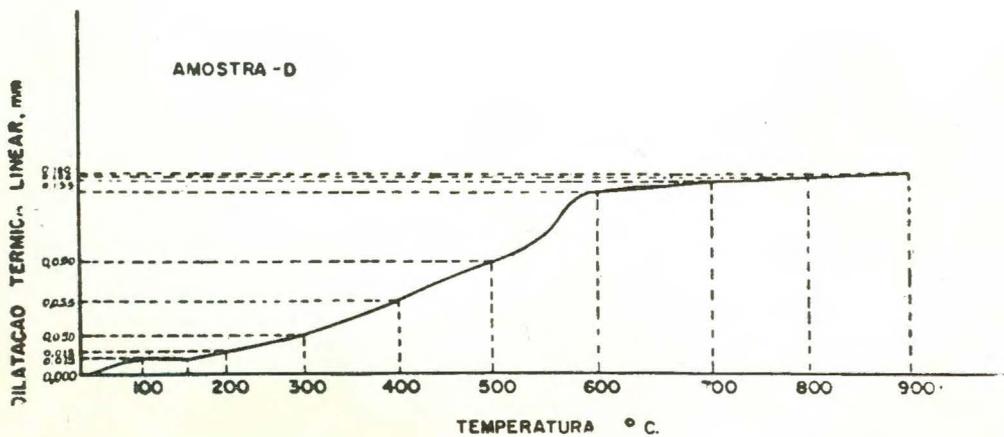


Figura 5 — Registro fotográfico da curva de dilatação da amostra D.

DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR, mm

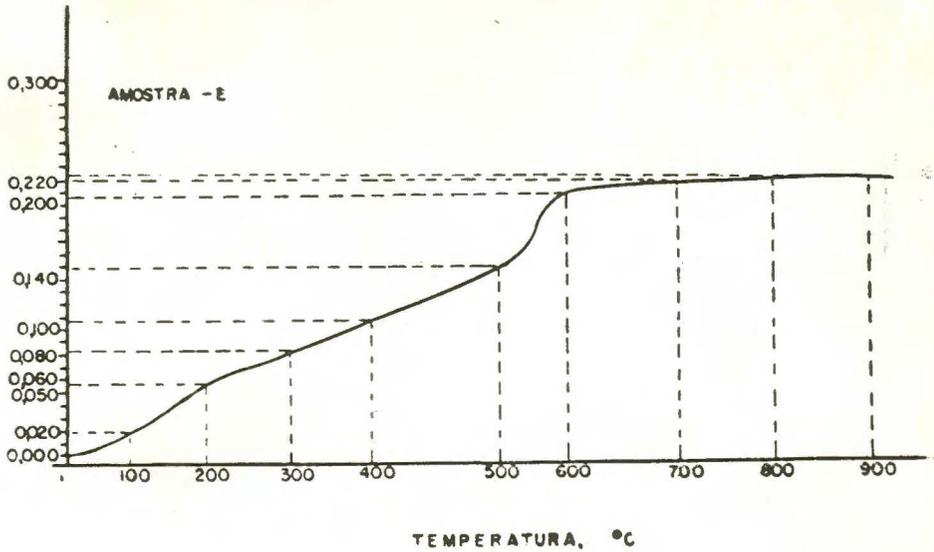


Figura 6 — Registro fotográfico da curva de dilatação da amostra E.

DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR, mm

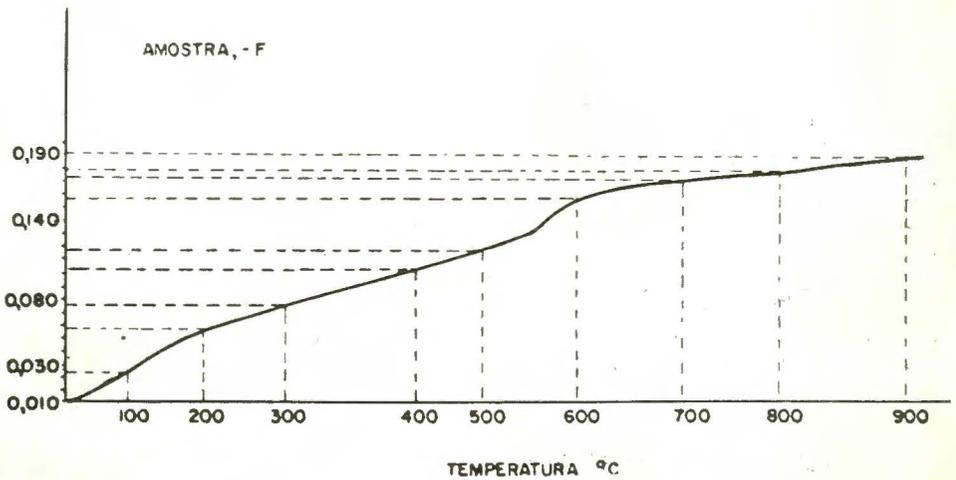


Figura 7 — Registro fotográfico da curva de dilatação da amostra F.

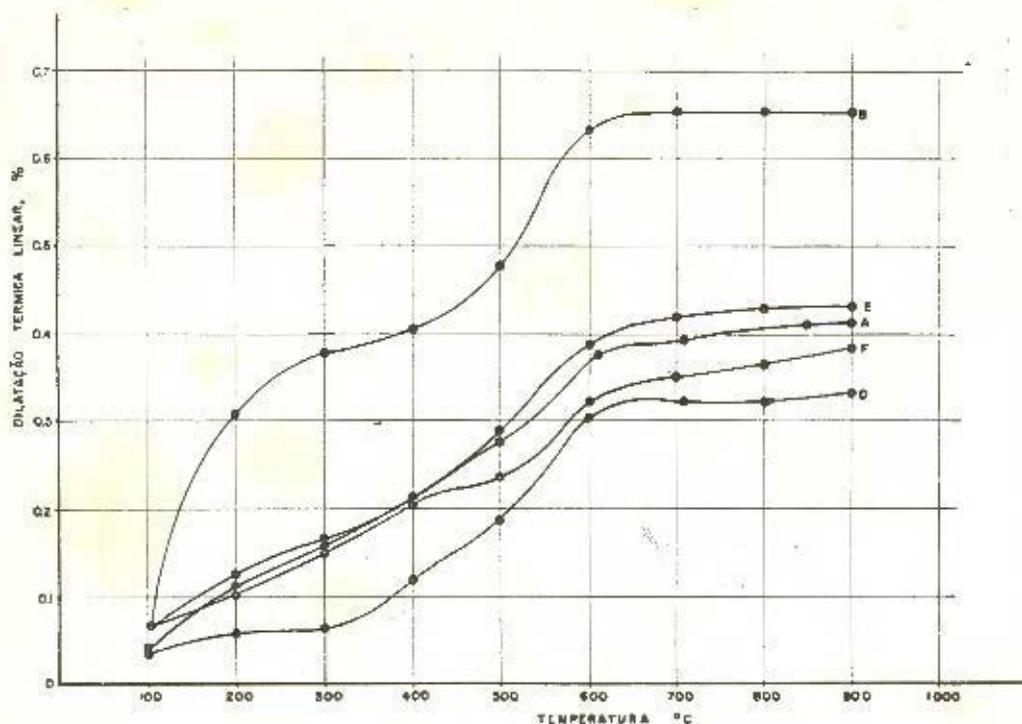


Figura 8 — Curva da dilatação dos refratários silico-aluminosos ensaiados.

BIBLIOGRAFIA

- 1) — Gross, F. J. — Refratários silico-aluminosos do Rio Grande do Sul — Anais do X Congresso da Associação Brasileira de Química.
- 2) Letort, Y. — Produits Refractaires — Dunod, Paris - 1951.
- 3) Norton, F. H. — Refractories, Mc Graw-Hill Book Co. Inc. New York - 1949.
- 4) Schatzler, L. — Keramik, Verlag Technik, Berlin - 1954.
- 5) Heindl, R. A. e Pendergast, W. L. — Bureau of Standard, Journal of Research, Vol. 3 - 691 - 729 (1929).
- 6) Westman, A.E.H. — The Thermal Expansion of Fire Clay - Brick - Univ. of Illinois Eng. Expt. Station Bull, n.º 181, 1925.
- 7) Barzaghi, Luciano e Nogueira, Job S. — Ensaios de dilatação térmica de refratários nacionais - Boletim da A.B.M., Volume 6, n.º 18 5-12 (1960).
- 8) Rigby, G. R. e Green, A. T. — Transp. Brit. Ceram. Soc., 37, 365, 1938.
- 9) Cohn W. M. — Ber. Deutsche Keram. Ges. 9, 279, 1928.
- 10) Norton, F. H. — J. Amer. Ceram. Soc. 8, 799, 1925.
- 11) Jay, A. H. Proc. Roy. Soc. 142, 237, 1933.
- 12) Fizeau H. Ann. Chim. Physique, Ser. 4, 2, 143, 1864.