
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

ESTUDO DA REAÇÃO POZOLANA ARTIFICIAL E CAL:
INFLUÊNCIA DO TIPO DE POZOLANA, TEMPO DE
CURA, TEMPERATURA DE REAÇÃO E TEMPERATURA
DE CALCINAÇÃO SOBRE A RESISTÊNCIA
MECÂNICA DAS ARGAMASSAS

DJANE DE FATIMA OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
DEZEMBRO - 1995

Djane de Fatima Oliveira

**ESTUDO DA REAÇÃO POZOLANA ARTIFICIAL E CAL:
INFLUÊNCIA DO TIPO DE POZOLANA, TEMPO DE
CURA, TEMPERATURA DE REAÇÃO E TEMPERATURA
DE CALCINAÇÃO SOBRE A RESISTÊNCIA
MECÂNICA DAS ARGAMASSAS**

**Dissertação Apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba, em
Cumprimento às Exigências para
Obtenção do Grau de Mestre.**

Área de Concentração: Tecnologia de Materiais não Metálicos

**Orientador: Prof.^o Dr. Ramdayal Swarnakar
UFPB/CCT/DEQ**

**Co-Orientadora: Prof.^a M.Sc. Crislene Rodrigues da Silva Morais
UFPB/CCT/DEMa**

**Campina Grande - Paraíba
Dezembro - 1995**



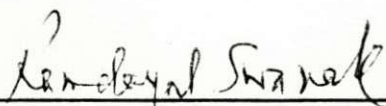
048e Oliveira, Djane de Fátima.
Estudo da reação pozolana artificial e cal : influência do tipo de pozolana, tempo de cura, temperatura de reação e temperatura de calcinação sobre a resistência mecânica das argamassas / Djane de Fátima Oliveira. - Campina Grande, 1995.
108 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

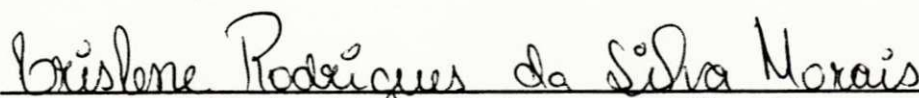
1. Materiais Não-Metálicos. 2. Pozolana. 3. Argamassa. 4. Dissertação - Engenharia Química. I. Swarnakar, Ramdayal. II. Moraes, Crislene Rodrigues da Silva. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 620.18(043)

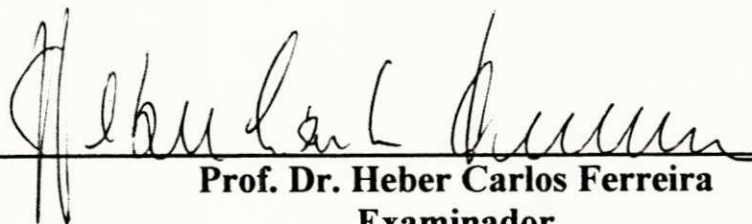
Dissertação defendida e aprovada, em 20 de Dezembro de 1995, pela banca examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Ramdayal Swanakar
Orientador



Prof^a M.Sc. Crislene Rodrigues da Silva Morais
Co-orientadora



Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira
Examinador



Prof^a M.Sc. Edna Célie da Cunha Machado
Examinadora

Campina Grande - PB
Dezembro - 1995

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais Maria (In Memoriam)
e Severino de Oliveira.
A meus irmãos.
A tia Nenen.**

AGRADECIMENTOS

À DEUS

Pelo presente da vida, sem a qual seria impossível a realização desta conquista.

AO PROF^o. RAMDAYAL SWANAKAR

Minha sincera gratidão, pelo apoio, confiança, dedicação, incentivo e paciência, além dos conhecimentos e ensinamentos transmitidos durante todo este trabalho.

À PROF^a. CRISLENE RODRIGUES DA SILVA MORAIS

Pelo carinho, amizade, compreensão, força e incentivo, para que eu não perdesse a vontade de "lutar", sem a qual seria difícil a conclusão deste objetivo.

À COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Na pessoa do professor Ph. D. Kepler Borges França, pelo apoio concedido, e das secretarias Maria José Bezerra Cavalcante e Maricé Pereira da Silva, pela atenção, carinho, presteza e forma afável de tratamento.

À ATECEL

Na pessoa do Prof^o. Heber Carlos Ferreira, pelo apoio financeiro e concessão do Laboratório de Solos I, que contribuiu consideravelmente para a realização deste trabalho.

À JECONIAS E SOLANGE

Engenheiros de Laboratórios de Solos I da UFPB- Campus II, pela orientação e colaboração na realização dos ensaios realizados neste laboratório.

AOS FUNCIONÁRIOS DO LABORATÓRIO DE SOLOS I

Que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho e em especial à Geraldo Marcelino de Araújo.

AO INSTITUTO DE FÍSICA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Na pessoa de Catarino e Augusto pela colaboração concedida ao meu trabalho.

AOS MEUS AMIGOS

Vicemário Simões e Rosa Maria Limeira de Queiroz pela colaboração e principalmente amizade fortalecida durante este meu objetivo.

AOS MEUS COLEGAS

Pela amizade, força, compreensão e incentivo, dedicados durante esta pequena etapa de nossa convivência, estando sempre presente nos bons e maus momentos, e em especial a Wilton Walter Batista e Francisco de Assis Macedo Santos pelo companheirismo nos momentos finais deste trabalho.

À VOCE

Que direto ou indiretamente contribuiu e me deu coragem para prosseguir e conquistar esta batalha.

À CAPES

Pelo apoio financeiro.

À NATUREZA

Pela beleza, que concedes a cada amanhecer fazendo com que a vida se torne mais atrativa e bela, fornecendo a energia necessária para afastar pedras do meu caminho.

OLIVEIRA, D. F., **Estudo da Reação Pozolana Artificial e Cal: Influência do Tipo de Pozolana, Tempo de Cura, Temperatura de Reação e Temperatura de Calcinação sobre a Resistência Mecânica das Argamassas.** UFPB, Campina Grande - PB, 1995. 108p.

RESUMO

É de vital importância o conhecimento dos materiais empregados na construção civil, devido a sua complexidade, procura-se otimizá-los e, assim, obter-se melhores propriedades mecânicas.

Os materiais pozolânicos incorporados ao cimento Portland vem assumindo importância crescente nos dias atuais, atenuando o problema do consumo de energia, como também a obtenção de produtos com características tecnológicas diferenciadas, superiores em alguns aspectos aos próprios cimentos não aditivados.

A ativação térmica de argilas é uma das opções mais interessantes para a obtenção de pozolanas, devido a grande disponibilidade de jazidas no país. As argilas caulinitas são apontadas na literatura como as mais propícias à fabricação de pozolanas, e encontram-se no Nordeste vários locais de exploração, por isto é que alguns pesquisadores desta região centralizam suas pesquisas sobre estas argilas.

Este trabalho teve como objetivo estudar a reação cal-pozolana, levando-se em consideração a influência de parâmetros como: tipo de pozolana, tempo de cura, temperatura de reação e temperatura de calcinação sobre a resistência mecânica das argamassas.

Para avaliar o desempenho mecânico das argamassas compostas por 60 % de cal e 40 % de pozolana obtidas de caulins com diversas granulometrias, com traço em peso de 1:2,5 e fator água/aglomerante de 0,48. Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm, e estes submetidos a cura aérea e cura em câmara climatizada com umidade relativa do ar de aproximadamente 100 %, em diversos tempos de cura. Observou-se que a resistência à compressão simples aumentou em geral quando: o tipo de pozolana utilizado nas argamassas era de menor granulometria; quando se aumentava o tempo de cura; e quando se aumentava a temperatura de reação e a temperatura de calcinação das argamassas.

OLIVEIRA, D. F., **Study of Artificial pozzolan and lime Reaction: Influence of Particle Size, Curing Time, Reaction Temperature and Calcination Temperature on the Compressive Strength of the Mortar.** UFPB, Campina Grande - PB, 1995. 108p.

ABSTRACT

The knowledge of the materials used in civil construction is of great importance due to the complexity of obtaining better mechanical properties and hence to optimize them.

Now a days, the pozzolanic incorporated in Portland cement are gaining increasing importance as they reduce the energy consumption as well as in obtaining products with technological characteristics even better than simple cement itself in some aspects.

The thermal activation of clays is one of the most important option for producing pozzolan due to greater existence of the clay deposits in our country. The kaolinite clays are considered to be more appropriate for the production of pozzolan, which are found in the north-east of Brazil and hence some of researchers of the region investigate these clays.

The present work had objectives to study pozzolan-lime reaction with reference to the influence of factors like type of pozzolan, curing temperature, temperature of reaction and temperature of calcination on the development of the compressive strength of the mortars.

In order to evaluate the mechanical performance of the mortars test specimens, of cylindrical shape with 5 cm x 10 cm size were prepared. The agglomerate was composed of 60% lime and 40% pozzolan, cured in air and controlled atmosphere with approximate 100% relative humidity. The proportion of agglomerate and sand was kept 1:2.5 by weight respectively. The factor of water to agglomerate plus sand was taken 0,48.

It is observed that the compressive strength was higher when the pozzolan used in the mortar was of smaller particles, it increased with the curing temperature, with the reaction temperature, with the reaction temperature and the calcination temperature.

**PARTE DESTA DISSERTAÇÃO FOI PUBLICADA E APRESENTADA EM
CONGRESSOS**

- 1 - Título:** A Study Pozzolan Reaction of Metakaolinite of Brazil Origin.
Veículo: Anais do 38^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, vol. I (233-238).
Local: Blumenau - SC, 18-25/06 de 1994

- 2 - Título:** Cinética da Reação Metacaulinita e Hidróxido de Cálcio
Veículo: Anais do 39^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, vol. I (190-195).
Local: Águas de Lindóia, 10-13/06 de 1995

- 3 - Título:** Influência do Tamanho de Partículas dos Caulins e da Temperatura de Reação na Resistência Mecânica de Argamassas de Cal e Pozolana Artificial.
Veículo: Anais do 39^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, vol. I (213-218).
Local: Águas de Lindóia, 10-13/06 de 1995

- 4 - Título:** Influência da Temperatura de Calcinação das Pozolanas e da Temperatura de Reação Pozolana Cal na Resistência Mecânica das Argamassas.
Veículo: Anais do II ERCEMAT (Encontro Regional de Ciências e Engenharia de Materiais).
Local: Natal, 11-12/09 de 1995

ABREVIACÕES

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASTM** - American Standard for Testing and Materials
- RCS** - Resistência  Compressão Simples
- PC** - Pozolana derivada de caulim coloidal
- PS** - Pozolana derivada de caulim semi-coloidal
- PT** - Pozolana derivada de caulim beneficiado em peneira ABNT n 325
(0,044 mm)
- PD** - Pozolana derivada de caulim beneficiado em peneira ABNT n 200
(0,072 mm)
- #325** - amostras beneficiadas em peneira ABNT n 325 (0,044 mm)
- #200** - amostras beneficiadas em peneira ABNT n 200 (0,072 mm)

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Composição Química das Pozolanas em Relação a Outros Materiais. 5

QUADRO 2 - Classificação dos Materiais Pozolânicos. Fonte: (ZAMPIERI, 1989).11

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Massa Específica Real das Amostras de Caulins	37
TABELA 2 - Massa Específica Real das Amostras de Pozolanas.	38
TABELA 3 - Área Específica das Amostras de Caulins.....	39
TABELA 4 - Área Específica das Amostras de Pozolana.	40
TABELA 5 - Composição Química da Cal e Caulins.....	41

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Efeito do Tipo de Pozolana (derivada de caulins nas diversas granulometrias) sobre a RCS das Argamassas	42
FIGURA 2 -	Efeito do Tempo de Cura das Argamassas Compostas de Cal e Pozolana sobre a RCS (tendência de aumento de RCS).....	43
FIGURA 3 -	Efeito do Tempo de Cura das Argamassas Compostas de Cal e Pozolana sobre a RCS	44
FIGURA 4 -	Efeito da Temperatura de Reação Pozolana-Cal sobre a RCS das Argamassas	45
FIGURA 5 -	Efeito da Temperatura de Reação Pozolana-Cal sobre a RCS das Argamassas	46
FIGURA 6 -	Efeito da Temperatura de Reação Pozolana-Cal sobre a RCS das Argamassas	47
FIGURA 7 -	Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação (PT - temperatura de reação de 45°C).....	49
FIGURA 8 -	Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação (PD - temperatura de reação de 25°C)	49
FIGURA 9 -	Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação (PD - temperatura de reação de 45°C)	49
FIGURA 10 -	Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação (PC - temperatura de reação de 45°C).....	50
FIGURA 11 -	Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação (PS - temperatura de reação de 45°C).....	50
FIGURA 12 -	Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação (PT - temperatura de reação de 75°C).....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Pozolanas	3
2.1.1 Generalidades	3
2.1.2 Definição	6
2.1.3 Classificação	7
2.1.4 Composição Química	12
2.1.5 Características e Propriedades	13
2.1.6 Atividade Pozolânica	15
2.1.7 Índice de Atividade Pozolânica	17
2.1.7.1 Água Requerida	17
2.1.7.2 Atividade Pozolânica com Cimento	18
2.1.7.3 Atividade com a Cal	18
2.1.8 Vantagens e Uso de Pozolanas	19
2.1.9 Pesquisas Desenvolvidas na UFPB	21
2.2 Cal	23
2.2.1 Classificação da Cal	25
2.2.2 Propriedades e Características	25
2.3 Argamassas	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Introdução	31
3.2 Materiais	31

3.2.1 Cal.....	31
3.2.2 Caulim.....	32
3.2.3 Pozolanas	32
3.2.4 Areia	33
3.2.5 Água	33
3.3 Métodos	33
3.3.1 Ensaio de Caracterização.....	33
3.3.1.1 Massa Específica Real.....	34
3.3.1.2 Área Específica	34
3.3.1.3 Composição Química.....	34
3.3.2 Ensaio Tecnológico: Resistência à Compressão Simples (RCS).....	35
3.3.2.1 Confeção das Argamassas	35
3.3.2.2 Moldagem dos Corpos de Provas.....	35
3.3.2.3 Cura	36
3.3.2.4 Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS).....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Ensaio de Caracterização	37
4.1.1 Massa Específica Real.....	37
4.1.2 Área Específica.....	39
4.1.3 Composição Química.....	40
4.2 Ensaio Tecnológico: Resistência à Compressão Simples (RCS).....	41
4.2.1 Tipo de Pozolana (Derivadas de Caulins nas Diversas Granulometrias).....	42
4.2.2 Tempo de Cura.....	43
4.2.3 Temperatura de Reação	45

4.2.4 Temperatura de Calcinação.....	48
5. CONCLUSÕES.....	51
5.1 Tipo de Pozolana.....	51
5.2 Tempo de Cura.....	51
5.3 Temperatura de Calcinação.....	52
6. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXO 1 - RCS EM FUNÇÃO DO TIPO DE POZOLANA.....	65
ANEXO 2 - RCS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CURA.....	74
ANEXO 3 - RCS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE REAÇÃO.....	85
ANEXO 4 - RCS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO.....	96
ANEXO 5 - TABELAS DE VALORES DE RCS (MPa).....	103

1. INTRODUÇÃO

Entre as muitas diretrizes que se pode seguir, objetivando o barateamento da construção, encontra-se a pesquisa de materiais alternativos aos utilizados tradicionalmente. Sendo o consumo de combustível, quer na produção, quer no transporte, um parâmetro que tem peso considerável no preço do material de construção, depreende-se que a pesquisa de materiais alternativos deve-se basear na redução desse consumo (CINCOTTO, 1983).

Na indústria cimentícia, uma das alternativas para atenuar o problema da redução do consumo de energia é incrementar o uso de pozolanas, com conseqüente economia de um produto mais nobre e energeticamente mais dispendioso, que é o clínquer do cimento Portland (KIHARA e SHUKUZARA, 1982).

Dentro deste contexto, a pozolana é um dos materiais mais difundidos na incorporação de adições ativas ao cimento Portland (ZAMPIERI, 1989). Embora que, por si só não possua poder aglomerante, mas quando finamente moída e em presença de água, à temperatura ambiente, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio originando compostos hidratados de propriedades cimentícias e insolúveis em água (LEA, 1938; SOUZA SANTOS, 1975 e CINCOTTO, 1984).

A pozolana quando adicionada ao cimento Portland, originando o cimento Portland-pozolânico melhora a resistência mecânica do concreto, devido o hidróxido de cálcio, que separando-se durante o processo de cura, reage com a pozolana (RAMEZANIANPOUR, 1975 e RASSAK, 1975). Podendo substituir o cimento na faixa

de 15% a 40%, isto significa uma redução nos custos das edificações, ao mesmo tempo em que alcança resistência similar ao cimento. Sendo considerada um excelente produto nos processos industriais e na agricultura, é produzida em larga escala, resolvendo o problema de resíduos não utilizados como também contribuindo para a redução da poluição ambiental (STULZ E MUKERJI, 1984).

As argilas cauliníticas tem sido apontadas na literatura como aquelas mais adequadas para a obtenção de pozolanas, levando-se em consideração a grande disponibilidade de jazidas do país; alguns pesquisadores no Nordeste optaram por centralizar seus estudos sobre estas argilas calcinadas à temperatura de 750°C à 800°C, visto que a estas temperaturas as pozolanas apresentaram maiores áreas específicas, o que leva a uma maior reatividade quando misturadas com o hidróxido de cálcio (SILVA, 1992, 1992a e 1992b; LIMA, 1993, 1993a e 1993b; FREITAS, 1994 e ZAMPIERE, 1989). O máximo da atividade pozolânica é desenvolvida após calcinação entre temperaturas de 550°C à 950°C (SOUZA SANTOS, 1975).

O objetivo desta pesquisa é estudar a reação cal-pozolana, levando-se em consideração a influência de parâmetros como: tipo de pozolana, tempo de cura, temperatura de reação e temperatura de calcinação sobre a resistência mecânica das argamassas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pozolanas

2.1.1 Generalidades

A história do homem e sua civilização está totalmente relacionada com a descoberta de materiais de ação cimentícia. No período neolítico o homem pré-histórico calafetava os cestos de vime com argila; posteriormente constatou que poderia usar apenas a argila. Descobrimo mais tarde que esse material endurecia; surgindo assim, a cerâmica que foi bastante utilizada para diversos fins.

Na antiguidade, tanto os gregos quanto os romanos tinham conhecimento de que certos materiais vulcânicos, quando finamente moídos e adicionados à cal extinta e areia, proporcionavam argamassas de melhores desempenhos mecânicos, as quais exibiam a propriedade de endurecerem mesmo quando submersas em água (ZAMPIERI, 1989). Sendo provável que os romanos tenham adquirido dos gregos parte dos conhecimentos sobre argamassas, devido a grande semelhança de suas construções (SCANDIUZZI, 1986). Constata-se certamente que os romanos tenham sido mais técnicos e menos artistas que os gregos, o que resultou em grandes construções de alvenaria, como o Coliseu, o Panteão Romano, a Basílica de Constantino, a Ponte de Gard e muitas outras obras que resistem até hoje de forma admirável às intempéries (SILVA, 1992). No entanto, a melhor argamassa, elaborada pelos romanos, parece ter

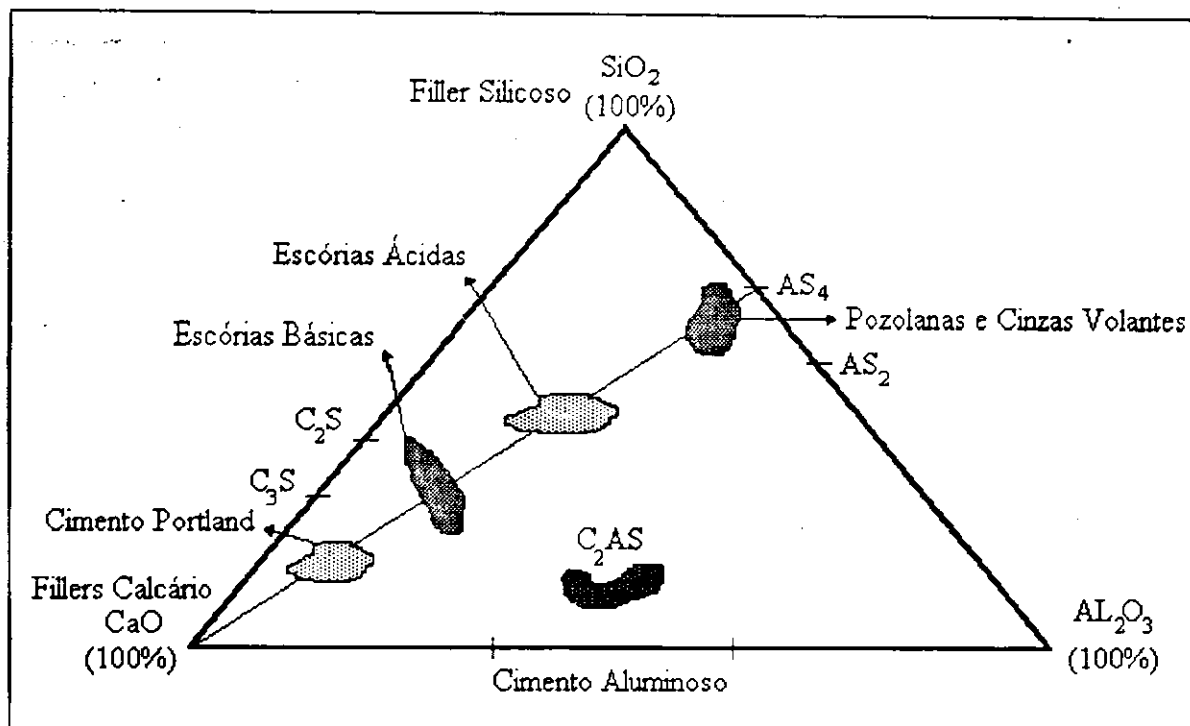
sido composta com cal misturada com uma rocha ou pó vulcânico, denominado “pozolana” e deve ter sido encontrada em pozzuoli nas proximidades de Vesúvio (ITALY).

Embora a utilização da pozolana seja anterior à era cristã, o emprego de materiais pozolânicos com fins inibidores da reação álcalis-agregado foi objetivo de atenção, pela primeira vez, como uma tentativa, na barragem de Big Dalto, construída antes de 1930, nos Estados Unidos, nessa oportunidade usou-se a pumicita. Durante a construção da barragem de Bonneville, construída pelo Corps of Engineers, e completada em 1938 foi usado o cimento Portland pozolânico, esse produzido pela moagem conjunta de clínquer com uma pozolana processada por calcinação a 815°C, de um material vulcânico alterado (SCANDIUZZI, 1986).

O termo pozolana, inicialmente usado para designar uma cinza vulcânica de Pozzuoli, passou a ser aplicada a outros depósitos de cinza vulcânica e mais tarde foi usada para designar qualquer material natural ou artificial que possuir propriedades similares, indiferentes da sua origem geológica.

Devido a ação pozolânica ter várias origens e o nosso conhecimento atual da reação do material pozolânico com a cal bem como, com o cimento, ser limitado, dados de sua composição química, estrutura ou instabilidade, embora úteis, a avaliação final da sua pozolanicidade só pode ser feita através de ensaios físicos e mecânicos.

O Quadro 1 mostra a distribuição da composição química das pozolanas no diagrama ternário SiO_2 . CaO . Al_2O_3 , comparativa à outros materiais (KIHARA, 1982).



QUADRO 1 - Composição Química das Pozolanas em Relação a Outros Materiais.

As pozolanas podem substituir o cimento Portland na faixa de 15% a 40%, isto significa uma redução nos custos das edificações, ao mesmo tempo em que alcança resistência mecânica similar ao cimento. Sendo considerada um excelente produto nos processos industriais e na agricultura, a qual é produzida em larga escala, resolvendo o problema de resíduos não utilizados, como também contribui com a redução da poluição ambiental. Devido a todas estas vantagens, tem-se procurado melhorar este produto para que venha a ser utilizado em maior escala pelos construtores (STULZ e MUKERJI, 1984).

O cimento pozolanico só obteve destaque a partir de 1923 na Itália, quando começaram a ser comercializados os cimentos elaborados com pozolanas naturais de origem vulcânica (PAPADAKIS e VENUAT, 1968). No entanto, segundo LEA(1970)

na Inglaterra e na França por volta de 1909 e 1915, já era conhecido e utilizado um cimento composto por uma mistura de argila calcinada e cimento Portland.

SOUZA SANTOS (1966, 1975) contribuiu consideravelmente para o desenvolvimento de pesquisas e utilização de pozolanas de argilas calcinadas. Como também SCANDIUZZI e ANDRIOLO (1981, 1986); SAAD et al (1989a, 1983b) e outros que utilizaram este material em barragens brasileiras.

Segundo ZAMPIERI (1989) as pozolanas de argilas calcinadas utilizadas no Brasil remota à época da construção da barragem de Jupia (MS); tendo sido empregada na construção de obras importantes até o ano de 1979. Dentro da realidade brasileira, a obtenção de pozolanas através da ativação de argila tem se revelado em muitos casos a solução técnica e econômica mais adequada. E com a implantação definitiva da moderna manufatura do cimento Portland, as pozolanas voltaram a ser utilizadas como materiais de construção só que, desta vez, junto com o cliquer do Portland, constituindo assim os cimentos Portland pozolânico.

SILVA et al (1992b), considerou cais pozolânicas como sendo as obtidas pela calcinação à temperaturas na faixa de 900°C à 1000°C de calcários com certo teor de impurezas (argilas) ou também como sendo uma mistura composta por uma cal hidratada com pozolana.

2.1.2 Definição

Pozolanas são materiais naturais ou artificiais, silicosos e aluminosos que por si só não possuem poder aglomerante, mas que em presença de água, à temperatura ambiente, reagem com hidróxido de cálcio, dando compostos de poder aglomerante (LEA, 1938 e SOUSA SANTOS, 1975).

MASSAZZA (1974 e 1980) define pozolana como um material natural ou artificial rico em sílica e alumínio capaz de reagir com a cal em presença de água e formar produtos com propriedades ligantes.

STULZ e MUKERJI (1984) consideram pozolanas materiais artificiais que contém sílica e/ou alumina. Elas não são cimentícias sozinhas, mas quando misturadas com cal e areia fina, a mistura endurecerá em presença de água a temperaturas comuns (ambiente), tornando-se um ótimo cimento.

SCANDIUZZI (1986) define material pozolânico como um material silicoso ou sílico-aluminoso que, apesar de não ter por si só propriedades de aglomerante hidráulico, na forma finamente moída e em presença de umidade à temperatura normal, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio originando compostos insolúveis estáveis e com propriedades aglomerantes, que diferem quanto a origem, composição e constituição mineralógica.

2.1.3 Classificação

Basicamente, existem dois tipos de pozolanas que são classificados em naturais e artificiais. São naturais aquelas formadas por algum processo da natureza e que em geral, necessitam apenas de uma moagem para seu uso. As artificiais são aquelas obtidas por um processo industrial ou como um subproduto.

São pozolanas naturais:

a) tufos e cinzas vulcânicas - são talvez as primeiras que se tem notícias;

b) rochas contendo minerais de opala - em geral são encontradas em forma de xistos contendo outras formas de sílica que não a amorfa, necessitando, portanto, de uma calcinação para sua ativação completa;

c) terras diatomáceas - é a pozolana mais ativa na reação com a cal, o diatomito é formado por sedimentação de carapaças de microorganismos.

As pozolanas artificiais se dividem em:

a) argilas calcinadas - materiais provenientes da calcinação de determinadas argilas que, quando tratadas a temperaturas entre 500°C e 900°C, adquirem a propriedade de reagirem com o Ca(OH)_2 ;

b) cinzas volantes - são resíduos finamente divididos provenientes da combustão de carvão pulverizado e granulado;

c) outros materiais - são considerados ainda como pozolanas artificiais outros materiais não tradicionais, tais como escórias siderúrgicas ácidas, microssílicas, rejeito sílico-aluminoso de craqueamento de petróleo, cinzas de resíduos vegetais e de rejeito de carvão mineral.

Estas classificações de materiais pozolânicos estão de acordo com os critérios impostos pela norma brasileira NBR 5736 (1986). Já a norma americana

ASTM C 618 (1985), que de forma semelhante regularmente o uso de materiais pozolânicos naquele país, classifica esses materiais em três classes. Que são:

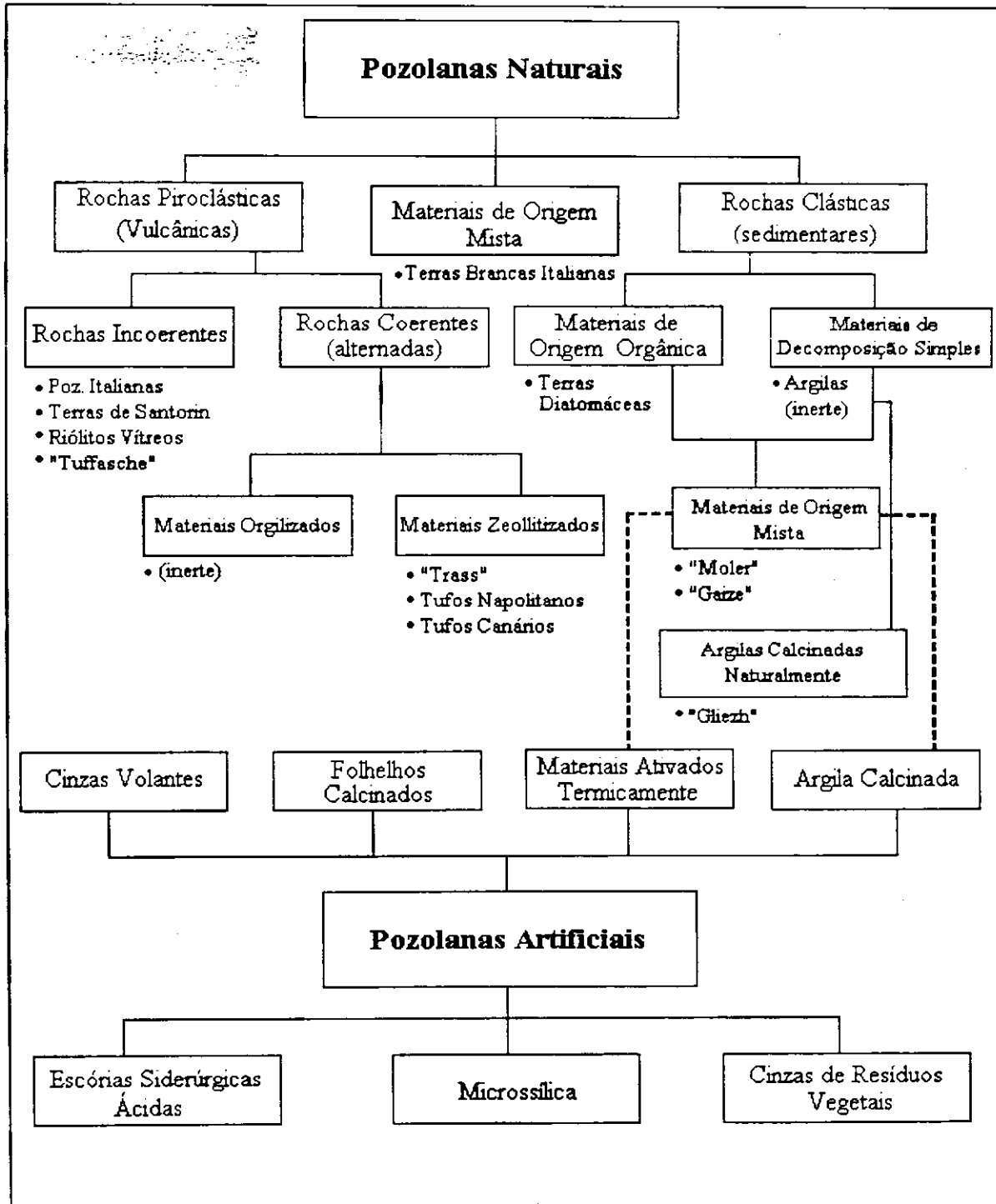
- Classe N - abrange pozolanas naturais submetidas ou não a processos de calcinação.
- Classe F - cinzas volantes produzidas normalmente através da queima de carvão antracítico.
- Classe C - cinzas volantes produzidas usualmente a partir de carvões ligníticos ou sub-betuminosos.

Em 1949 MIELENZ et al., dividiram os materiais pozolânicos em dois grupos: pozolanas naturais e subprodutos industriais (pozolanas artificiais). As pozolanas naturais são materiais que apresentam atividade pozolânica no estado natural ou podem ser facilmente transformados em pozolanas, incluindo-se nessa categoria cinzas e tufos vulcânicos, argilas, folhelhos e diatomitos; e os subprodutos industriais incluem cinzas volantes, cinzas de folhelhos betuminosos, cinzas de coque e tijolos ou telhas moídas, sendo que o comportamento com atividade pozolânica desses materiais é o argilomineral.

Mais recentemente MASSAZZA (1974), fez uma das mais completas e detalhadas classificações dos materiais pozolânicos. Além de ordenar esses materiais de forma bastante lógica, a classificação de Massazza, tem o grande mérito de enquadrar,

dentro de cada subdivisão proposta, alguns dos mais famosos materiais pozolânicos de que se tem referência na literatura técnica especializada.

ZAMPIERI (1989), apresentou, em essência, a proposição original de Massazza, acrescida de alguns novos materiais, que só recentemente tiveram comprovada sua atividade pozolânica, como as cinzas de resíduos vegetais e as escórias siderúrgicas ácidas, como está mostrado no Quadro 2.



QUADRO 2: Classificação dos Materiais Pozolânicos. Fonte: (ZAMPIERI, 1989).

2.1.4 Composição Química

A composição química oferece poucos elementos para julgar a atividade de uma pozolana. Há muitos tipos de materiais pozolânicos, cada um dos quais varia entre grandes limites quanto as suas características. É muito grande a variedade de percentagem dos constituintes ativos da pozolana. Sendo complexo os processos físico-químicos que envolvem as reações pozolânicas. No entanto, é lógico que quanto maior a percentagem de sílica de um material, melhor seria sua atividade pozolânica. Entretanto, existem boas pozolanas apenas com 40% de SiO_2 (RUAS, 1977).

Segundo SOUZA SANTOS (1975), a composição química prevê uma análise das pozolanas em óxidos e apresenta os seguintes valores.

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	- mínimo -	70%
MgO	- máximo -	5%
SO_3	- máximo -	3%
Perda ao fogo	- máximo -	10%
Umidade	- máximo -	3%

A composição química de um dado material fornece pouca ou nenhuma informação a respeito do seu caráter pozolânico, uma vez que a atividade pozolânica origina-se a partir da instabilidade termodinâmica de uma ou mais fases constituintes do material frente ao sistema cal-pozolana-água. Em casos específicos, entretanto, as oscilações do conteúdo da fase reativa podem ser correlacionada com flutuação na composição química do material, e então o quimismo do material pode vir a se constituir

um meio indireto de avaliação da qualidade do mesmo. Na maioria das vezes, a análise química presta-se tão somente ao controle da uniformidade ou regularidade do jazimento, pouco contribuindo para a definição da reatividade pozolânica do material.

2.1.5 Características e Propriedades

A propriedade fundamental de um material pozolânico é a sua capacidade de combinar com a cal, sendo que a sua fixação não depende só da parte solúvel dos silicatos, mas também dos aluminatos e, em geral, da afinidade química total da pozolana que depende diretamente do grau de finura, poder-se-á aumentar a quantidade de cal, se a finura for suficientemente grande.

As pozolanas podem ser usadas como material a ser misturado ao concreto durante a betonagem, ou ser moídas juntamente com clínquer e gesso dando os cimentos pozolânicos.

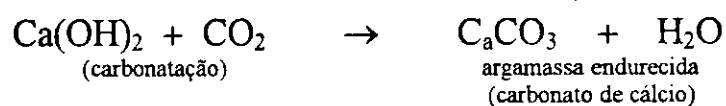
Concretos contendo pozolanas apresentam menores resistências, até aproximadamente 28 dias de idade. Em idades mais avançadas (geralmente superiores aos 28 dias) é normal que os concretos com pozolana tenham resistência mais altas que concretos equivalentes, sem pozolana. As pozolanas agem positivamente, tornando os concretos mais impermeáveis. Também essa propriedade é mais afetada em concretos pobres do que nos de alto teor de aglomerante (SCANDIUZZI, 1986).

Estudos efetuados mostram que concretos produzidos com material pozolânico resistem de maneira surpreendente ao ataque dos sulfatos, superando inclusive o desempenho dos concretos produzidos com cimentos resistentes aos sulfatos.

STATON (SCANDIUZZI, 1986) descobriu que a adição de certos materiais silicosos, finamente moídos, reduzem a expansão de argamassas contendo agregado

reativo e cimento de alto teor de álcalis. Posteriormente, o uso de pozolana foi conhecido como um método eficiente no controle da reação álcalis-agregado. Tendo uma superfície alta, a pozolana reage prontamente com os álcalis impedindo que os mesmos se concentrem na superfície dos agregados. Assim, o produto formado fica distribuído por toda a massa de concreto, não apresentando a tumefação osmótica.

Segundo BAUER (1993), os materiais pozolânicos desenvolvem suas propriedades aglomerantes em presença de cimento e da cal. Após a aplicação da argamassa ocorre a secagem e o endurecimento. A água de mistura se evapora e a seguir pela ação do anidrido carbônico do ar, a água de hidratação é liberada regenerando o carbonato de cálcio, através da seguinte equação:



Assim, por endurecimento resultante da carbonatação da cal, a resistência da argamassa é função de condições adequadas a penetração do CO_2 do ar através de toda a espessura da camada. Podem ser utilizados produtos substitutivos da cal, desde que apresentem propriedades pozolânicas, sendo recomendável que se verifique a capacidade aglomerante do material, pois caso o mesmo não tenha atividade pozolânica, o efeito será exclusivamente de propiciar plasticidade à mistura, não promovendo a ligação dos agregados de modo duradouro, e fazendo com que a argamassa endurecida ao sofrer expansões e contrações em função do grau de umidade venha se desagregar com relativa facilidade.

As pozolanas, quando usadas em substituição parcial do cimento, aumentam a plasticidade do concreto e diminuem a segregação. Essa melhoria é mais pronunciada nos concretos "pobres" (altas relações água/cimento) do que nos "ricos" (baixas relações água/cimento), e depende diretamente da finura do produto e da percentagem substitutiva.

SILVA (1992), constatou que a reatividade da pozolana com a cal aumenta com a diminuição do grau de finura da mesma.

2.1.6 Atividade Pozolânica

Por definição, a atividade pozolânica é considerada como sendo a capacidade de uma substância silicosa ou silico-aluminosa, finamente dividida, reagir, à temperatura ambiente, com hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades aglomerantes. Nesta definição estão implícitas dois conceitos: uma reação química (cuja cinética depende da temperatura, de finura e da concentração dos reagentes) na qual se processa um consumo de cal; e a geração de resistência mecânica decorrente da aglomeração das partículas durante esta reação química (KIHARA e BUCHER, 1986).

Para se ter atividade pozolânica, o material deve apresentar uma instabilidade ou alteração na sua estrutura cristalina. Assim, a sílica e a alumina são reativas quando suas ligações estruturais são fracas ou destruídas por calcinação ou que apresentem materiais amorfos como o vidro, opala, etc. Entretanto, para assegurar a reatividade esta instabilidade, embora necessária, não é suficiente.

Nas argilas cauliniticas, a atividade pozolânica é devido a formação de metacaulinita entre 500°C e 800°C, composto esse de elevado grau de desordem

crystalina e, portanto, de elevada superfície específica e grande atividade química (KIHARA, 1982). O máximo de atividade pozolânica da caulinita é desenvolvido após calcinação entre temperaturas de 550°C a 950°C (SOUZA SANTOS, 1975).

A atividade pozolânica consiste em uma agressão alcalina na superfície por uma solução de cal, dos minerais sílica aluminosos, e na combinação subsequente dos íons resultantes dessa agressão com a cal presente nessa solução (DRON, 1977 e 1978).

Segundo KIHARA e BUCHER (1986), a avaliação quantitativa direta da atividade pozolânica da microssilica é de contribuir para o aumento significativo da resistência mecânica dos concretos e argamassas em que é empregada (STULZ e MUKERJI, 1984).

No aspecto mecânico, a atividade pozolânica define-se convencionalmente como atividade de resistência à compressão axial e ou de resistência à tração por compressão diametral (VERHASSELT, 1980).

Pesquisas recentes realizadas por SILVA (1992), LIMA (1993) e MOTA (1994) tem constatado ótimo desempenho mecânico nas argamassas de cal e pozolana como também SOUZA (1994) obteve ótimos resultados de RCS (Resistência à Compressão Simples) para tijolos compostos de cal e pozolana, para uso em habitações populares. Acredita-se também que fatores como: o tamanho de partícula e a temperatura de reação, afetam a quantidade e o tipo de produtos formados, e que estes influenciam na RCS.

A atividade pozolânica de um solo laterítico está intimamente relacionada com a sua área específica (MACHADO, 1987a, 1987b e NEVES, 1988a, 1988b). KAPEL (1989) e colaboradores tentaram correlacionar a microestrutura destes solos e verificaram que o uso da análise térmica diferencial, prevê a atividade pozolânica. Assim

como, fica evidente que as curas em altas temperaturas (80°C), que caracteriza uma cura acelerada, apresenta tendência a formação de silicatos de cálcio hidratado, que é mais estável (310°C), enquanto as curas em temperaturas mais baixas que correspondem às condições normais de cura, mostram tendência a produzir neossilicatos menos estáveis teoricamente (180°C).

2.1.7 Índice de Atividade Pozolânica

São índices que atestam a pozolanicidade de um material em relação ao poder de combinar com a cal liberada (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986). São distinguidos por:

- água requerida
- atividade pozolânica com o cimento
- atividade com a cal

2.1.7.1 Água Requerida

É a comparação entre as quantidades de água requerida para uma mesma trabalhabilidade das argamassas compostas de cimento, e cimento mais material pozolânico, em termos de percentuais.

2.1.7.2 Atividade Pozolânica Com Cimento

É o índice comparativo percentual da resistência de duas argamassas de mesma proporção aglomerante-agregado e mesma trabalhabilidade, sendo calculada como a relação entre as resistências médias dos corpos de prova com cimento, e material pozolânico mais cimento.

2.1.7.3 Atividade com a Cal

É a resistência à compressão de argamassas preparadas com areia, pozolana e cal, moldadas em corpos de provas cilíndricos de 5x10 cm, à idade de 7 dias e curados à temperaturas de 55°C; é expressa em Kgf/cm^2 ou MPa (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986).

Segundo LEA (1938), é bastante difícil imaginar um único método que, com caráter geral, permita levar a cabo uma estimativa do valor pozolânico, em condições comparáveis, em todos os casos e para os diversos tipos de pozolana.

Em primeiro lugar, porque a pozolanicidade pode ser devido a diferentes causas ou em todo caso, ser mais decisivamente influenciada por uma ou outras destas causas, às vezes muito diferentes entre si.

Em segundo lugar, porque são diversas as formas em que pode manifestar-se o fenômeno pozolânico e, em consequência são variadas as finalidades e aplicações que se deseja obter da ação pozolânica.

Em terceiro lugar, porque as vezes é de interesse impar algumas condições difíceis aos métodos, e isto é quase impossível, mas quando se consegue, não existem uma correlação entre o método e a realidade prática.

Assim, SILVA (1992) constata ser difícil determinar o valor pozolânico de um material apesar que métodos como: o método baseado na combinação da cal com pozolana; método de Fratine (que encontra-se normalizado pela NBR 5753/80 intitulada 'Método de Determinação da Atividade Pozolânica em Cimento Portland Pozolânico'), método fundamental na medição da resistência mecânica de corpos de provas e outros de uso talvez mais difundido (ZAMPIERI, 1989); tem-se revelado particularmente adequados.

2.1.8 Vantagens e Uso de Pozolanas

No contexto sócio-econômico atual, diversos pesquisadores tem estudado a possibilidade de uma solução voltada para os países subdesenvolvidos, utilizando materiais alternativos de baixo custo, visando a diminuição do déficit habitacional.

Dentro desta sistemática, foram iniciadas pesquisas com cais pozolânicas à partir de misturas de cais hidratadas e pozolanas, sendo obtidos aglomerantes, cujo comportamento mecânico é superior as cais hidratadas e próxima dos cimentos tipo Portland.

Com exigências técnicas cada vez maiores, impostas a certos tipos de construções, verificou-se que o emprego de pozolanas permitia melhor desempenho do concreto. Algumas das vantagens adivindas da utilização de materiais pozolânicos, segundo CASTRO SOBRINHO (1970), são:

1 - Resistência química ao ataque de águas - águas como, a água do mar, as águas sulfatadas, as soluções alcalinas, as águas puras e as águas saturadas de anidrido carbônico. contém compostos capazes de atacar e decompor os ligantes hidráulicos, mas, com a aplicação de pozolanas tem-se observado uma maior resistência a estes ataques.

2 - Permeabilidade do concreto - as pozolanas agem positivamente tornando os concretos mais impermeáveis, isto devido a alta finura da pozolana que age como material de enchimento (filler) dos poros da pasta de cimento.

3 - Reação álcalis-agregado - certos tipos de agregado quando reagem com os álcalis liberados durante a hidratação do cimento provocam expansões no concreto endurecido, causando trincas e fraturas. Com a adição de pozolana, a intensidade da reação álcalis-agregado pode diminuir, devido a reação dos compostos da pozolana com os álcalis do cimento, impedindo que esses reajam com a sílica "ativa" dos agregados.

4 - Calor de hidratação - embora misturas de concreto com pozolanas e sem pozolanas desprendam a mesma quantidade de calor, a distribuição de calor é mais uniforme em concretos com pozolana, contribuindo, em pequena parcela, para evitar o trincamento de estruturas maciças.

5 - Trabalhabilidade da mistura fresca - as pozolanas quando usadas como substituição parcial do cimento, aumenta a plasticidade do concreto fresco e diminuem a exudação de água (bleeding) e a segregação.

6 - Resistência mecânica - os concretos contendo pozolana diminuem a resistência até a idade de 28 dias e, à idades mais avançadas é de se esperar que concretos com pozolanas tenham resistência mais altas que concretos equivalentes sem pozolana. Uma limitação da pozolana é o seu uso em obras onde se necessita de altas resistências do concreto nas primeiras idades.

Apesar de todas essas vantagens, com o fato de que os materiais pozolânicos são mais baratos que o clínquer do cimento Portland, levam a concluir que o custo de comercialização torna-se mais vantajoso, (ZAMPIERI, 1989).

Atualmente, objetivando direcionar a pesquisa na aplicação de resíduos típicos nacionais, na construção civil, muitos pesquisadores tem-se voltado para o estudo do aproveitamento de resíduos industriais e urbanos como: escórias de alto-forno, resíduos cerâmicos, cinzas volantes, cinzas de eucaliptos e cascas de arroz, mamona e amendoim.

Mais recentemente AGOPIAN e JOHN (1984) tem estudado a incorporação de fibras vegetais como: fibras de coco e sisal em argamassas de cimento pozolânico com excelentes resultados.

Logo, a utilização de materiais alternativos está relacionada a interação material-energia-meio ambiente, envolvendo deste modo a participação imprescindível de órgãos governamentais, das indústrias de materiais de construção e daquelas produtoras dos resíduos (CINCOTTO, 1983).

2.1.9 Pesquisas Desenvolvidas na UFPB

O uso de pozolana em argamassas vem sendo estudada por diversos pesquisadores, e tem-se verificado um bom desempenho mecânico desses materiais,

devido a reação de hidróxido de cálcio com a sílica e alumina presentes na pozolana (OLIVEIRA, 1994, 1995a, 1995b).

Na Universidade Federal da Paraíba a partir da década de 80, vem sendo desenvolvidas pesquisas no Laboratório de Solos I, Campos II - Campina Grande, PB. E mais recentemente com a criação do Departamento de Engenharia de Materiais estudos nesta mesma linha de materiais alternativos empregados na construção civil vem sendo desenvolvidos, a fim de aprimorá-los e também obter novos produtos à partir de matérias primas locais, que venham a reduzir o consumo global de energia, como também baratear os custos das edificações, apesar de que, isto só não basta; é necessário haver um esforço para concepção e aprimoramento de técnicas para construção de edificações utilizando estes materiais para que se obtenha um melhor resultado final. Devido ser o custo apenas uma fração do custo global das edificações.

Nesta instituição podemos destacar trabalhos como os de: (KAPEL, 1989); (NEVES, 1989); (SILVA, 1992); (LIMA, 1993); (MOTA, 1994); (SOUZA, 1994).

SILVA (1992), fez uma abordagem do desempenho dos aglomerantes tradicionais, com aglomerantes alternativos produzidos artificialmente à partir de misturas em diversas proporções de: cal/pozolana artificial; cal/cimento Portland pozolânico; cal/cimento Portland comum e cal/cimento Portland pozolânico/pozolana artificial, através de determinações de RCS em argamassas padronizadas pela ABNT.

LIMA (1993), estudou as propriedades caracterizantes e de engenharia de cais pozolânicos na forma isolada, e de argamassa, de acordo com as normas da ABNT, obtidos por misturas de diversas amostras de cais e uma pozolana artificial.

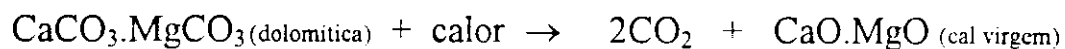
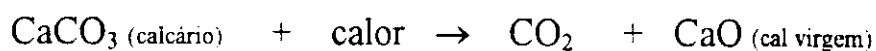
MOTA (1994), estudou argamassas mistas convencionais recomendadas pela ABNT, PINI, e CIGRA.

SOUZA (1994), estudou a utilização de materiais alternativos de baixo custo, como a cal e cal pozolânica, na fabricação de tijolos, obtendo uma RCS dentro dos limites especificados pela ABNT.

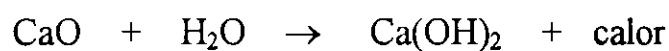
2.2 Cal

A cal, derivada do latim *cale*, é uma substância branca, leve, porosa, muito instável, pois se recompõe até com o gás carbônico do ar, voltando ao CaCO_3 (VERÇOSA, 1975). É o nome genérico de um aglomerante simples, resultante da calcinação de rochas calcárias, que se apresenta sob diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria-prima empregada e do processamento conduzido (BAUER, 1985). A cal inclui tipos físicos e químicos do reagente químico aglomerante, resultante da calcinação de rochas carbonatadas e de depósitos de resíduos de esqueletos de animais, cálcio e magnésio, hidratados ou não (GUTMARÃES, 1986).

Calcinando-se o calcário natural, o carbonato de cálcio submetido a ação do calor à temperatura de aproximadamente 900°C , decompõem-se em óxidos de cálcio (CaO), conhecida como cal viva ou cal virgem, e eliminando o gás carbônico (CO_2); de forma análoga ocorre com o carbonato de magnésio a uma temperatura inferior (em torno de 750°C), processos que são representados nas seguintes equações:



Em presença de água ocorre a hidratação, também denominada de extinção, daí a expressão cal extinta ou hidratada, como mostra as equações a seguir:



Segundo CINCOTTO (1977), a reação da cal virgem com a água é fortemente exotérmica, com calor liberado da ordem de 272 cal/g e 211 cal/g, respectivamente, para a cal virgem cálcica e dolomítica.

A NBR - 7175 (1981), define a cal hidratada como um pó seco obtido pela hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, sendo designada conforme os teores de óxido não hidratados e de carbonatos, indicados no item 5.1 da referida norma.

2.2.1 Classificação da Cal

Segundo alguns estudiosos como: (VERÇOSA, 1975); (PETRUCCI, 1979); (SILVA, 1985) e (BAUER, 1985), as cals são divididas em cals aéreas e cals hidráulicas, dependendo se a pega e endurecimento se realizam ao ar ou em presença de água.

As cals aéreas são constituídas essencialmente de hidróxido de cálcio, podendo conter hidróxido de magnésio e outras impurezas, são materiais tradicionalmente utilizados para diversas finalidades em engenharia, (GUIMARÃES, 1986).

A cal hidratada originada da cal virgem possui diferentes composições e, conseqüentemente nomes diferentes, isto é: cal hidratada cálcica, derivada da cal virgem cálcica, resultante de calcários com óxidos de cálcio entre 90% e 100% do óxido total presente; cal hidratada magnésiana, derivada da cal virgem magnésiana, resultante dos tipos de rochas intermediárias, com óxido de cálcio entre 65% e 90% do óxido total presente e cal hidratada dolomítica, derivada de cal virgem dolomítica, resultante de dolomitos, com óxido de cálcio entre 58% e 65% do óxido total presentes (GUIMARÃES, 1986).

2.2.2 Propriedades e Características

O uso da cal está ligada a história da civilização, desde os povos da Babilônia, do Egito, da Grécia, de Ninive e Roma que utilizavam a cal como um aglomerante eficiente; e hoje, mesmo com o advento do cimento Portland, a cal hidratada tem importância destacada entre os diversos aglomerantes utilizados na confecção de argamassa (GUIMARÃES, 1984).

As cais utilizadas em argamassas são hidratadas, com teores variáveis de hidróxido de magnésio, e servem para aglomerar os agregados, quando reunidos com água, gerando carbonatos. O desenvolvimento dos grãos de carbonato de cálcio, serve para obstruir os vazios da argamassa e, assim, reduzir a penetração de umidade, que em revestimento provoca o surgimento de algas e mofo, e o conseqüente aparecimento de manchas verdes ou pretas. Entretanto, este mesmo fator provoca uma redução na velocidade de carbonatação do hidróxido de cálcio (PINTO, 1986).

O mau armazenamento do produto permite a carbonatação pelo ar. Os carbonatos representam um constituinte inerte, reproduzindo a capacidade aglomerante da cal hidratada. Por isso mesmo, a especificação brasileira limita o teor de anidrido carbônico de amostras coletadas no local de sua produção e em depósitos a 5% e 7%, respectivamente. Além da pureza da matéria prima e da calcinação, é necessário que a hidratação também seja completa (CINCOTTO, 1990).

As cais hidráulicas são classificadas em cais hidráulicas propriamente ditas e cais pozolânicas, conceituação pouco divulgada, pois resulta de diferentes trabalhos exploratórios da viabilidade das cais pozolânicas (SILVA, 1992b e LIMA et al., 1992a). Desta forma, as cais hidráulicas propriamente ditas são produtos resultantes da calcinação à temperatura inferior a do início da fusão (em torno de 1200°) de uma rocha calcária, contendo argilas. Pode haver também óxidos de magnésio, de tal forma que o óxido de cálcio passa a reagir com as impurezas, formando silicatos, aluminatos e ferritas de cálcio (LIMA, 1993).

comprimento → Segundo MULLER (1993), o aumento da proporção de cal hidratada em relação à massa de cimento (traços mais "gordos") aumenta a coesão e a trabalhabilidade

no estado fresco e a deformabilidade no estado endurecido, diminuindo a probabilidade de formação de fissuras.

conv ➔ Apesar de todas as vantagens que a cal apresenta, por um certo período foi da história esquecida, devido a considerável melhoria na qualidade do cimento Portland, e o crescimento populacional; logo construtores de países desenvolvidos passaram a exigir argamassa de pega mais rápida e resistência maior; com isto o cimento substituiu a cal nas argamassas em uso. Mas, logo na primeira década deste século, quando os americanos começaram a estudar as causas dos defeitos e do envelhecimento apresentados pelas construções feitas geralmente com argamassas ricas em cimento Portland, começou a ruir o conceito empírico, até então adotada, que atribuía a esse tipo de argamassa qualidade superior àquela com grande proporção de cal (SILVA, 1992).

A calcinação ou queima da pedra calcária é realizada nos mais variados tipos de formas, sendo mais comuns os contínuos de chama curta, alternando-se neste caso leitos de combustíveis com leitos de calcários. A cor da cal apagada em pó, é muito variada. De acordo com a composição e demais propriedades da matéria prima, varia desde branco-amarelado até o marrom escuro, enquanto o hidróxido de cálcio das cals aéreas é em sua maioria de cor branca (LIMA, 1993).

Segundo CINCOTTO (1990), a cal para a durabilidade das argamassas é inquestionável, uma vez que muitas obras históricas existem em alvenarias aparente. Essa durabilidade porém, é também em função da granulometria do agregado, da proporção aglomerante, da técnica de preparo e da aplicação da argamassa. O emprego da cal na construção civil representa na produção nacional uma fatia de 30%. Esse consumo é ainda inexpressivo se levarmos em conta a demanda habitacional de um país, cuja população cresce em índices consideráveis. As cals podem ocasionar sérios

inconvenientes estéticos com prejuízos econômicos que podem ser evitados através do conhecimento correto de sua função e dos ensaios disponíveis para sua aceitação ou rejeição.

Recentemente, devido a diversos problemas acarretados pelas argamassas de cal, levou MORAIS (1994) a investigar a qualidade de diversas cals hidratadas disponíveis no Nordeste ; chegando a conclusão, que estas apresentaram qualidade superior as utilizadas no sudeste do Brasil.

2.3 Argamassas

A argamassa, material bastante usado em obras de construção civil, é constituída por uma mistura íntima e homogênea de aglomerante(s), agregado(s) miúdo(s) e água. A pasta, mistura isolada do(s) aglomerante(s) com a água, é responsável pela ligação dos grãos de areia entre si, a fim de formar um todo homogêneo (VERÇOSA, 1975). A pasta tem uso restrito em construção civil, não só pelo seu elevado custo, mas, principalmente, pelo efeito de retração que a mesma sofre em decorrência da evaporação do excesso de água utilizada para promover a trabalhabilidade necessária. Segundo a NBR-7200 (1982), a argamassa é definida como sendo a mistura de aglomerantes e agregados minerais com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

As argamassas de assentamento tem como função, unir solidariamente os componentes da alvenaria, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede e

absorver as deformações naturais a que a parede estiver sujeita e conferi-lhe estanqueidade, (CINCOTTO et al., 1985).

SILVA (1992), considera como propriedades essenciais da argamassa a trabalhabilidade, a retenção de água, a capacidade de absorver deformações e a durabilidade. A resistência à compressão não é uma propriedade essencial, pois a argamassa está inserida numa estrutura como um todo, por exemplo, de tijolo e argamassa, logo não há como discutir a resistência da argamassa sem questionar a do conjunto (tijolo-argamassa), mais é útil na análise comparativa de diferentes argamassas.

Segundo MULLER (1993), as argamassas mais ricas em cimento Portland tendem a apresentar maiores resistências mecânicas e impermeabilidade, porém aumentam a probabilidade de formação de fissuras devido a hidratação do cimento provocar enrijecimento e mudanças na consistência inicial pela perda de parte da água de amassamento. Como também, as argamassas em contato com unidades de alvenarias, perdem água para o substrato por absorção capilar, reduzindo acentuadamente a sua adesividade com as unidades de alvenaria.

maior A incidência de fissuras será tanto maior quanto maiores forem a resistência a tração e o modo de deformação da argamassas, assim, as argamassas de revestimento deverão apresentar teores consideráveis de cal. Argamassas ricas em aglomerantes, com maior limite de resistência, acumulam tensões ocasionando um revestimento sem a necessária elasticidade e com isso o aparecimento de fissuras macroscópicas (BAUER, 1993).

Segundo MOTA (1994), foi constatado que os materiais utilizados na confecção das argamassas apresentaram-se adequados à sua utilização, por encontrarem-se dentro dos limites especificados pela ABNT. Com resultados obtidos a partir dos

ensaios mecânicos, verifica-se a superioridade mecânica das argamassas alternativas frente as argamassas convencionais. A substituição das cais convencionais pelas cais pozolânicas permitem uma redução de até 70% na proporção volumétrica do cimento Portland. As argamassas alternativas, assim obtidas, tem o seu custo reduzido em 24% em relação as argamassas convencionais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

Neste capítulo serão citados detalhadamente os materiais e métodos utilizados no decorrer deste projeto de pesquisa. As normas da ABNT serão apenas citadas, enquanto que, os métodos não existentes nesta normalização serão descritos.

3.2 Materiais

Foram utilizados os materiais descritos à seguir.

3.2.1 Cal

Foi utilizada uma amostra de cal Carbomil, por ser entre as cals encontradas no nordeste do Brasil a que possui maior teor de hidróxido de cálcio (LIMA, 1993). Esta cal é proveniente de Fortaleza, fabricada no município de Limoeiro do Norte - CE. Chegando ao laboratório em sacos de papel "Kraft", 3 camadas, de 20 Kg, posteriormente retirada desta embalagem e colocada em seguida em sacos plásticos, etiquetados e conseqüentemente lacrados para que não houvesse modificações nas suas propriedades.

3.2.2 Caulim

Foram utilizadas amostras de caulins, fornecida pela Caulisa S/A situada no Distrito Industrial do Município de Campina Grande - PB. Estes caulins são conhecidos comercialmente como: Coloidal 1º FD Especial beneficiado em peneira ABNT nº 200, Coloidal 1º FD Especial beneficiado em peneira ABNT nº 325, Coating - Clay (semi-coloidal) e Coloidal para revestimento. Os quais chegaram ao laboratório em sacos de papel 'kraft', 3 camadas, sendo retirada desta embalagem e acondicionados em sacos plásticos, consequentemente lacrados para que suas propriedades não fossem alteradas. Estes caulins são provenientes da província Pegmatítica da Borborema, localizada no Município do Junco - PB. Sendo este um caulim primário caulinítico muito puro (FERREIRA, 1973).

3.2.3 Pozolanas

As pozolanas utilizadas foram obtidas artificialmente por tratamento térmico dos caulins, nas seguintes temperaturas de calcinação: 750°C, 800°C, 850°C, 900°C e 950°C; com o propósito de se obter a metacaulinita que é uma pozolana padrão. Este tratamento térmico foi realizado em fornos da marca Quimis, modelo 318-24 e potência de 3500 W. O aquecimento efetuou-se de forma aleatória, após atingir a temperatura máxima, manteve-se esta temperatura por um período de 2 horas, desligando-se o forno e só retirando as amostras após 24 horas. As mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e consequentemente lacradas.

As pozolanas obtidas foram denominadas de PC (pozolanas derivadas de caulim coloidal), PS (pozolana derivada de caulim semi-coloidal), PT (pozolana derivada

de caulim beneficiado em peneira ABNT nº 325) e PD (pozolana derivada de caulim beneficiado em peneira ABNT nº 200).

3.2.4 Areia

A areia utilizada foi uma areia normal, obtida segundo a norma NBR 7214 (1982), à partir de areias usualmente utilizadas em construção civil, e proveniente do Rio Paraíba.

3.2.5 Água

Foi utilizada água potável fornecida pela CAGEPA para o sistema de abastecimento de Campina Grande - PB.

3.3 Métodos

3.3.1 Ensaios De Caracterização

Após secas as amostras de cal e pozolanas a 110°C, para a obtenção de uma massa constante, foram acondicionadas em vidros hermeticamente fechados, até serem realizados os ensaios.

3.3.1.1 Massa Específica Real

A determinação deste ensaio foi realizado a partir da norma NBR - 6474 (1984). O método consiste em determinar o volume que a massa conhecida ocupa dentro do picnômetro com capacidade de 50 ml.

3.3.1.2 Área Específica

As áreas específicas expressas em m^2/g , foram determinadas pelo método do permeamento de Blaine, segundo norma NBR - 7224 (1994). Este método consiste em fazer passar uma quantidade de ar através de uma camada preparada da amostra. O número e tamanho dos poros da camada são em função do tamanho das partículas e determinam a velocidade com que atravessa a camada. Para que o método seja aplicado se faz necessário um permeâmetro ao ar, estufa, balança analítica e amostra padrão.

3.3.1.3 Composição Química

As amostras de caulins e cal foram submetidas à análise química. Estas foram realizadas segundo o método gravimétrico de análise química no Laboratório de Análise Minerais do CCT/PRAI/UFPB, LAM - CG.

3.3.2 Ensaio Tecnológico: Resistência à Compressão Simples (RCS)

3.3.2.1 Confeção das Argamassas

Foram preparadas argamassas de traço em “peso” 1:2,5 e fator água/aglomerante de 0,48. Os aglomerantes utilizados foram compostos por 60% de cal e 40% de pozolana. As pozolanas utilizadas para composição dos aglomerantes foram as citadas no item 3.2.3. Para preparação das argamassas foi utilizado um misturador mecânico, marca “Blakesler”, com três velocidades de rotação. A velocidade era elevada gradualmente à medida que os componentes eram homogeneizados, com o auxílio de uma espátula unia-se os resíduos, que se aderiam as paredes da cuba e do homogeneizador.

3.3.2.2 Moldagem dos Corpos de Provas

Os corpos de provas foram confeccionados em moldes cilíndricos com dimensões de 5 x 10 cm. Para a moldagem, foi necessário inicialmente lubrificar os moldes com óleo na superfície interna, o que garante a estanqueidade, fechando-se conseqüentemente a abertura, utilizando para isto, um dispositivo de fechamento. Dividindo-se o material em quatro camadas aproximadamente iguais, inicia-se o preenchimento do molde, dando-se trinta golpes uniformes, a medida que for adicionada cada camada, utilizando-se para isto, um soquete normal, NBR-7215(1982). Após a última camada nivela-se a superfície com o auxílio de uma espátula.

3.3.2.3 Cura

Os corpos de provas foram submetidos a períodos de cura alternados de 24 h, 50 h, 75 h, 100 h e 175 h, em três temperaturas diferentes, que são: temperatura ambiente ($23 \pm 5^\circ\text{C}$, nesta temperatura os corpos de provas ficaram expostos ao ar, até atingir a idade de ruptura); 45°C e 75°C , sendo estas temperaturas obtidas em uma câmara climatizada com umidade relativa de 100%.

3.3.2.4 Ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS)

A partir de 4 amostras de caulins, cada uma ativada termicamente em 5 temperaturas obteve-se 20 amostras de pozolanas. Para cada tipo de pozolana, assim obtidas, foram preparados 45 corpos de provas curados em 3 temperatura e 5 tempos de cura, todos em triplicatas (3x5x3). Assim, no total 900 corpos de provas foram submetidos a ensaios de RCS. O comportamento dos corpos de provas foi mensurado após os períodos de cura, através do ensaio de RCS, utilizando uma prensa manual de marca Bender de anel dinamométrico com velocidade de deslocamento de 0,1 cm/min, sendo os resultados obtidos em Kg/cm^2 e convertidos para MPa com aproximação de décimos, conforme indicada na norma NBR-7215 (1991). Os resultados são referentes a média aritméticas de três determinações, sendo abandonado o valor que diferenciava da média de $\pm 10\%$; se mais de dois valores diferenciavam, era procedido um novo ensaio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de Caracterização

4.1.1 Massa Específica Real

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos de massa específica real para as amostras de caulins.

Os caulins apresentam valores que variam entre $2,50 \text{ g/cm}^3$ (caulim beneficiado em peneira ABNT nº 200) e $2,76 \text{ g/cm}^3$ (caulim semi-coloidal), estes valores aproximam-se do estudado por SILVA (1992), que foi $2,65 \text{ g/cm}^3$ para um caulim beneficiado em peneira ABNT nº 200 de mesma procedência. Valores de $2,60 \text{ g/cm}^3$ a $2,62 \text{ g/cm}^3$ foram também encontrados por KIYOHARA et al. (1974).

TABELA 1 - Massa Específica Real das Amostras de Caulins

AMOSTRAS	MASSA ESPECÍFICA REAL(g/cm^3)
Caulim coloidal	2,73
Caulim semi-coloidal	2,76
Caulim #325	2,69
Caulim #200	2,50

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos de massa específica real para as amostras de pozolanas ativadas termicamente em diversas temperaturas.

As pozolanas apresentaram valores que variaram de 2,47 g/cm³ a 2,75 g/cm³ (pozolana obtida de caulim coloidal), 2,42 g/cm³ a 2,71 g/cm³ (pozolana obtida de caulim semi-coloidal), 2,42 g/cm³ a 2,59 g/cm³ (pozolana de caulim beneficiado em peneira ABNT nº 325), 2,42 g/cm³ a 2,52 g/cm³ (pozolana de caulim beneficiado em peneira ABNT nº 200) todas ativadas termicamente nas temperaturas de 750°C e 900°C respectivamente. Estes valores se aproximam dos obtidos por SILVA (1992), que apresentaram valores entre 2,72 g/cm³ a 2,40 g/cm³ para pozolanas beneficiado em peneira ABNT nº 200 calcinadas à 750°C e 900°C respectivamente.

De forma geral podemos observar que a massa específica real é praticamente constante dentro de cada temperatura de calcinação. O que confirma ser estes caulins de mesma procedência.

TABELA 2 - Massa Específica Real das Amostras de Pozolanas.

AMOSTRAS	MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm ³)				
	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C
calcinadas nas temperaturas de:					
Poz. coloidal	2,47	2,55	2,51	2,75	2,51
Poz. semi-coloidal	2,42	2,53	2,51	2,71	2,52
Poz. #325	2,42	2,50	2,51	2,59	2,50
Poz. #200	2,42	2,49	2,50	2,52	2,48

4.1.2 Área Específica

Os resultados obtidos para as áreas específicas determinados pelo método de BLAINE para os caulins encontram-se na Tabela 3, onde observamos que:

Os caulins apresentaram valores que variam de $2,03\text{m}^2/\text{g}$ a $2,94\text{m}^2/\text{g}$, bem próximo do valor encontrado por RODRIGUES e FERREIRA(1992), que é de $2,4\text{m}^2/\text{g}$, para caulins de mesma procedência.

TABELA 3 - Área Específica das Amostras de Caulins

AMOSTRAS	ÁREA ESPECÍFICA (m^2/g)
Caulim coloidal	2,94
Caulim semi-coloidal	2,92
Caulim #325	2,36
Caulim #200	2,03

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para as áreas específicas determinados pelo método de BLAINE para todas as pozolanas, onde observamos que:

A área específica, em geral aumenta com a diminuição da granulometria das pozolanas e o aumento da temperatura de calcinação, havendo um decréscimo para as pozolanas calcinadas à $950\text{ }^\circ\text{C}$; isto pode ser devido a formação de compostos cristalinos estáveis nesta temperatura (SOUZA SANTOS, 1975).

TABELA 4 - Área Especifica das Amostras de Pozolana.

AMOSTRAS	ÁREA ESPECÍFICA (m ² /g)					
	calcinadas nas temperaturas de:	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C
Poz. coloidal		2,16	1,61	1,70	2,69	1,78
Poz. semi-coloidal		1,95	1,37	1,65	2,66	1,83
Poz. #325		1,72	1,35	1,62	1,67	1,48
Poz. #200		1,22	1,28	1,60	1,76	1,32

4.1.3 Composição Química

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos na análise química da cal e dos caulins. Podemos observar que a cal apresenta teor de CaO de 70,61%, MgO de 2,78%, PR de 25,04% e RI de 0,02%, tratando-se de uma cal calcítica, pois a relação CaO/MgO é superior a 1,39. Os caulins apresentaram teor de SiO₂ entre 45,96% (caulim coloidal) e 46,04% (caulim beneficiado em peneira ABNT nº 325) e teor de Al₂O₃ entre 39,71% (caulim semi-coloidal) e 40,16% (caulim beneficiado em peneira ABNT nº 200), que se aproximam dos especificados por SOUZA SANTOS (1975), que são de 46,5% para SiO₂ e 39,5% para Al₂O.

TABELA 5 - Composição Química da Cal e Caulins.

AMOSTRA	RI %	PR %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %
Cal	0,02	25,04	0,78	0,61	0,23	70,61	2,78	___	0,20
Caulim coloidal	0,03	13,04	45,98	39,91	0,38	Nihil	___	Nihil	___
Caulim semi-coloidal	0,43	13,42	45,98	39,71	0,31	Nihil	___	Nihil	___
Caulim #325	0,49	13,10	46,04	39,94	0,38	Nihil	___	Nihil	___
Caulim #200	0,37	13,09	45,96	40,16	0,31	Nihil	___	Nihil	___

4.2 Ensaio Tecnológico: Resistência à Compressão Simples (RCS).

Para se estudar a variação da RCS sob a influência de fatores como: tipo de pozolana derivada de caulins nas diversas granulometrias, tempo de cura das argamassas, temperatura de reação pozolana artificial e cal e temperatura de calcinação das pozolanas, foram utilizadas 300 amostras de argamassas, como explicado na parte de materiais e métodos no sub-ítem 3.3.2.4.

Portanto, para melhor compreensão os dados de RCS (Anexo 5) das 300 amostras, são organizados em quatro sub-ítems a seguir. Em cada um destes, são discutidos os casos representativos, os demais são incluídos no anexo para serem verificados, em forma de gráficos de barra e de curvas.

4.2.1 Tipo de Pozolana (Derivadas de Caulins nas Diversas Granulometrias).

A Figura 1 mostra a influencia do tipo de pozolana sobre a RCS para as argamassas compostas de cal e pozolanas, nos casos onde podemos observar que a RCS diminuiu a medida em que se aumentou o tamanho de partícula dos caulins utilizados para a obtenção das pozolanas ($PC < PS < PT < PD$). Isto pode ser explicado, devido a formação de menos quantidade da fase aglomerante para tamanhos de partículas maiores, já que a sua área superficial é inferior à de partícula menores, fazendo com que a resistência diminua.

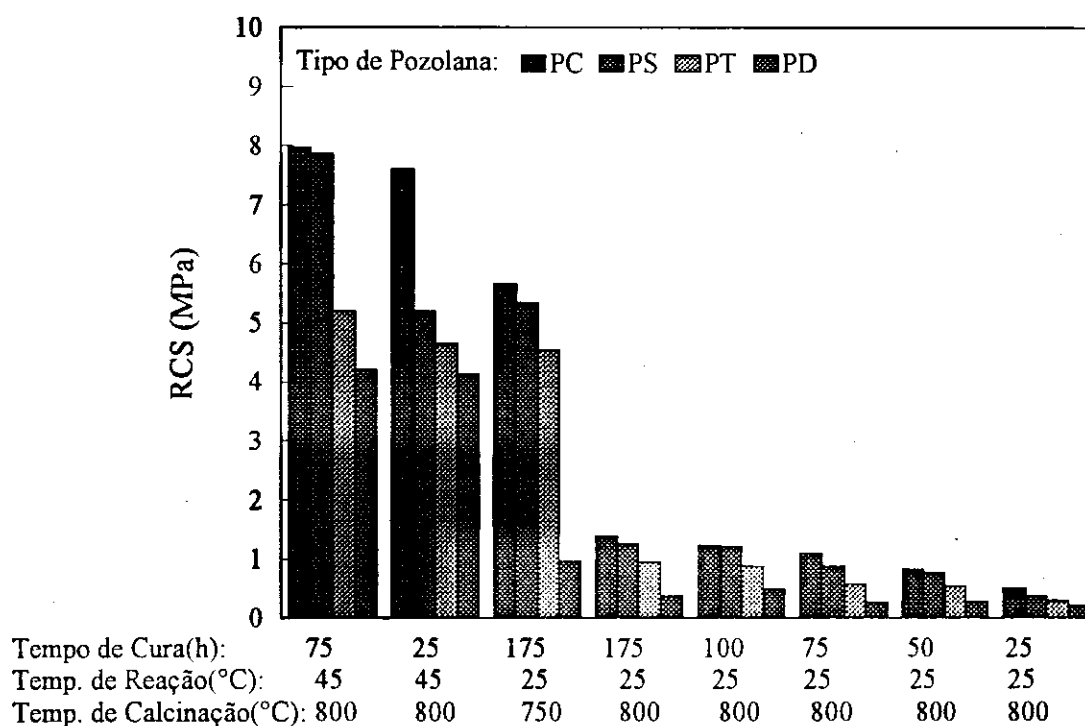


FIGURA 1: Efeito do Tipo de Pozolana (derivadas de caulins nas diversas granulometrias) sobre as RCS das Argamassas.

Entretanto, observamos que nos outros casos, os quais são mostrados no Anexo 1, o comportamento de diminuição da RCS com o aumento do tamanho de partícula dos caulins usado na obtenção das pozolanas, foi mascarado pela influência de outros fatores.

4.2.2 Tempo de Cura

As Figuras 2 e 3 mostram o efeito do tempo de cura sobre a RCS para argamassas compostas de cal e pozolana derivadas de caulins com diversas granulometrias e com temperaturas de calcinação variadas.

Os resultados serão apresentados em dois grupos; o primeiro mostrará a tendência de aumento de RCS e o segundo a constância de valores de RCS.

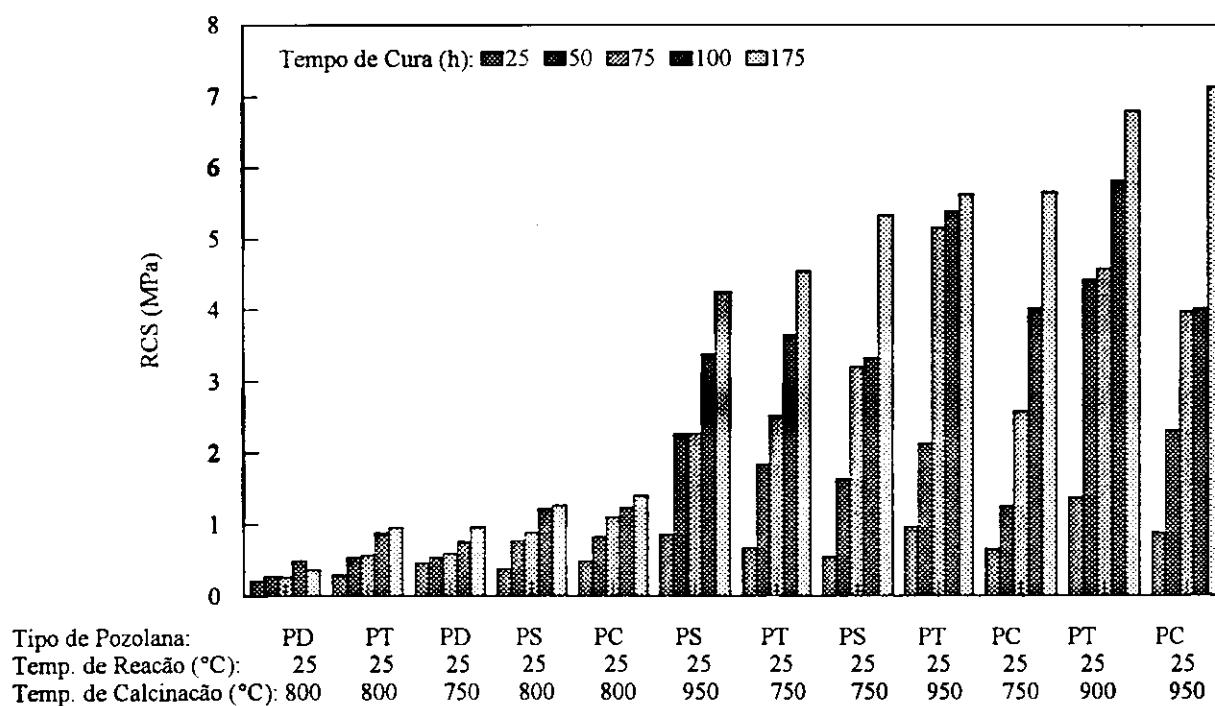


FIGURA 2: Efeito do Tempo de Cura das Argamassas Compostas de Cal e Pozolana sobre a RCS (tendência de aumento de RCS).

Na Figura 2 observa-se um aumento linear da RCS com o tempo de cura. Este fato pode ser explicado devido a uma maior formação da fase aglomerante a medida em que se aumenta o tempo de cura.

Na Figura 3 observa-se que de forma geral há uma constância de valores de RCS com o tempo de cura. Isto ocorre em consequência da alta temperatura de reação, o que leva as fases aglomerantes a serem quase que totalmente formadas nas primeiras horas de cura.

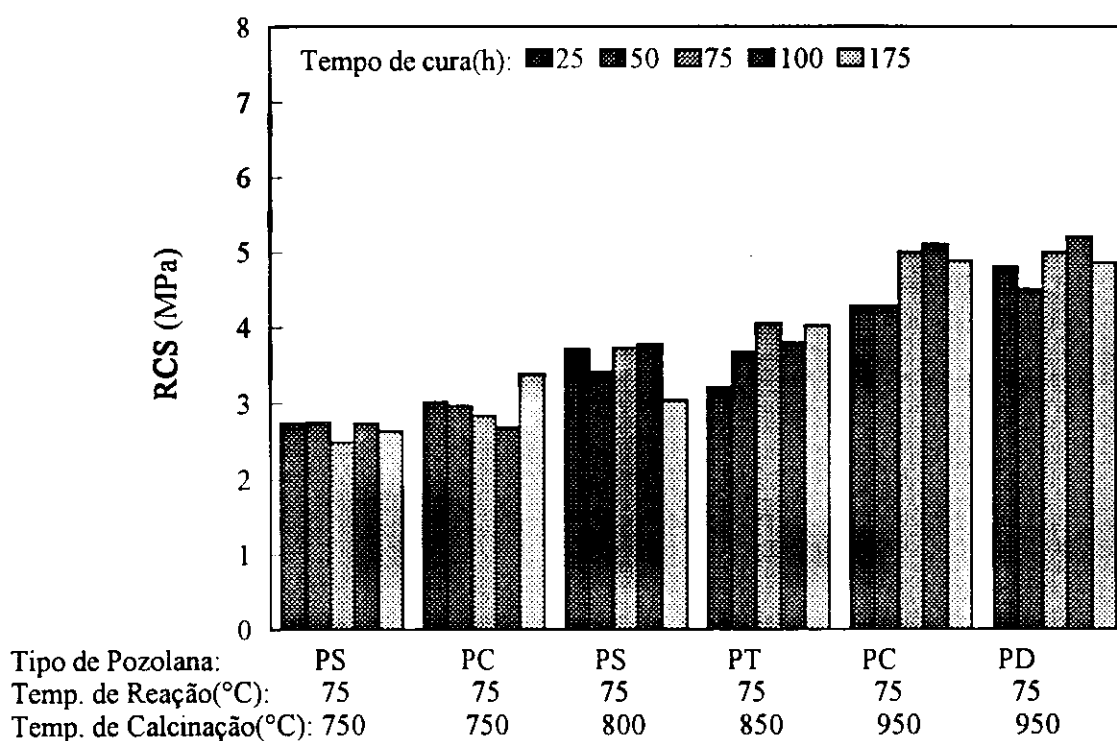


FIGURA 3: Efeito do Tempo de Cura das Argamassas Compostas de Cal e Pozolana sobre a RCS.

4.2.3 Temperatura de Reação

As Figuras 4, 5 e 6 mostram a influência da temperatura de reação sobre a RCS para argamassa composta de cal e pozolana derivadas de caulins com diversas granulometrias, temperaturas de calcinação e tempos de curas variados.

Na Figura 4 observa-se o aumento da RCS com a temperatura de reação; este fato pode ser explicado levando-se em consideração que, com o aumento da temperatura de reação aumenta-se a velocidade de reação entre a cal e a pozolana produzindo assim maior quantidade de fases aglomerantes.

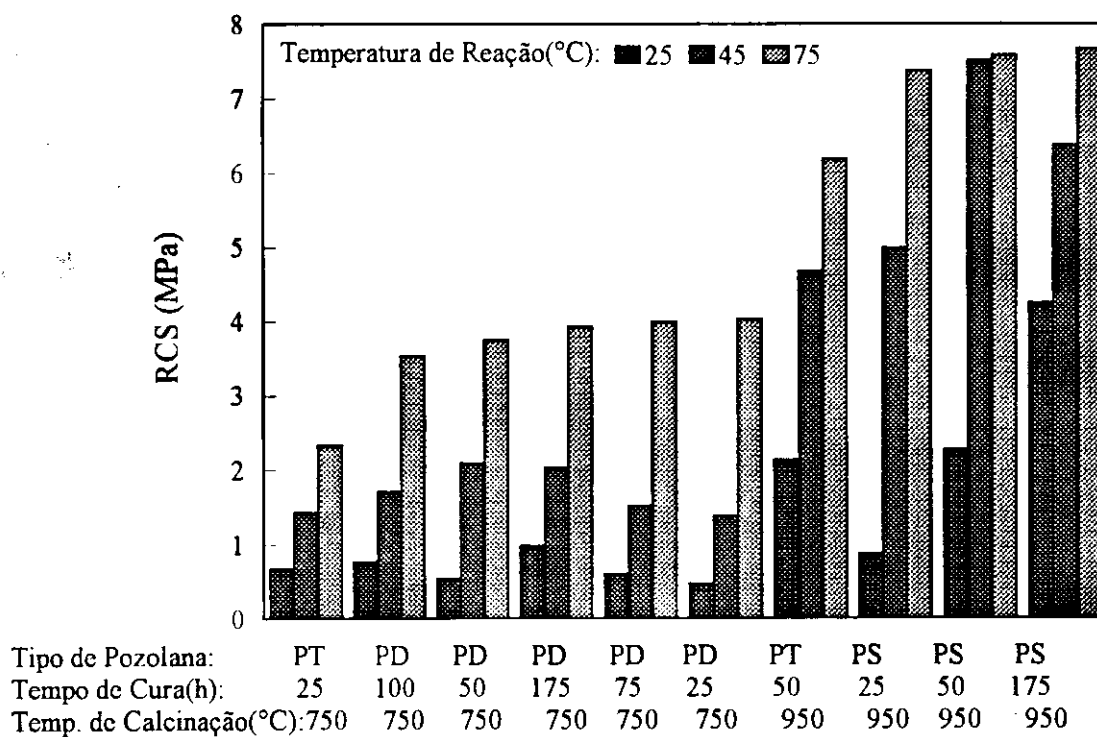


FIGURA 4: Efeito do Temperatura de Reação Pozolana-Cal sobre a RCS das Argamassas.

Na Figura 5 observa-se que a RCS aumentou significativamente até a temperatura de reação de 45°C e decresceu para a temperatura de reação de 75°C. Este decréscimo pode ter sido ocasionado pelo possível crescimento de grãos, decorrente geralmente de um prolongado tempo de cura a elevadas temperaturas de reação. Sendo este fato constatado através de fissuras nos corpos de provas nestas condições.

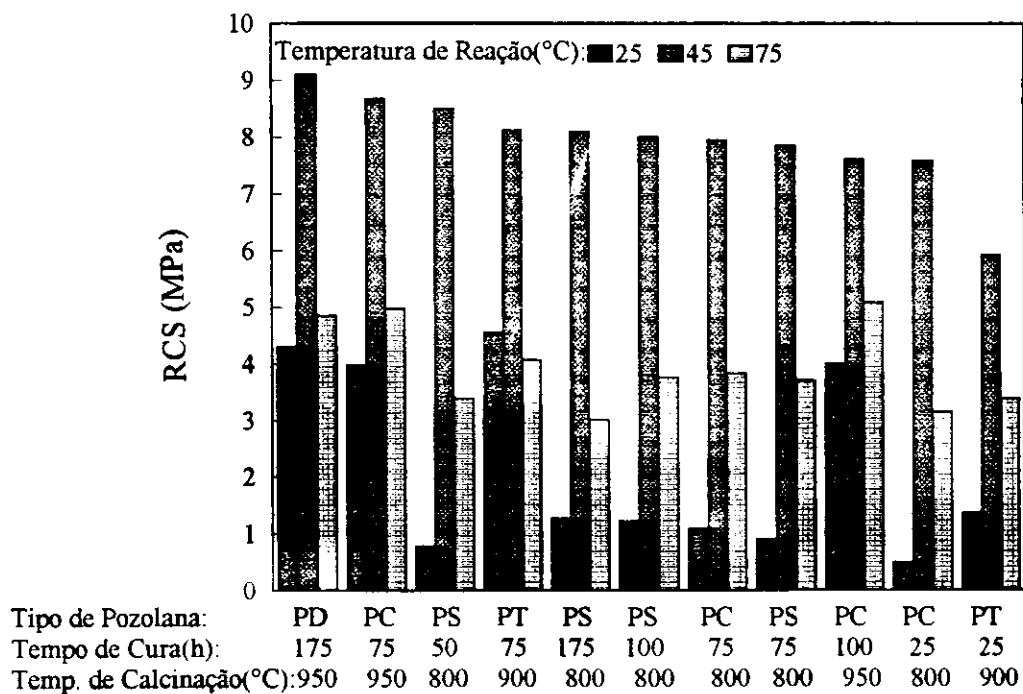


FIGURA 5: Efeito do Temperatura de Reação Pozzolana-Cai sobre a RCS das Argamassas.

Na Figura 6 observa-se que a RCS decresceu consideravelmente para a temperatura de reação de 45°C e aumentou para a temperatura de reação de 75°C, tendo ainda em geral se mostrado inferior à obtida para a temperatura de reação de 25°C. Este comportamento, de acordo com as condições estudadas, não foi possível explicar.

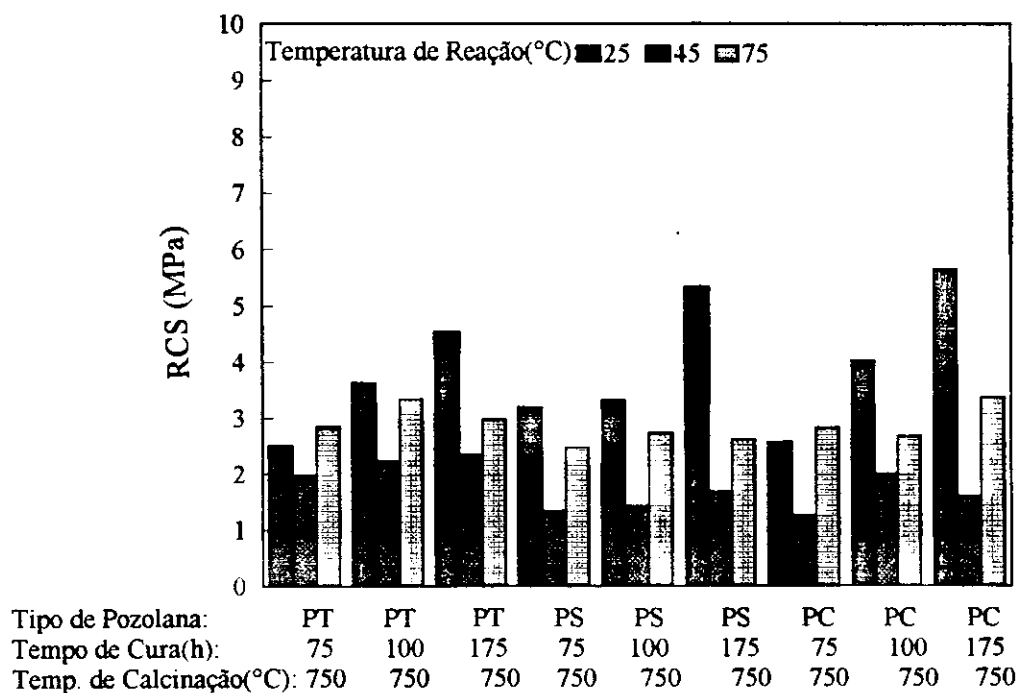


FIGURA 6: Efeito do Temperatura de Reação Pozzolana-Cal sobre a RCS das Argamassas.

4.2.4 Temperatura de Calcinação

As Figuras a seguir mostram a influência da temperatura de calcinação das pozolanas sobre a RCS das argamassas; e estão divididas em dois grupos.

O primeiro grupo (Figuras 7, 8 e 9) apresenta uma tendência geral de aumento de RCS com a temperatura de calcinação, o que é esperado. Enquanto que, no segundo grupo (Figuras 10, 11 e 12) observa-se um comportamento similar ao primeiro grupo em termos de variação de RCS, apesar de haver um acréscimo acentuado da RCS na temperatura de calcinação das pozolanas à 800°C. É difícil fazer uma interpretação consistente deste comportamento, no entanto, este fato pode ter sido influenciado por algumas das variáveis, como por exemplo o tipo de caulim utilizado para a obtenção das pozolanas, ocasionando a formação de uma quantidade maior da fase aglomerante.

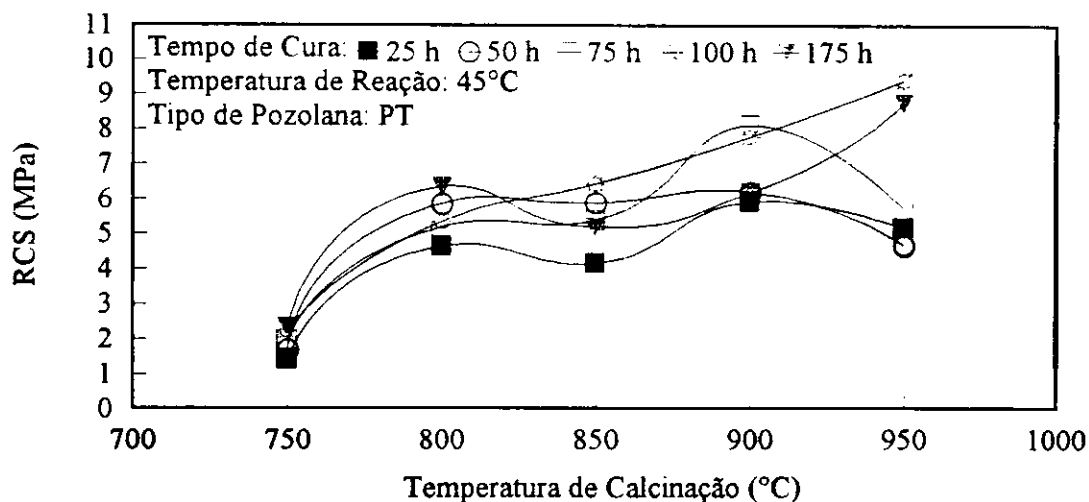


FIGURA 7: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

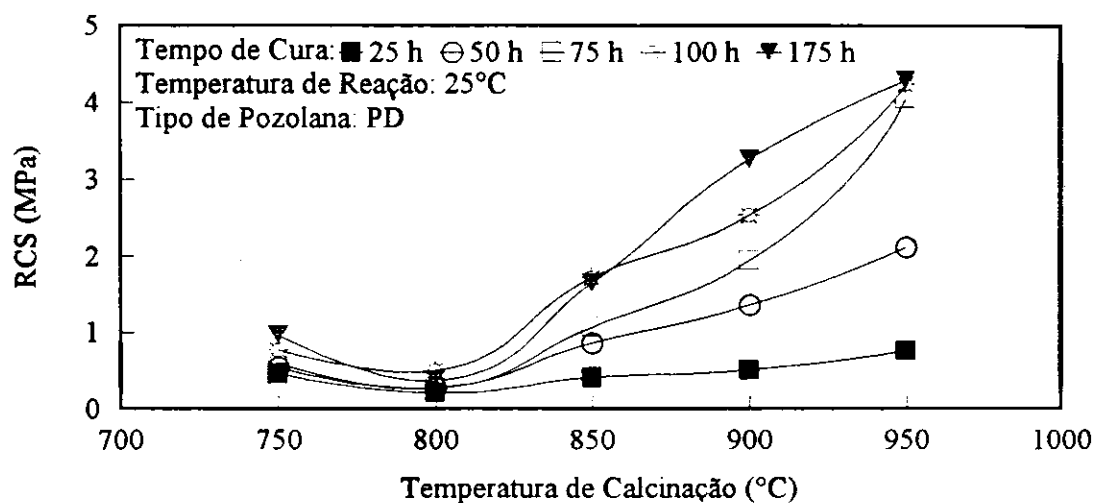


FIGURA 8: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

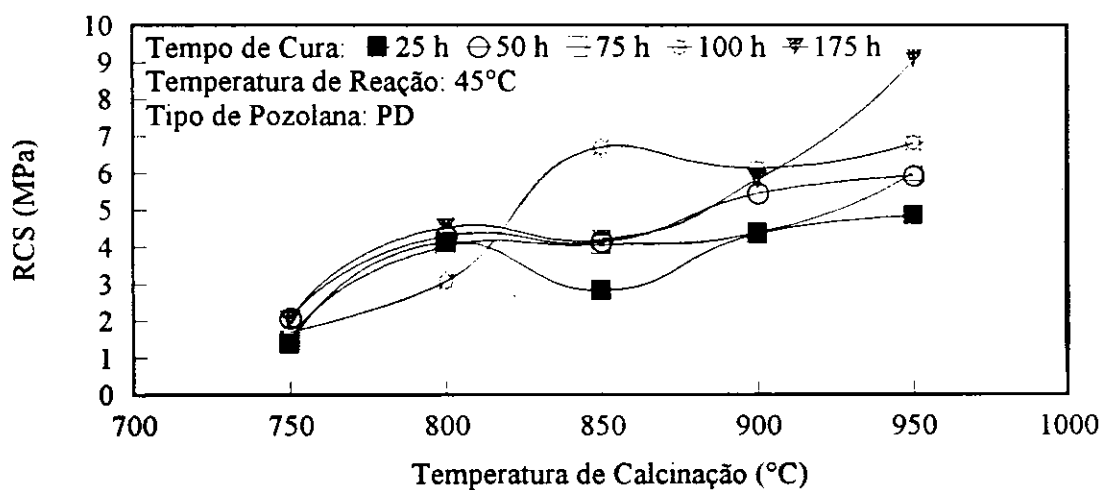


FIGURA 9: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

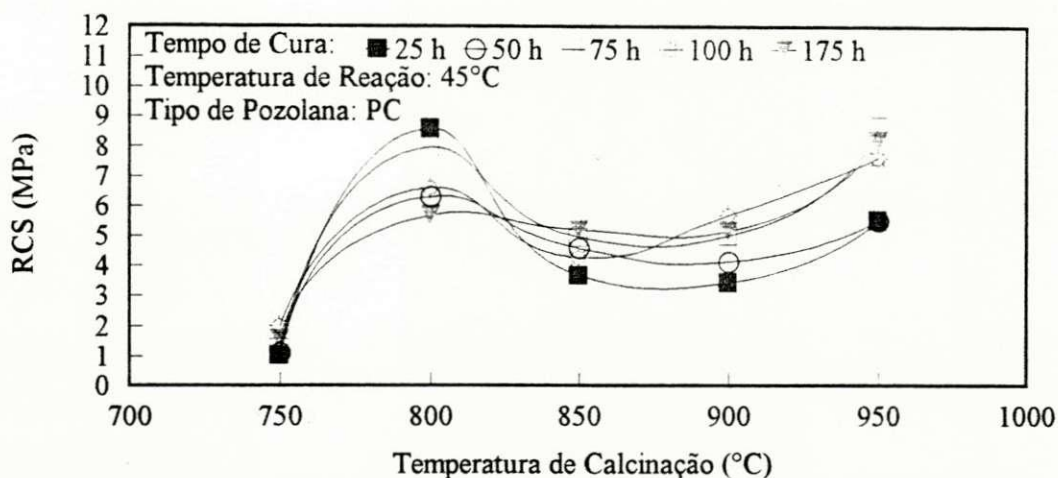


FIGURA 10: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

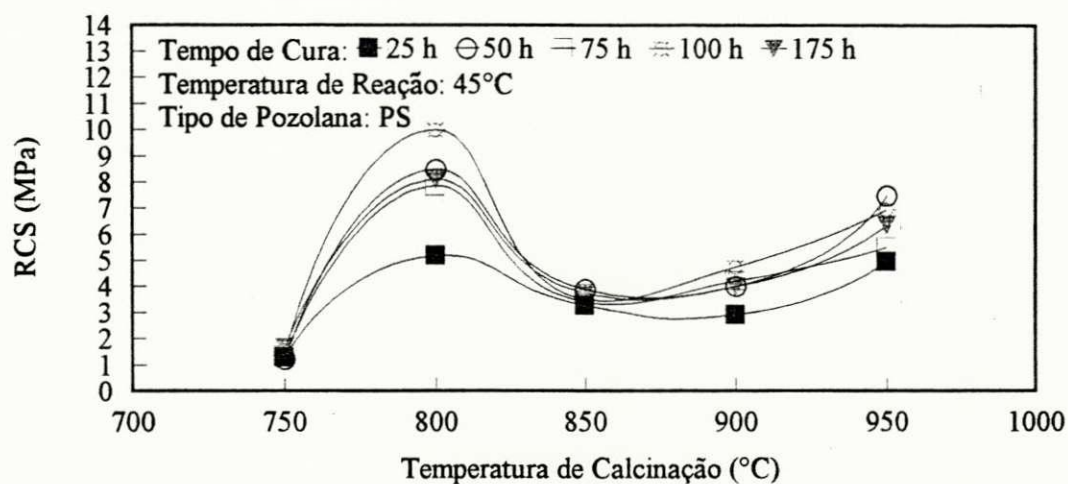


FIGURA 11: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

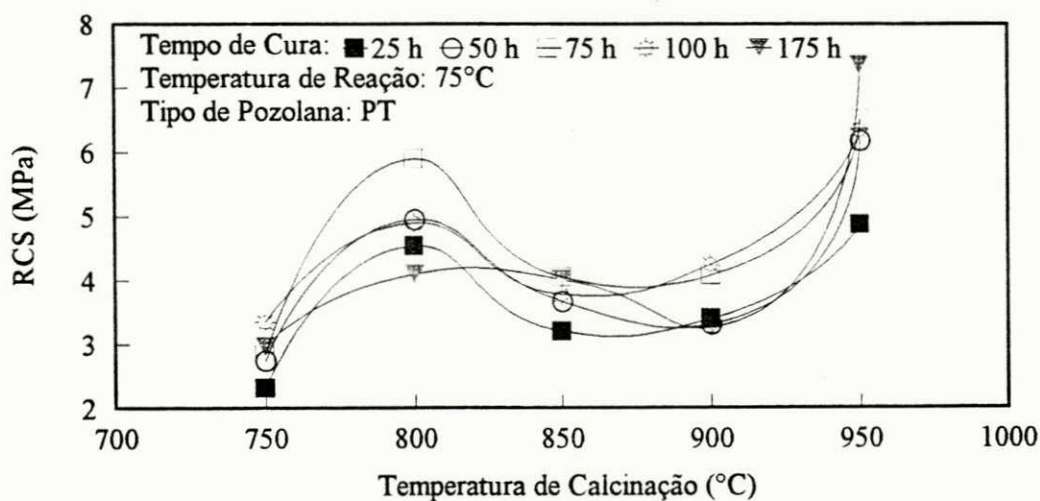


FIGURA 12: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

5. CONCLUSÕES

A partir de estudos da reação pozolana artificial e cal, objetivou-se verificar a influência de fatores como: tipo de pozolana, tempo de cura, temperatura de reação e temperatura de calcinação sobre a RCS das argamassas. Portanto para cada fator estudado chegamos às seguintes conclusões:

5.1 Tipo de Pozolana

No geral a RCS diminuiu com o aumento do tamanho de partícula dos caulins utilizados para a obtenção das pozolanas.

Em alguns casos este comportamento foi mascarado pela influência de outros fatores.

5.2 Tempo de Cura

Foram observadas duas tendências gerais de comportamento, na primeira verificou-se o aumento de RCS com o tempo de cura, a baixa temperatura de reação

(25°); na segunda a RCS permanece praticamente constante a alta temperatura de reação (75°C).

5.3 Temperatura de Reação

A RCS aumenta com a temperatura de reação para as pozolanas obtidas a partir de caulins com tamanho de partícula maiores (PD, PT e PS).

Para a temperatura de reação de 45°C, os valores de RCS para pozolanas obtidas a partir de caulins com tamanhos de partículas menores, atingiram um máximo e depois decresceram para a temperatura de 75°C.

5.4 Temperatura de Calcinação

A RCS das argamassas de forma geral aumentou com a temperatura de calcinação das pozolanas.

Para a temperatura de calcinação de 800°C observou-se em alguns casos o acréscimo acentuado da RCS.

De forma geral podemos concluir que a resistência à compressão simples aumentou quando: o tipo de pozolana utilizado nas argamassas era de tamanho de partícula menor; quando se aumentava o tempo de cura; e quando se aumentava a temperatura de reação e a temperatura de calcinação das argamassas.

6. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com o objetivo de aprimorar o comportamento dos fatores estudados, sugerimos alguns pontos que julgamos importantes para dar continuidade a esta pesquisa.

- a) estudar o comportamento de argamassas com diferentes traços e fatores água-aglomerante.
- b) estudar outras temperaturas de reação intermediárias as estudadas, visto que na temperatura de reação de 45°C obteve-se valores máximos de RCS.
- c) estudar tempos de curas mais prolongados a fim de obter melhores valores de RCS.
- d) fazer uma melhor caracterização das pozolanas utilizadas, através de Análise Térmica Diferencial e Análise Térmica Gravimétrica.
- e) fazer interrupções das reações pozolana-cal, utilizando um inibidor, e através de Difração de Raios-X verificar as fases formadas.
- f) estudar a morfologia das partículas, através de ensaios de Microscopia Eletrônica.
- g) estudar a cinética da reação pozolana e hidróxido de cálcio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABNT, Areia Normal para Ensaio de Cimento, NBR - 7214, 1982.

ABNT, Cal Hidratada para Argamassa, NBR -7175, 1992.

ABNT, Determinação de Massa Específica Real, NBR - 6474, 1984.

ABNT, Cimento Portland Pozolânico - Especificação, NBR - 5736, 1986.

ABNT, Método de Determinação da Atividade Pozolânica em Cimento Portland Pozolânica, NBR - 5753, 1980.

ABNT, Ensaio de Cimento Portland, NBR - 7215, 1982.

ABNT, Revestimento de Paredes e Tetos com Argamassa - Materiais, Preparo, Aplicação e Manutenção Procedimento, NBR - 7200,1982.

ABNT, Cimento Portland, Determinação da Resistência à Compressão, NBR - 7215, 1991.

ABNT, Cimento Portland e Outros Materiais em Pó - Determinação da área específica, NBR - 7224, 1994.

ASTM, Fly and Raw or Calcined Natural Pozolanic for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, C 618, Philadelphia, 1985.

AGOPIAN, V. e JOHN, V. M., **Introdução ao Sistema de Painéis IPT/IDRC, Argamassa de Cimento de Escória Reforçado com Fibras de Coco. Reciclagem de Resíduos para Redução de Custos na Construção Habitacional, Belo Horizonte, MG, 1984.**

BAUER, R. J. F., **Falhas em Revestimento, Anais do Encontro Argamassas Industrializadas, Usos e Desempenhos**”, São Paulo, 1993.

BAUER, F. L. A., **Materiais de Construção**, Editora Livros Técnicos e Científicos, 2^o edição, Rio de Janeiro, 1985.

CASTRO SOBRINHO, J. F., **Pozolana Como Material de Construção: Sua Fabricação Artificial em Urubupugá**, Centrais Elétricas de São Paulo, São Paulo, 1970.

CINCOTTO, M. A., **Caracterização da Cal para Argamassas**, Instituto de Pesquisas do Estado de São Paulo S/A(IPT), A Construção, Editora Pini, São Paulo, 1990.

CINCOTTO, M. A., **Seleção de Materiais quanto a Atividade Pozolânica**, A Construção, Editora Pini, São Paulo, 1984.

CINCOTTO, M. A., MARQUES, J. C. e HELENE, P.R.L., **Propriedades das Argamassas Cimento-Cal-Areia**, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A(IPT), São Paulo, 1985.

CINCOTTO, M. A., **Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil**, Tecnologia das Edificações, Editora Pini, São Paulo, 1983.

CINCOTTO, M. A., **Estudo da Composição Química da Cal Hidratada Produzida no Estado de São Paulo**, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 1977.

DRON, R., BRIVOT, F., **Bases Minéralogiques de Sélection des Pouzzolanes**, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1977.

DRON, R., **L'Activité Pouzzolanique**, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 1978.

FERREIRA, H. C., **Caracterização e Aplicação Industriais de Argila, Caulim e Feldspatos do Nordeste Brasileiro (Estado da Paraíba e Rio Grande do Norte)**, Tese de Doutorado, DEQ/EPUSP, São Paulo, 1973.

FREITAS, J. A., SILVA, C. R. S. e FERREIRA, H. C., **Desempenho Mecânico de Cais Pozolânicas Curados em Câmara Climatizada**, Anais do 38º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 298, Blumenau, SC, 1994.

KAPEL, I. B., NEVES, G.A., e FERREIRA, H. C., **Previsão da Atividade Pozolânica Através do Uso da Análise Térmica Diferencial**, Cerâmica, 35(238), 1989.

KIHARA, Y., E SHUKUZAWA, J. L. **Contribuição ao Estudo das Pozolanas no Brasil**, Cerâmica 28(145), 15, 1982.

KIHARA, Y., **O Estudo das Cinzas Volantes Brasileiras**, Cerâmica 32(193), 31, 1986.

KIHARA, Y., BUCHER, H. R. E., **Microsílica: Uma Nova Pozolana Artificial**, XXX Congresso Brasileiro de Cerâmica, Rio de Janeiro, Abril, 1986.

KIYOHARA, P. K., SOUZA SANTOS, P., SOUZA SANTOS, H. e FERREIRA, H. C., **Algumas Propriedades Físico-Químicas de Caulins da Amazônia (Rio Jari e Rio Capim) e do Estado da Paraíba (Campina Grande)**, 7^o Convenção Anual da Associação Brasileira de Celulose e Papel, p. 49, São Paulo, 1974.

GUIMARÃES, J. E. P., **A Indústria de Cal na Brasil**, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo, 1986.

GUIMARÃES, J. E. P., **A Cal: Sua Origem, Seus Tipos, Sua Aplicação e Importância Econômica e Social, Sua Participação nas Obras e nas Argamassas da Engenharia Civil**. Cerâmica 30(196), 1984.

LEA, F. M., **The Chemistry of Cement and Concrete**, 3 ed., Edward Arnold, London, 1970.

LEA, F. M., **The Chemistry of Pozzolans**, In: Symposium on the Chemistry of Cement, Proc., p. 460, Stockholm, 1938.

LIMA, J. B. M., **Cais Pozolânicas, Caracterização e Desempenho Mecânico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campina Grande - PB, 1993a.

LIMA, J. B. M., FERREIRA, H. C. e NEVES, G. A., **Cais Pozolânicas, Caracterização e Desempenho Mecânico**, X Congresso Brasileiro de Ciências de Materiais, p. 205 - 207, São Paulo, 1992.

LIMA, J. B. M., NEVES, G. A. e FERREIRA, H. C. **Estudo do Envelhecimento de Cais Pozolânicas**, Anais do Primeiro Encontro de Engenharia de Materiais do Norte e Nordeste, p. 14, Campina Grande, PB, 1993b.

MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., **Influência da Área Específica na Estabilização de Solos Lateríticos com Cal**, Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Cerâmica, Brasília, p 852, Maio de 1987a.

MACHADO, E.C.C. e FERREIRA, H.C., **Influência da Área Específica na Estabilização de Solos Lateríticos com Cal - Resultados Preliminares**, Anais da XXII Reunião Anual de Pavimentação, p 243, Maceió-Al, Agosto de 1987b.

MASSAZZA, F., Structure of Pozzolanic and Fly-Ash and the Hydration of Pozzolanic and Fly-Ash Cements, International Congress the Chemistry of Cement, 7th, Paris, 1980.

MASSAZZA, F., Chimica Delle Aggiunte Pozzolâniche e dei Cementi di Miscella. II Cement, 73 (1) 3- 38, Roma, 1974.

MIELENZ, R. C., WILTE, L. P. e GLANTZ, O. J., Effect of Calcination no Natural Pozzolans, In: Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes, p. 43-92, Phiadelphia, 1949.

MOTA, N. M. B., Cais Pozolânicas Para uso em Argamassas de Revestimentos e Alvenarias. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campina Grande, PB, 1994.

MORAIS, C. R. S., Caracterização Física de Cales Hidratadas do Nordeste Brasileiro Segundo Normas da ABNT, Relatório de Estágio Técnico, IPT, São Paulo, SP, 1994.

MULLER, M. S. K. e BUCHER, H. R. E., Argamassas Industrializadas para Revestimento de Superfícies e Assentamento de Alvenaria, Anais do Encontro "Argamassas Industrializadas - Uso e Desempenho", São Paulo, 1993.

NEVES, G. A., **Influência da Área Específica na Atividade Pozolânica do Sistema Solo-Cal**, Dissertação de Mestrado, UFPB, 1989.

NEVES, G. A., FERREIRA, H.C., e LUCENA, F. B., **Influência da Área Específica na Atividade Pozolânica de Solos Lateríticos da Região Norte e Nordeste do Brasil**, *Cerâmica*, 34(224), 144, 1988a.

NEVES, G. A., FERREIRA, H.C., e LUCENA, F. B., **Estudo de Correlações entre a Área Específica e Atividade Pozolânica de Solos Lateríticos da Região Norte e Nordeste do Brasil**, *Anais da XXIII Reunião Anual de Pavimentação*, Florianópolis-SC, p 139, Outubro, 1988b.

OLIVEIRA, D. F., SWARNAKAR, R. e FERREIRA, C. H., **A Study Pozzolanic Reaction of Metakaolinite of Northeast of Brasil Origin**. *Anais do 38^o Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Blumenau, SC, 1994.

OLIVEIRA, D. F., SWARNAKAR, R., MORAIS, C. R. S. e FERREIRA, C. H., **Cinética da Reação Metacaulinita e Hidróxido de Cálcio**. *Anais do 39^o Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Águas de Lindoia, São Paulo, 1995a.

OLIVEIRA, D. F., SWARNAKAR, R. e MORAIS, C. R. S. H., **Influência do Tamanho de Partículas dos Caulins e da Temperatura de Reação na Resistência Mecânica de Argamassas de Cal e Pozolana Artificial**. Anais do 39^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, Águas de Lindoia, São Paulo, 1995b.

PAPADAKIS, M. e VENUAT, M., **Enpleo en los Cementos y Homigones**, Fabricacion, Características y Aplicaciones de los Diversos Tipos dse Cemento, Técnicas Asociadas, p. 170-1, Barcelona, 1968.

PETRUCI, E. G. R., **Concreto de Cimento Portland**, Editora Globo, Porto Alegre, 1979.

PINTO, S., **Estabilização de Areia com Adição de Cal e Cinza Volante**, Dissertação de Mestrado, COPPE, Rio de Janeiro, 1971.

PINTO, J. A. N., **Elementos para Dosagem de Argamassa**, Santa Maria, Edições UESM, 1986.

RAMEZAIANPOUR, A. A. and CABRERA, J. G., **The Measurement of Lime Active of Natural and Artificial Pozzlan**s, Internal Publication of Departmet of Civil EGINEERING, University of Leeds, Leeds, LS2, 9JT, U.K., 1975.

RASSAK and BHASKER, M. C., **Pozolanic Activity of Pulverized Fuel Ash**,
Cemente and Concrete Research, vol. 5, Nº 4, p. 363-375, 1975.

RODRIGUES, D. P., FERREIRA, H. C., **Influência de Diversos Aditivos na
Área Específica de Argilas Esmectíticas, Cauliniticas e Plásticas para
Cerâmica Branca**, In: Congresso de Pós-Graduação em Ciências e
Engenharia de Materiais, São Carlos, 1992.

RUAS, A. P. L., **Produção de Pozolanas Artificiais**, 25a. Reunião de
Técnicas da Industria do Cimento, ABCP, São Paulo, 1977.

SAAD, M. N. A., ANDRADE, W. P. e PAULON, V. A., **Propriedades de
Concreto Massa Contendo Pozolana de Argila**, Instituto Brasileiro do
Concreto (IBRACON), Colóquio sobre Concreto Massa, São Paulo, 1983a.

SAAD, M. N. A., OLIVEIRA, P. J. R. e SALLES, E. M., **Avaliação das
Propriedades Pozolanicas de Argilas e Cinzas Volantes**, Instituto
Brasileiro do Concreto (IBRACON), Colóquio sobre Concreto Massa, São
Paulo, 1983b.

SCANDIUZZI, L., ANDRIOLO, F. R., **Concreto e Seus Materiais:
Propriedades e Ensaio**s, São Paulo, Pini, 1986.

SCANDIUZZI, L., ANDRIOLO, F. R., **Materiais Pozolânicos - Utilização e
Benefícios**. IBRACON, 1981.

SILVA, M. R., **Materiais de Construção**, Editora Pini, São Paulo, 1985.

SILVA, C. R., **Cais Aditivadas com Pozolana e Cimento Portland**,
Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande, PB, 1992.

SILVA, C. R., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., **Estudo Comparativo
entre Aglomerantes Pozolânicos**, Anais do 36º Congresso Brasileiro de
Cerâmica, 915, Caxambú, 1992a.

SILVA, C. R. e FERREIRA, H. C., **Estudo Comparativo entre Cais
Pozolânicos**, Anais do Simpósio Franco Brasileiro de Ciências dos
Materiais, Ouro Preto, 1992b.

SOUZA SANTOS, P. **"Tecnologia de Argilas Aplicadas às Argilas
Brasileiras"**, Vol. II, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1975.

SOUZA SANTOS, P. **Argilas para Pozolanas**, Cerâmica, 12(47/46): 294-
311, São Paulo, 1966.

SOUZA, J., **Estudo dos Materiais de Solo-Cimento-Cal e Solo-Cimento-
Cal Pozolânica para Uso em Habitação Popular**. Dissertação de
Mestrado, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campina Grande - PB,
1994.

STULZ, R. e MUKERJI, K., **A Catalogue of Potential Solutions Revised**,
Enlarged Edition, 1984.

VERHASSELT, A., **Caractérisation de la Pouzzolanicité de Cendres**

Volantes, 7 th Internacional Congress on the Chemistry of Cement, Paris,
1980.

VERÇOSA, E. J., **Materiais de Construção**, Vol. 1, PUC. EMMA, Porto

Alegre, 1975.

ZAMPIERI, V.A., **Mineralogia e Mecanismo de Ativação e Reação das**

Pozolanas de Argilas Calcinadas, Instituto de Geociências, Dissertação de
Mestrado, São Paulo, 1989.

ANEXO 1

RCS EM FUNÇÃO DO TIPO DE POZOLANA

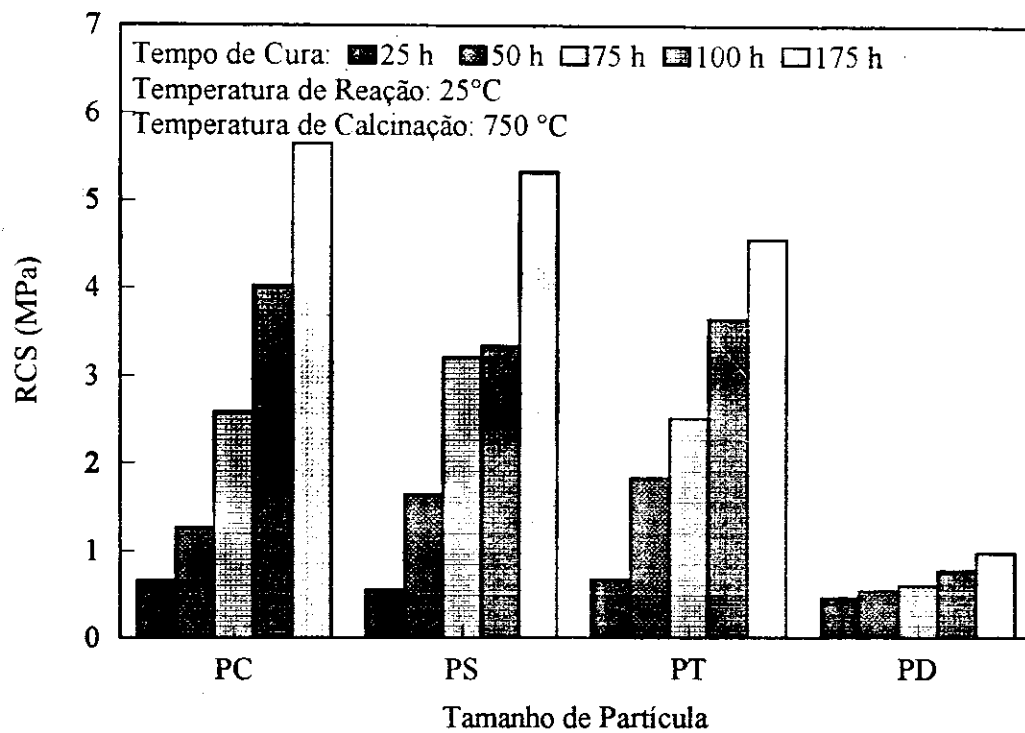


FIGURA A1.1: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana

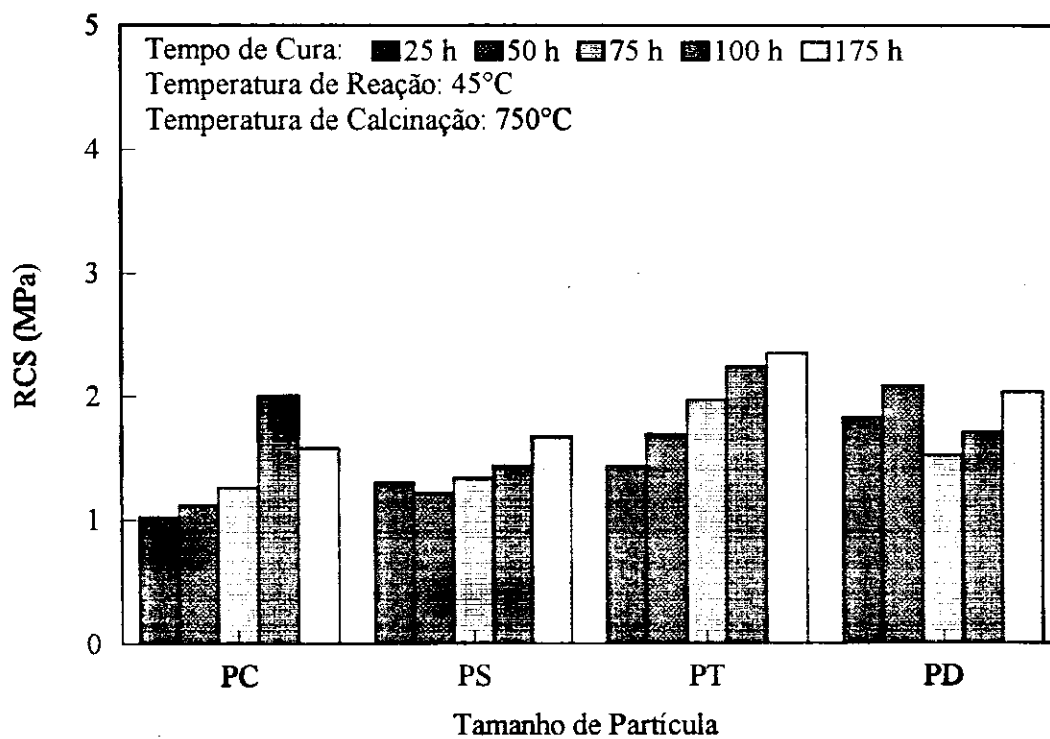


FIGURA A1.2: Resistência à Compressão Simples em Função de Tipo de Pozzolana.

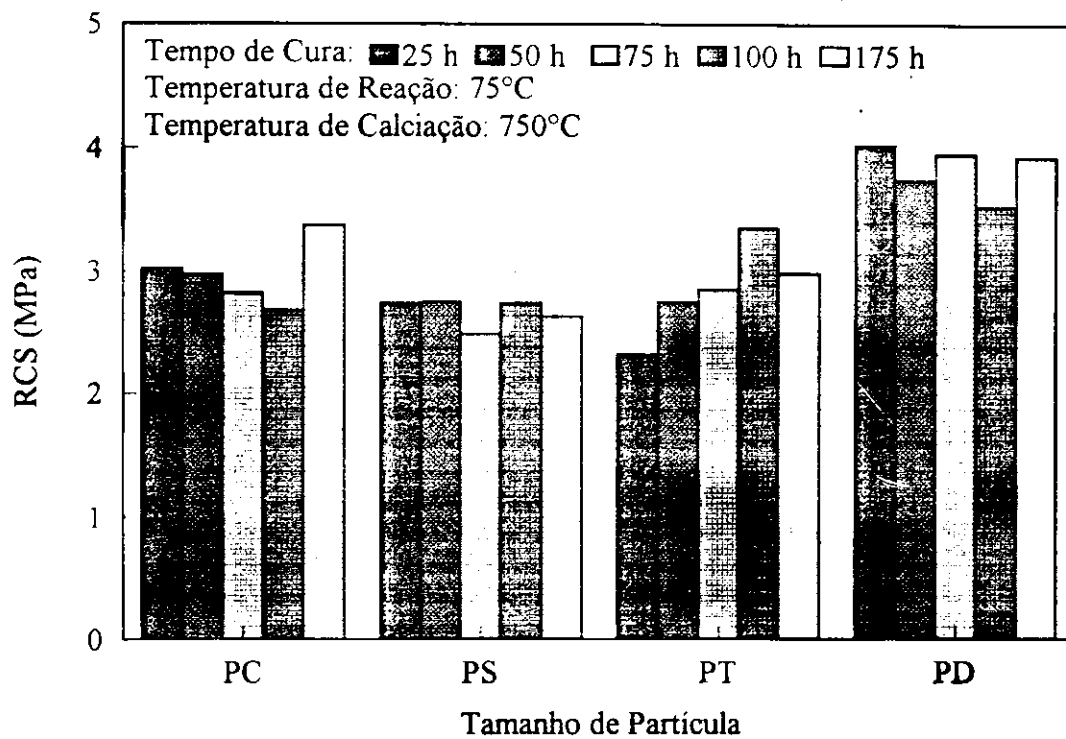


FIGURA A1.3: Resistência à Compressão Simples em Função de Tipo de Pozzolana.

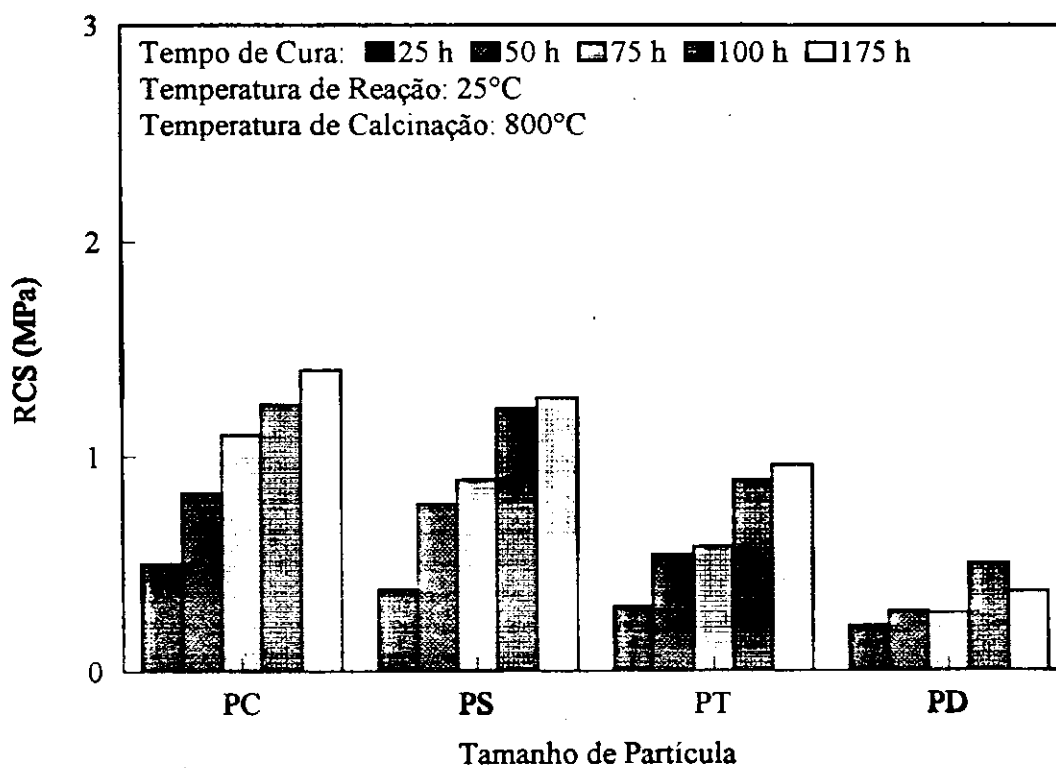


FIGURA A1.4: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

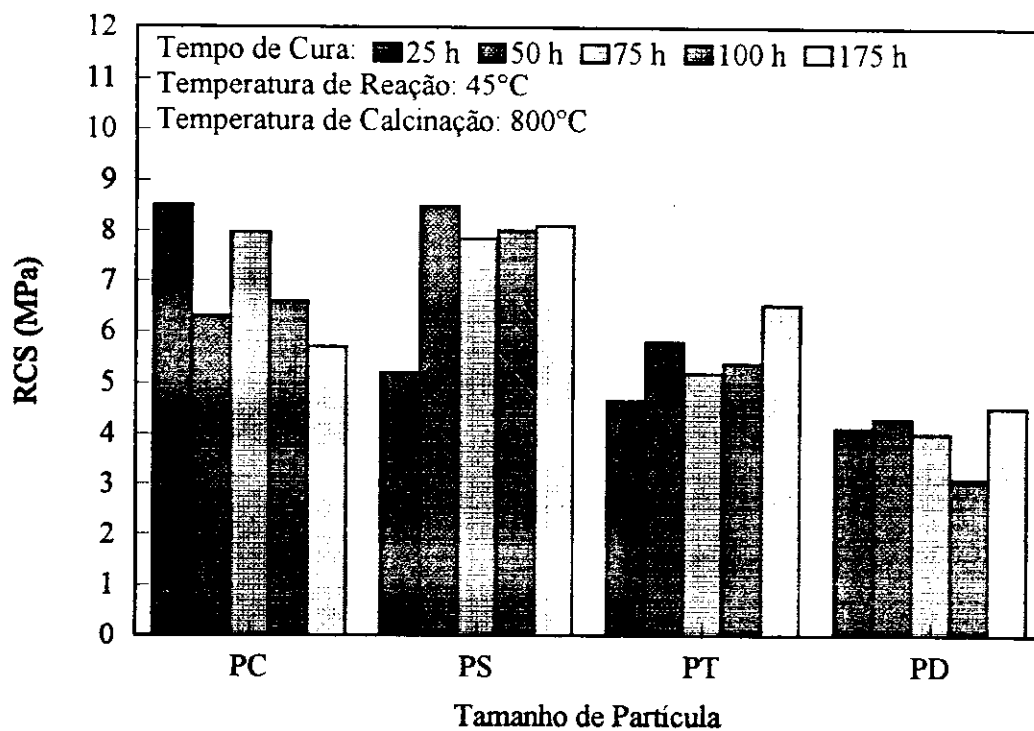


FIGURA A1.5: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

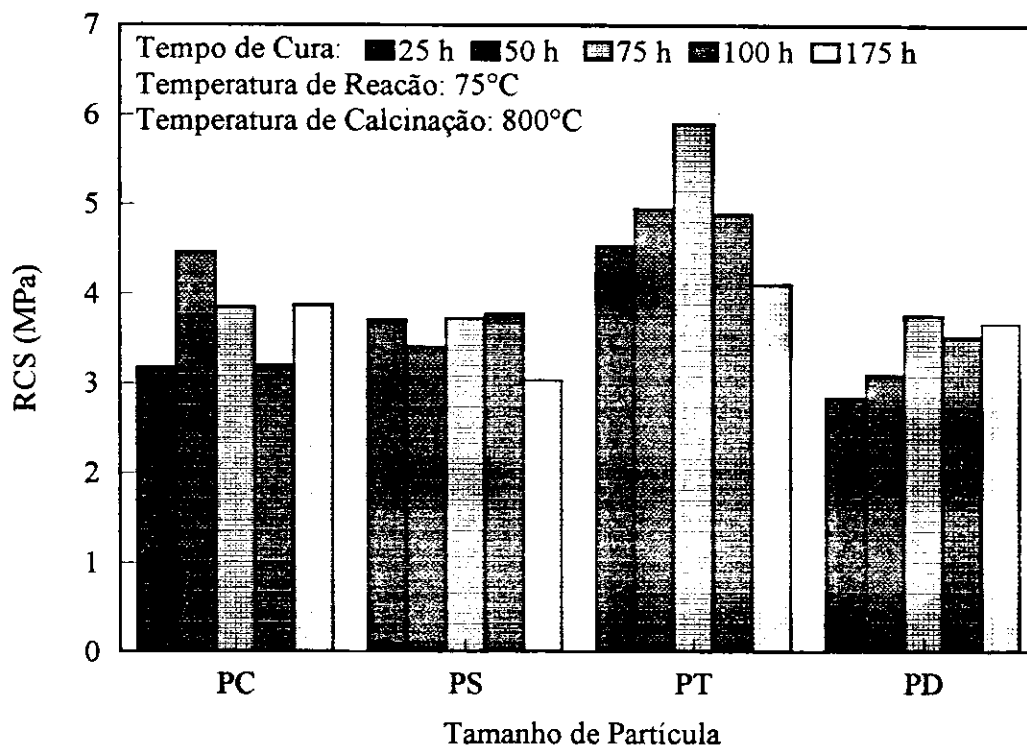


FIGURA A1.6: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

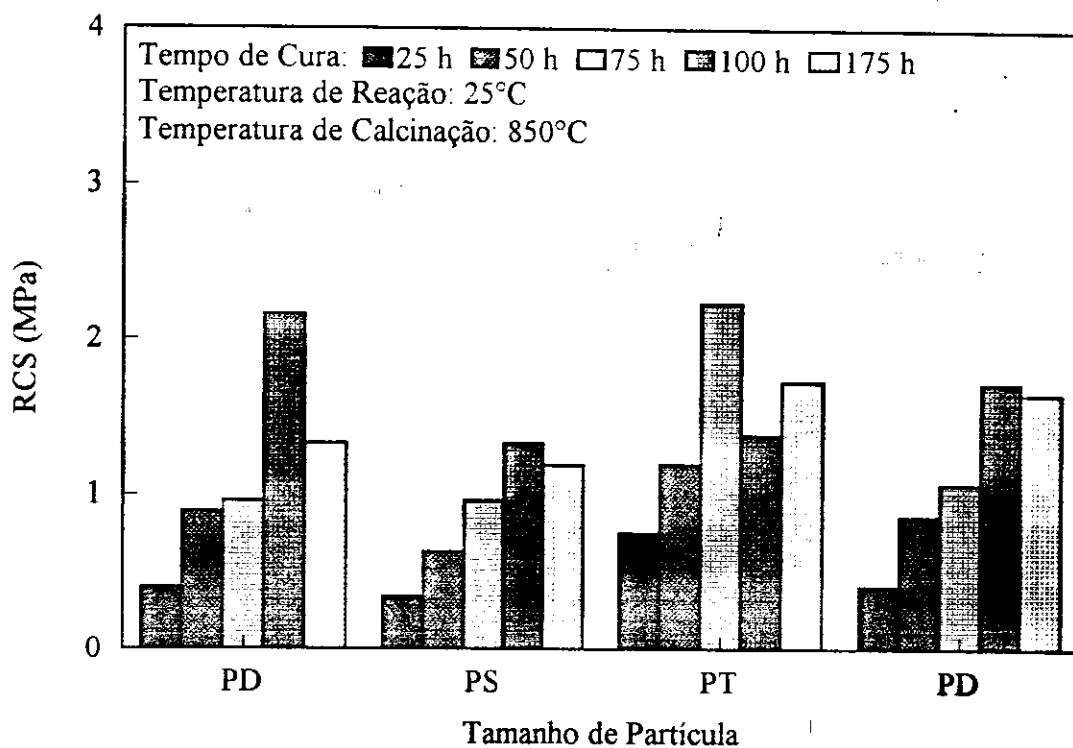


FIGURA A1.7: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

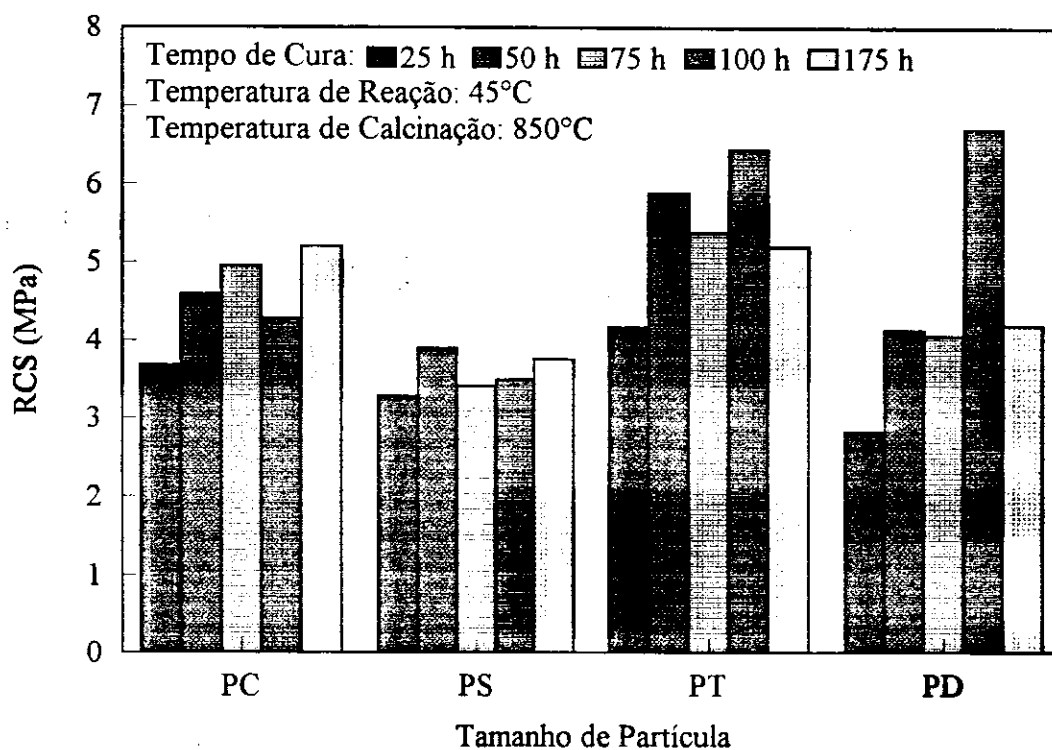


FIGURA A1.8 : Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana

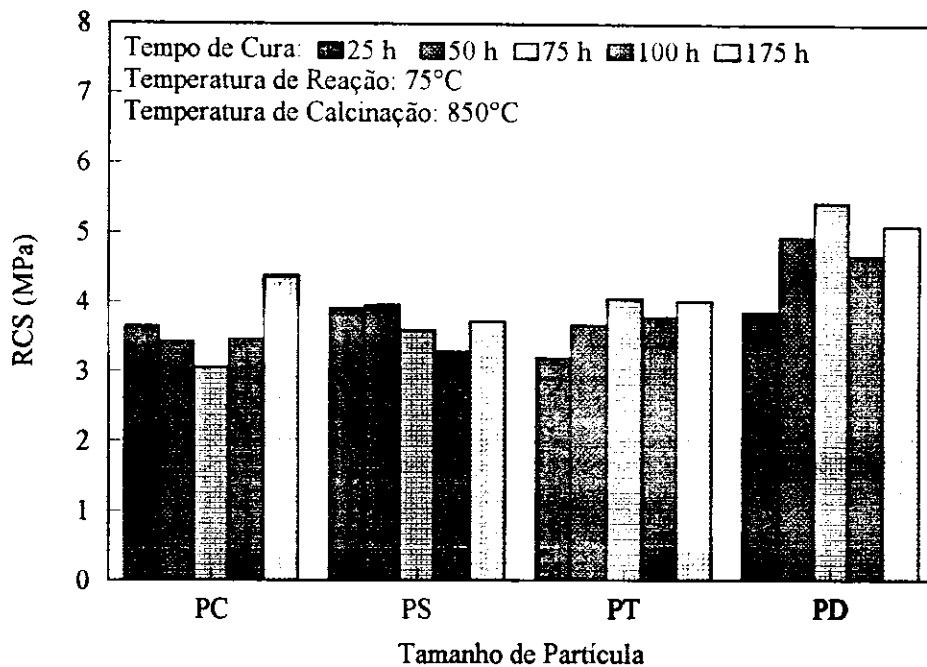


FIGURA A1.9: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

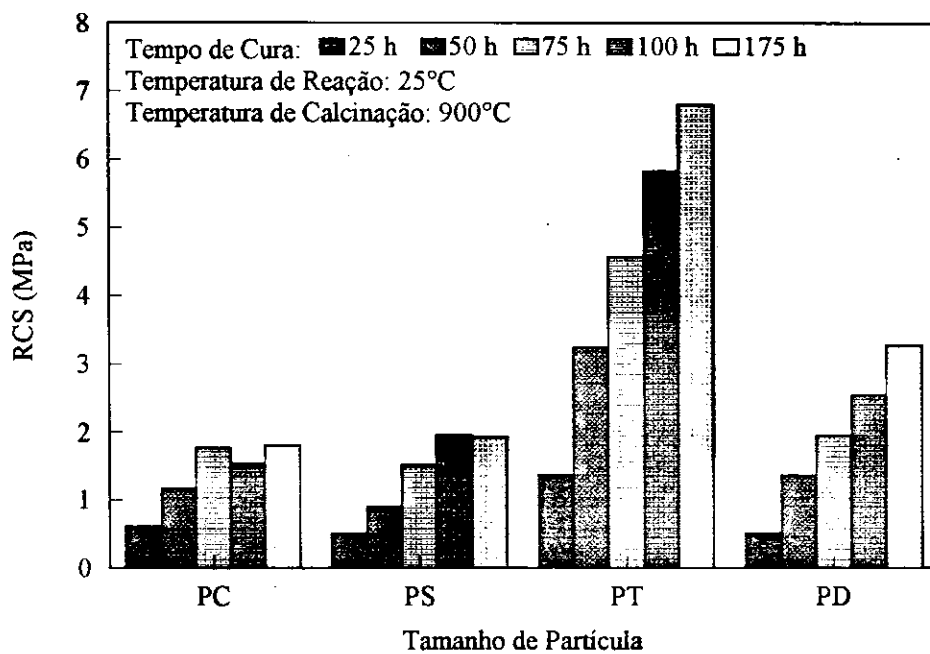


FIGURA A1.10: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

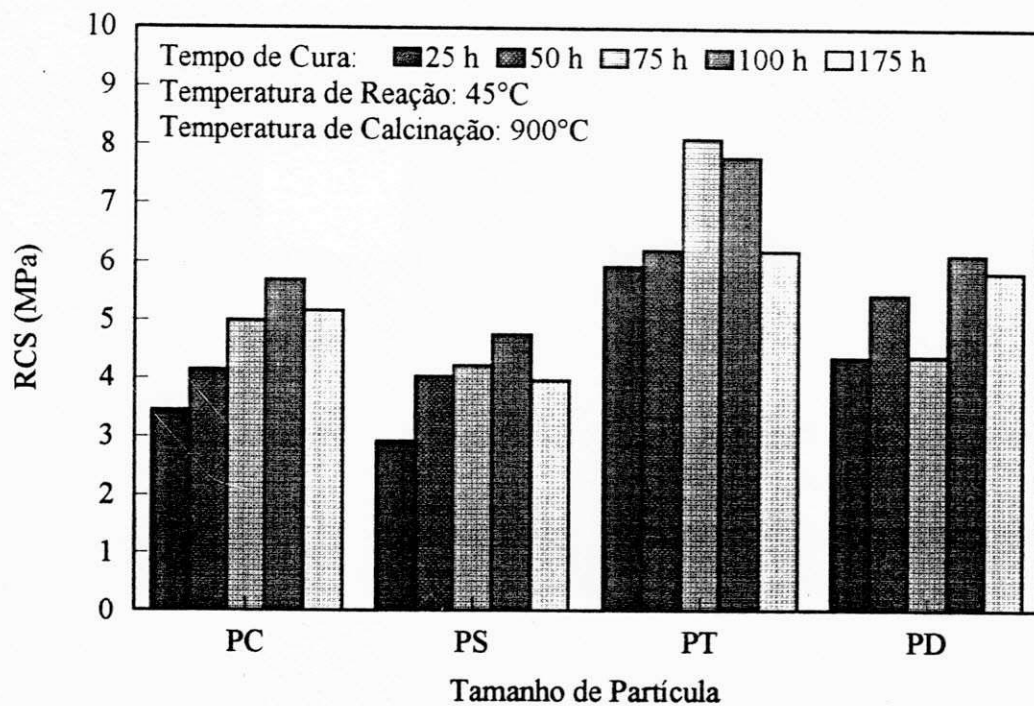


FIGURA A1.11: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

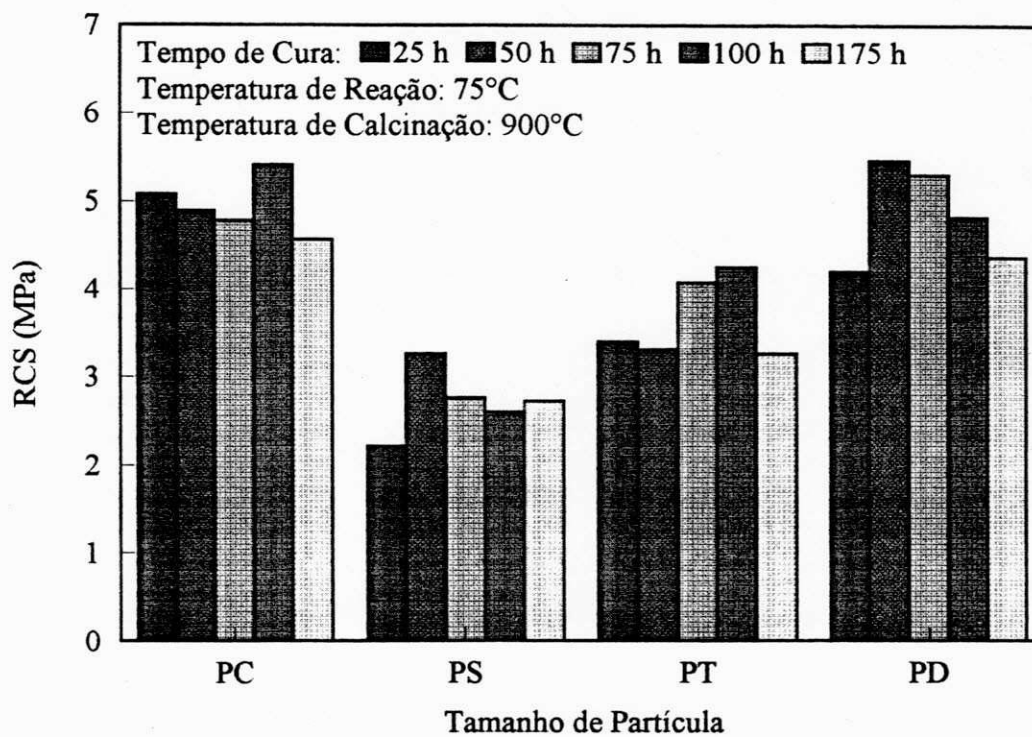


FIGURA A1.12: Resistência à Compressão Simples em Função do tipo de pozzolana.

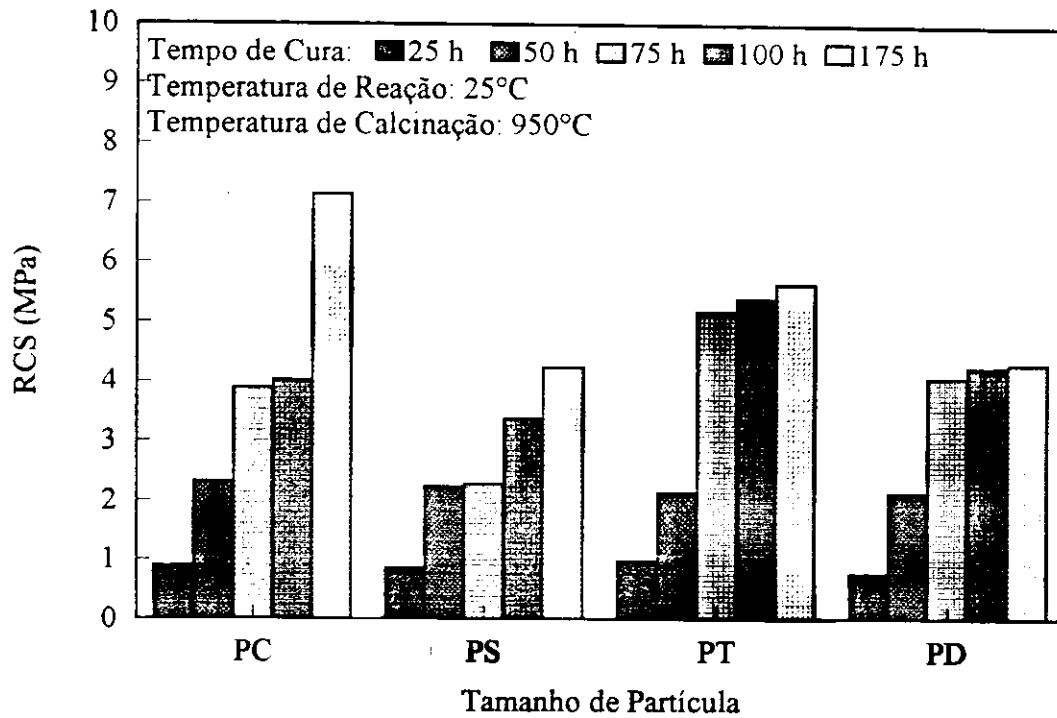


FIGURA A1.13: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

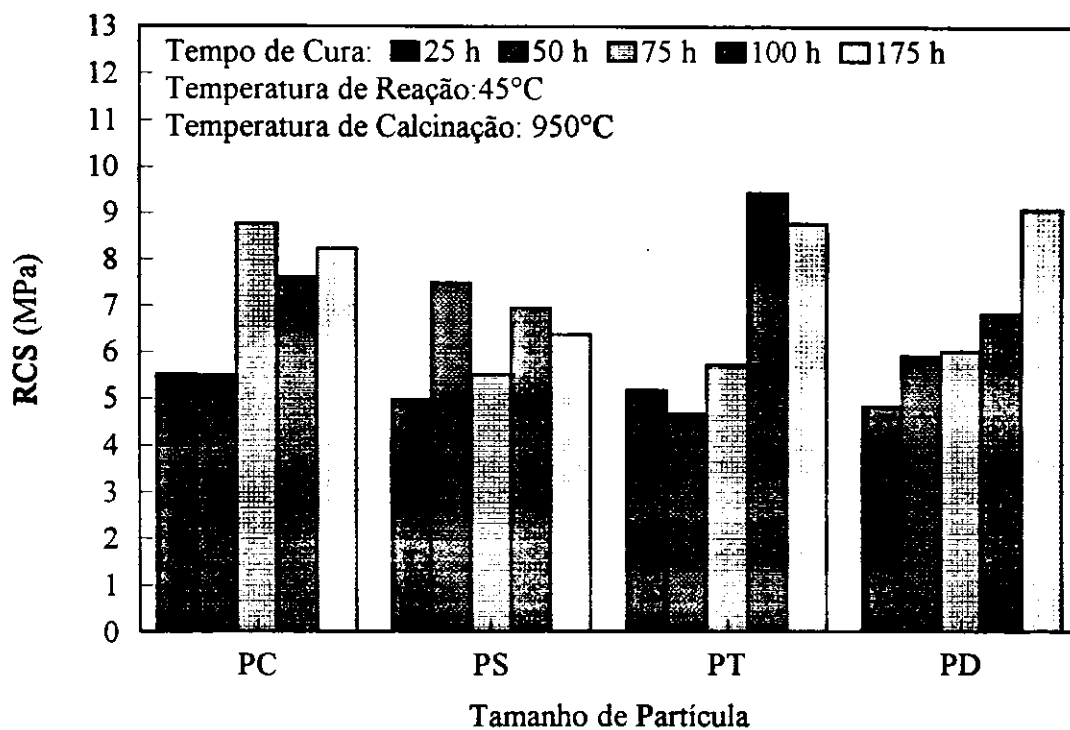


FIGURA A1.14: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

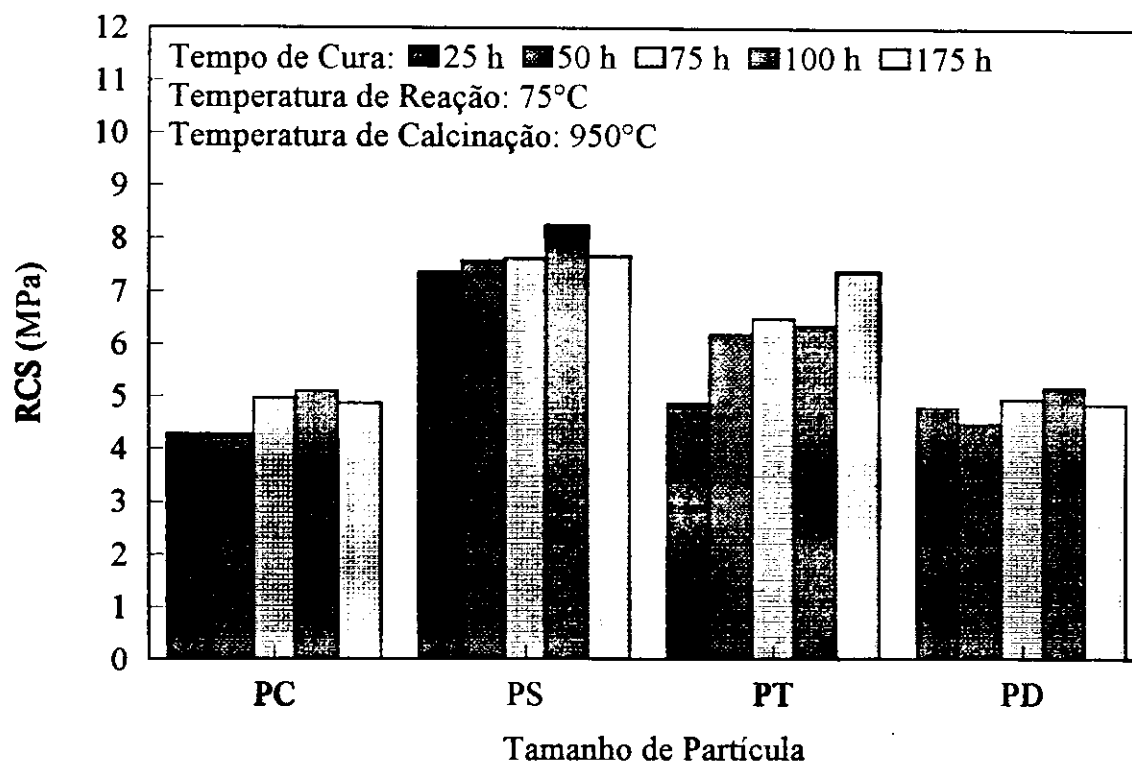


FIGURA A1.15: Resistência à Compressão Simples em Função do Tipo de Pozzolana.

ANEXO 2

RCS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CURA

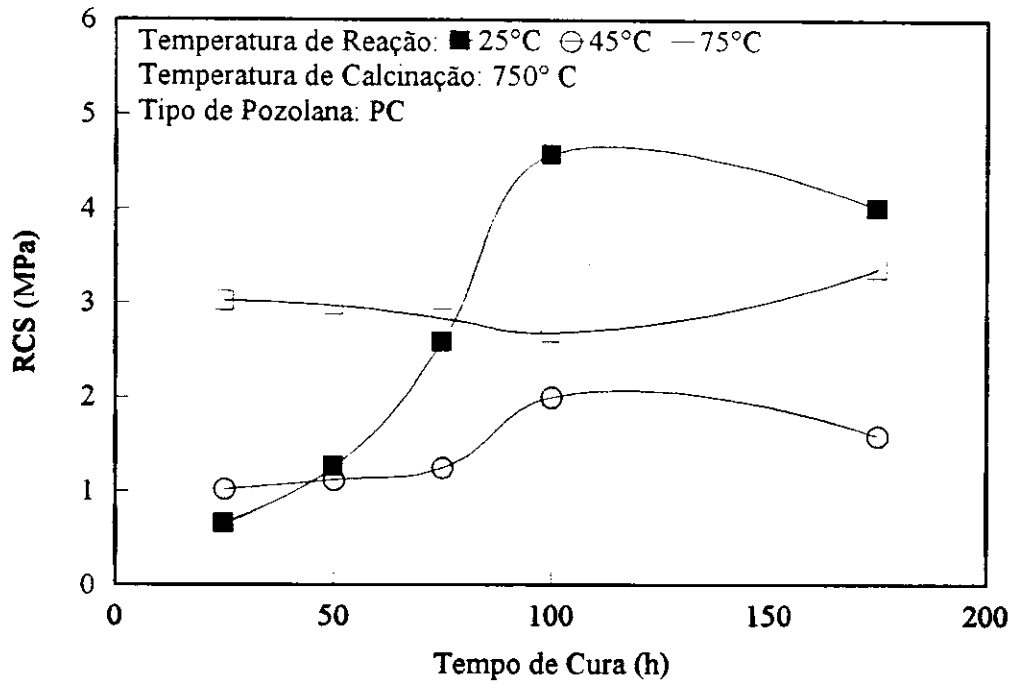


FIGURA A2.1: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

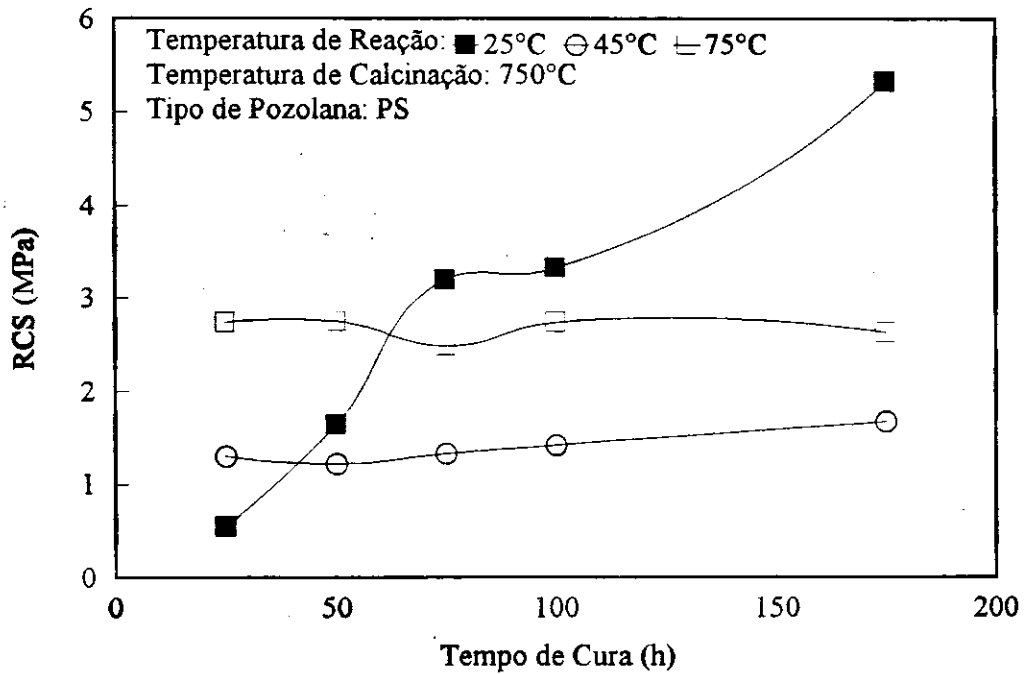


FIGURA A2.2: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

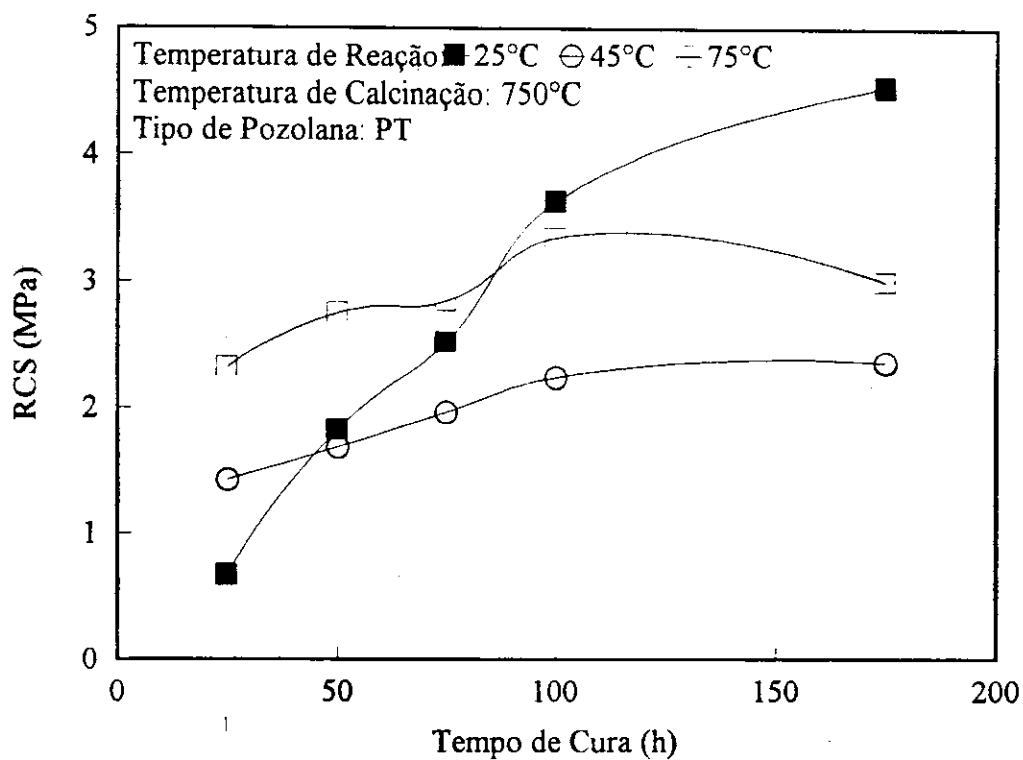


FIGURA A2.3: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

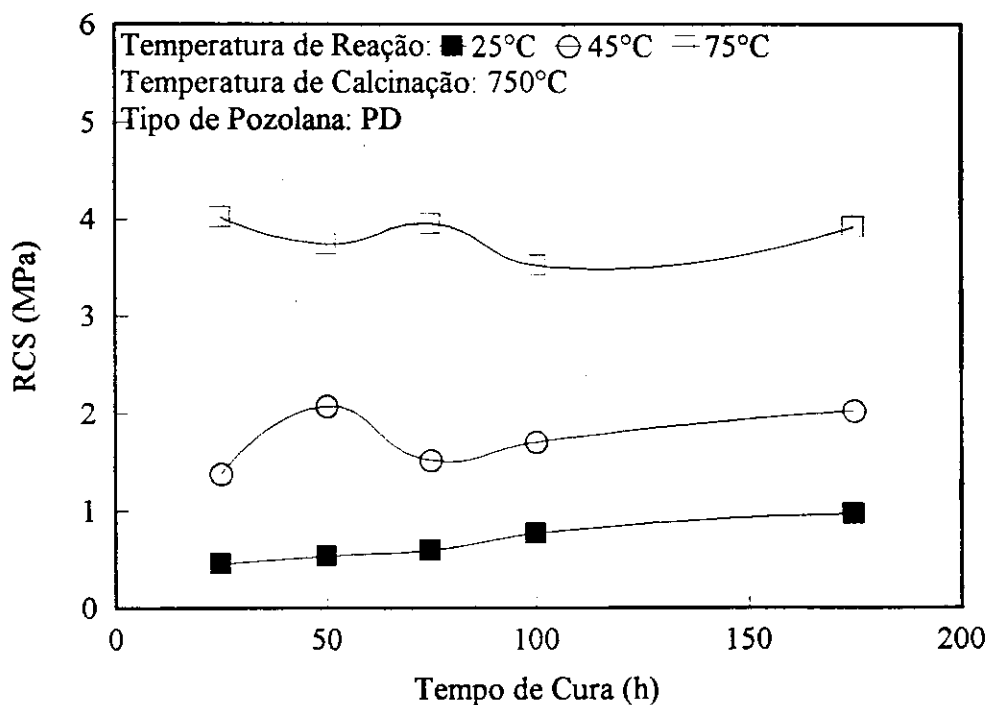


FIGURA A2.4: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

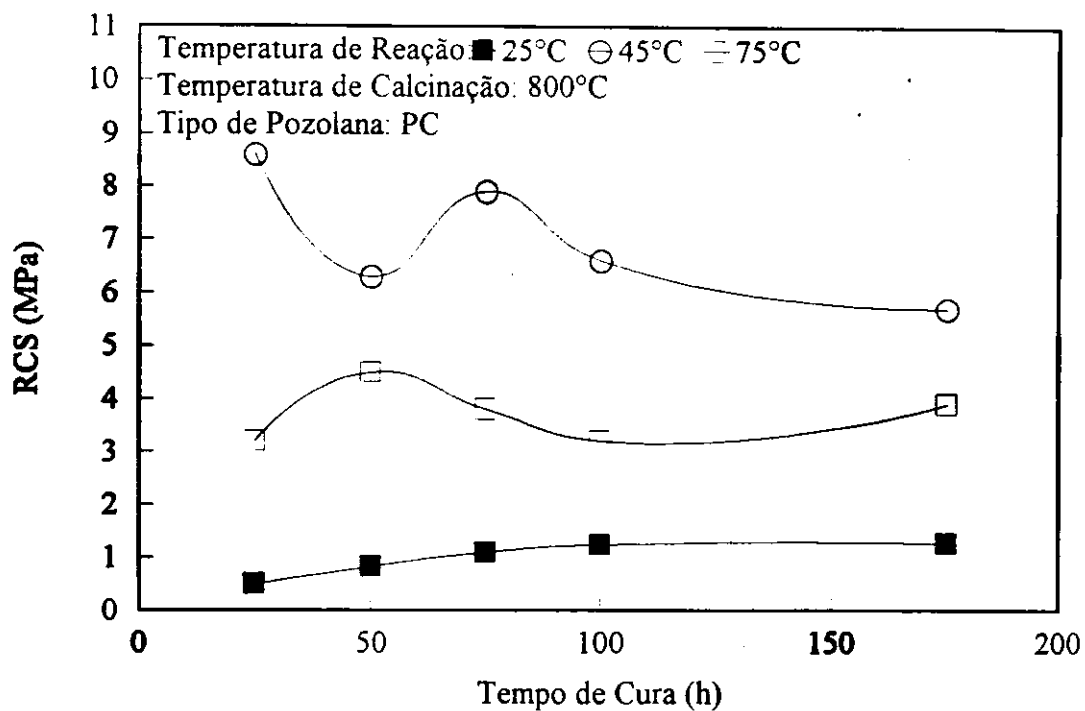


FIGURA A2.5: Resistência à Compressão Simples em Função do tempo de cura.

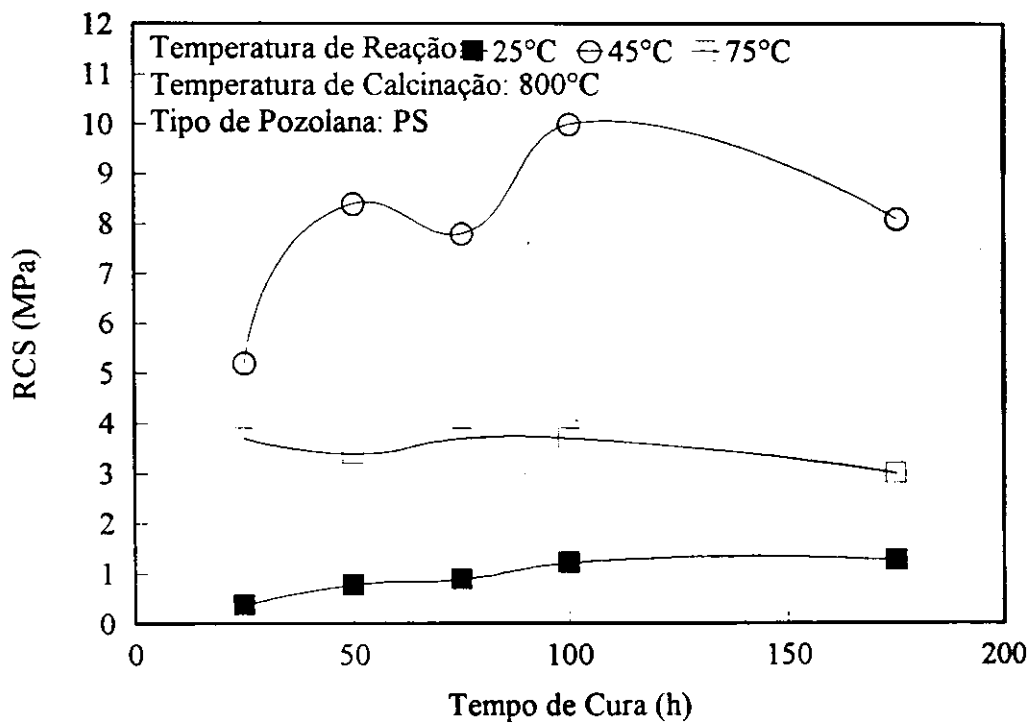


FIGURA A2.6: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

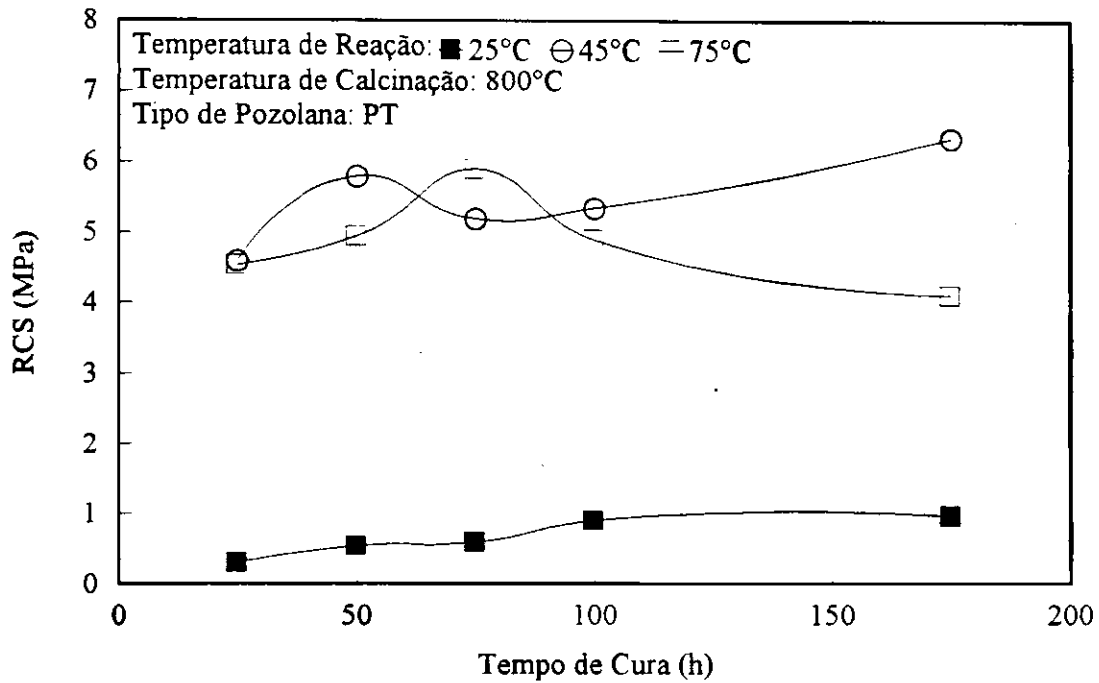


FIGURA A2.7 Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

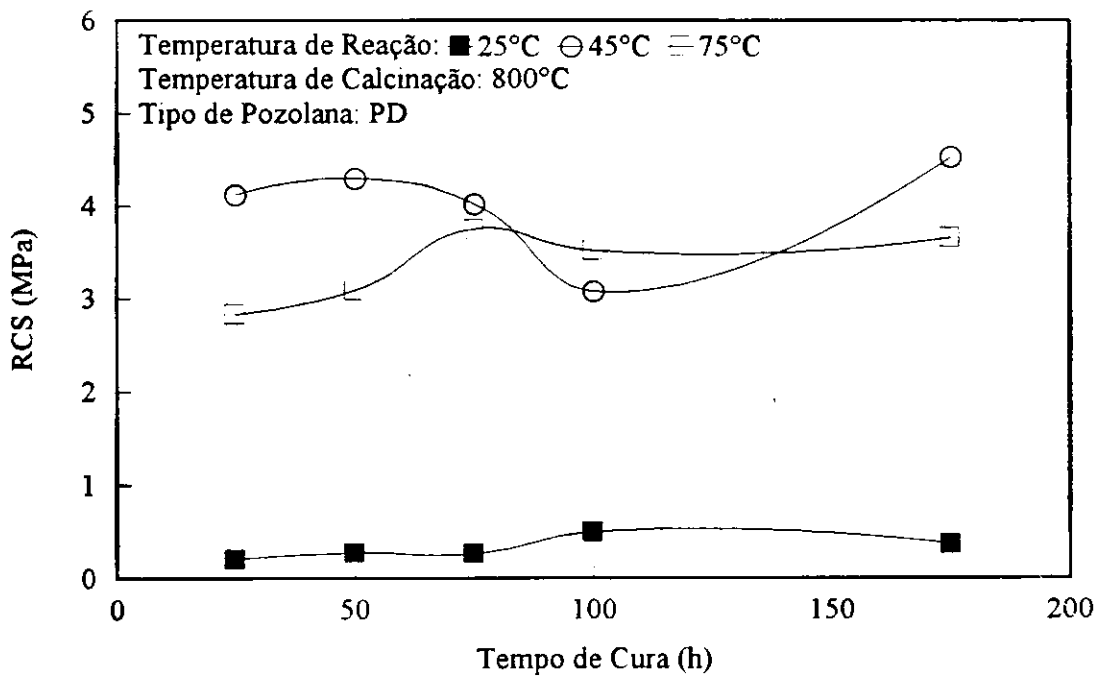


FIGURA A2.8: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

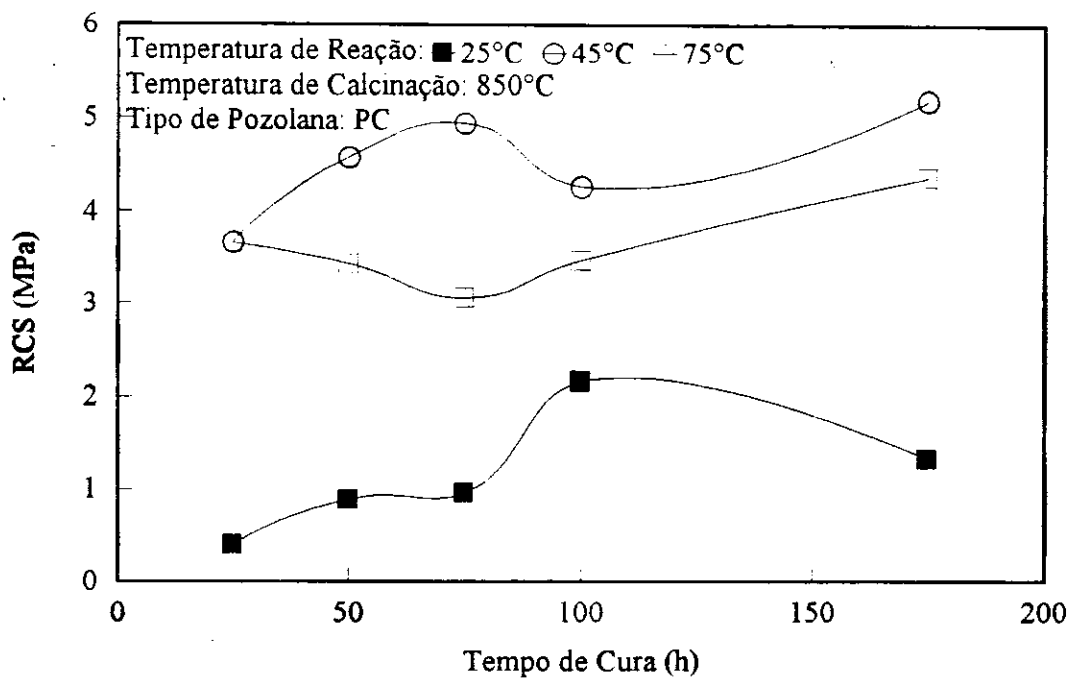


FIGURA A2.9: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

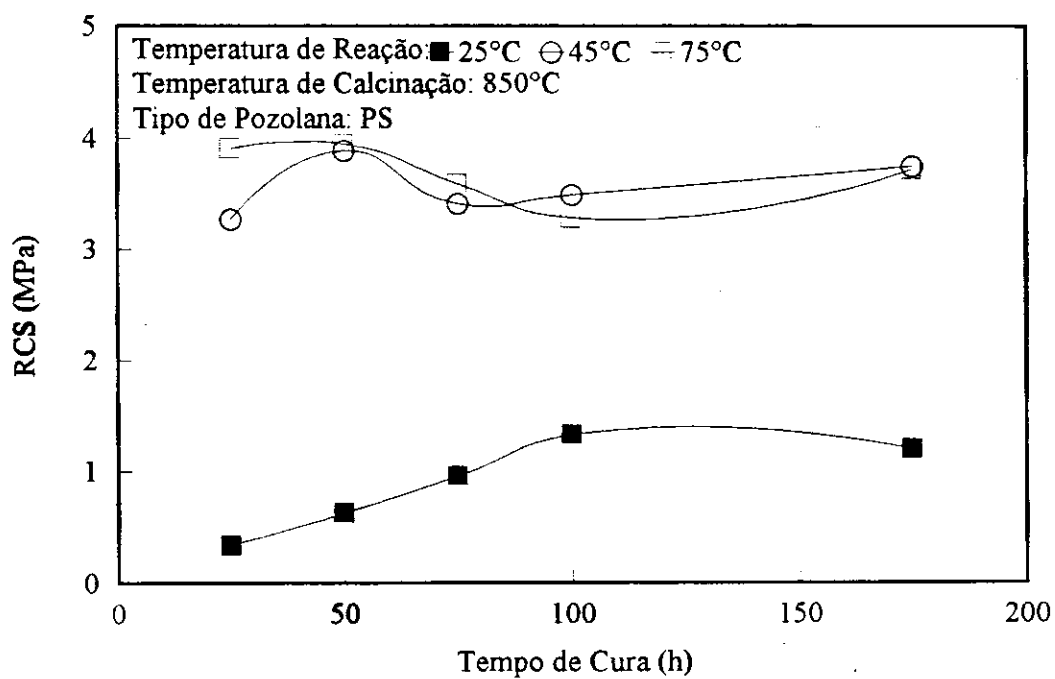


FIGURA A2.10: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura

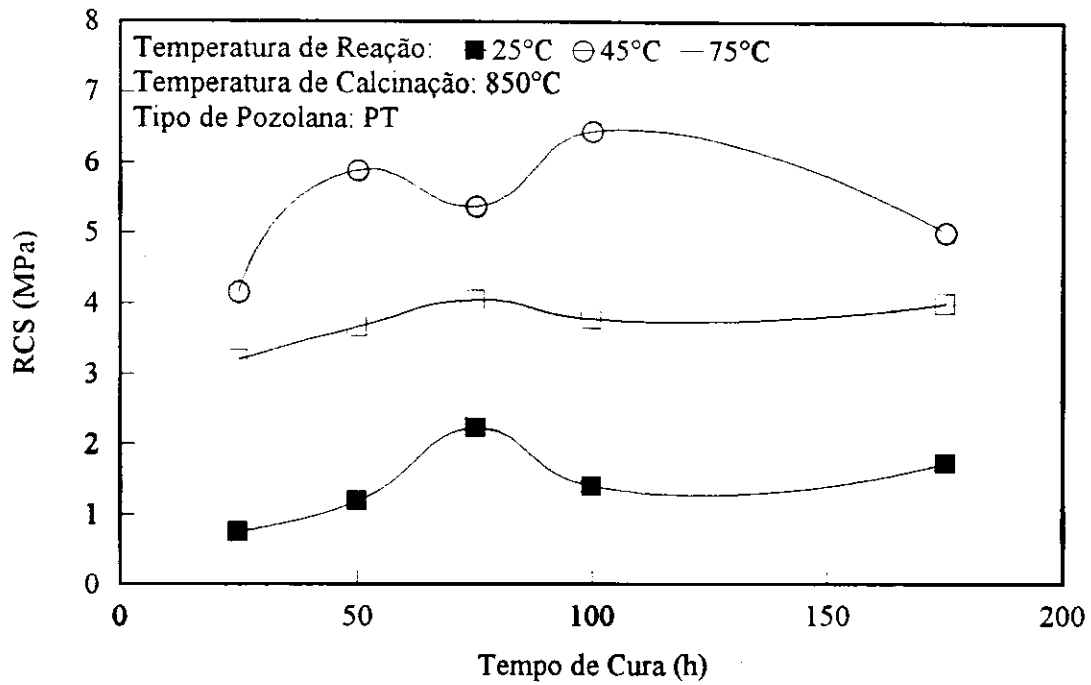


FIGURA A2.11: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

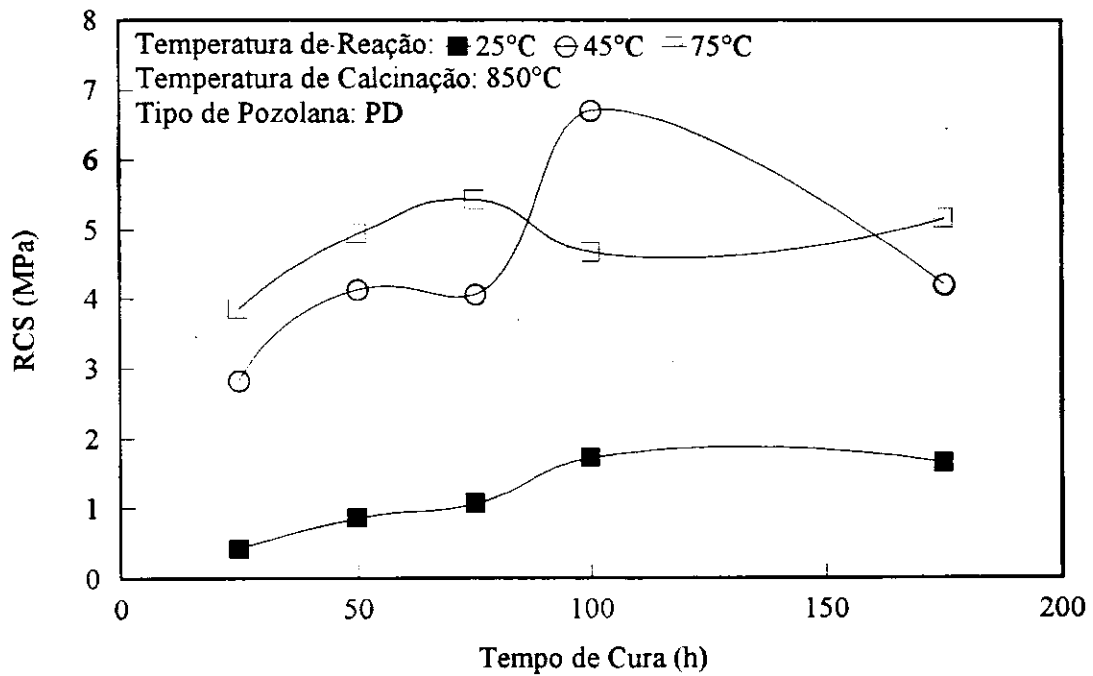


FIGURA A2.12: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

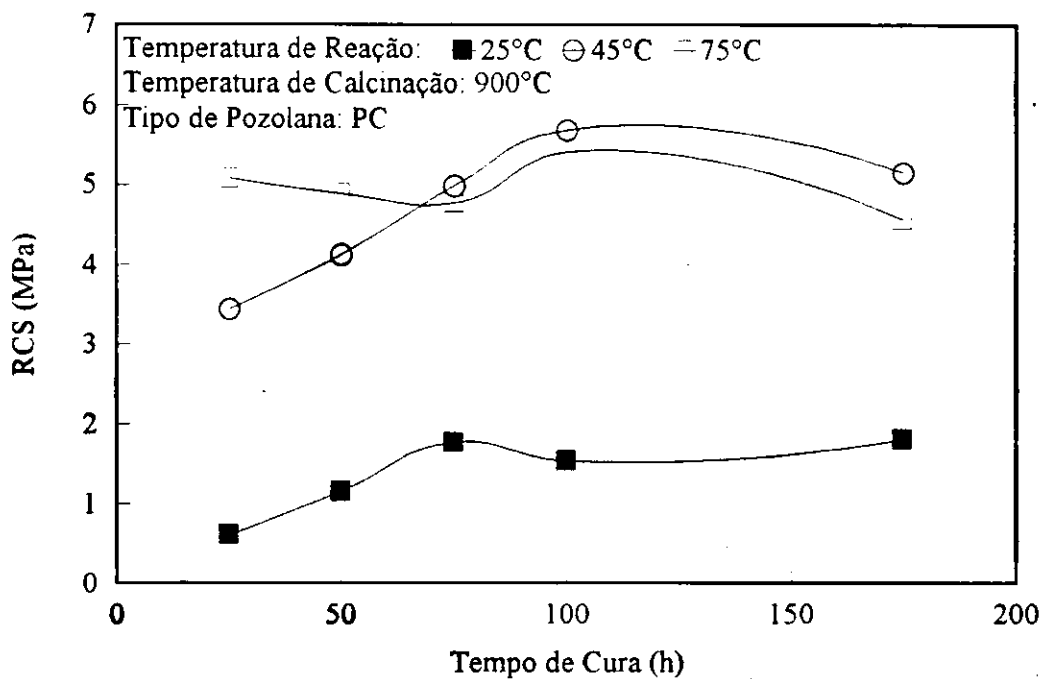


FIGURA A2.13: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

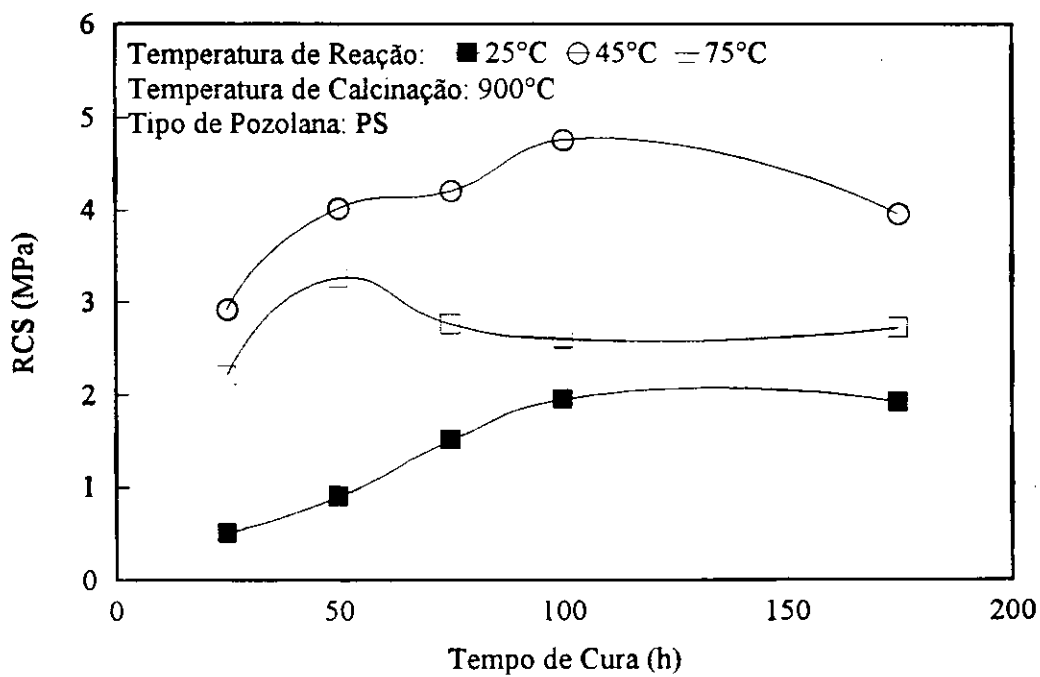


FIGURA A2.14: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

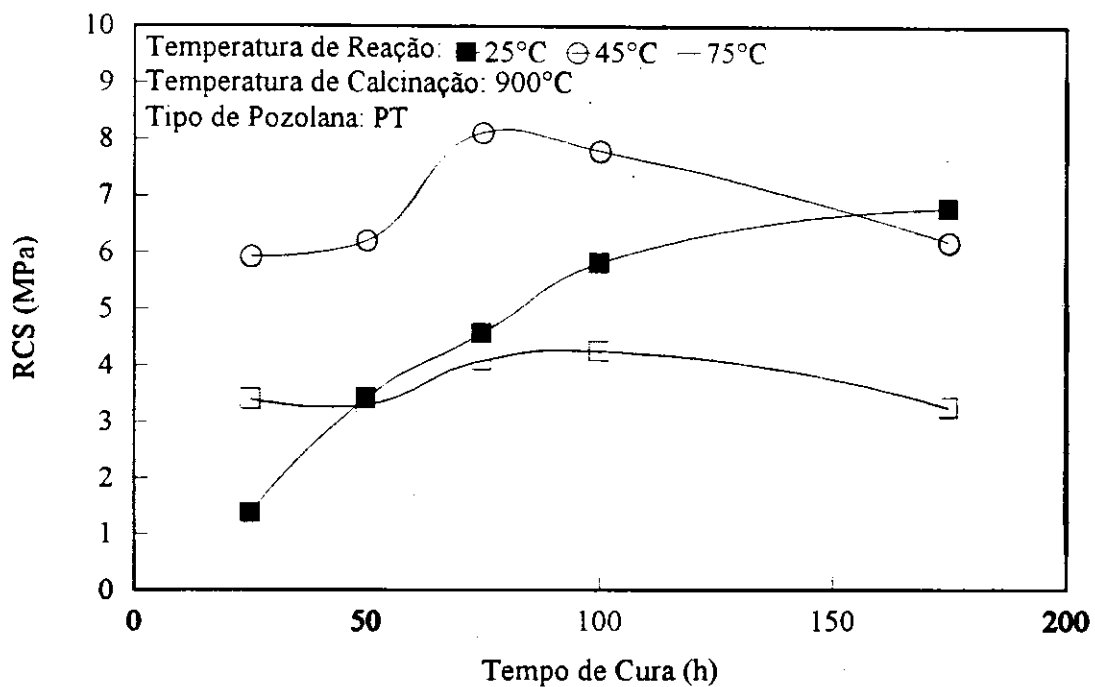


FIGURA A2.15: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

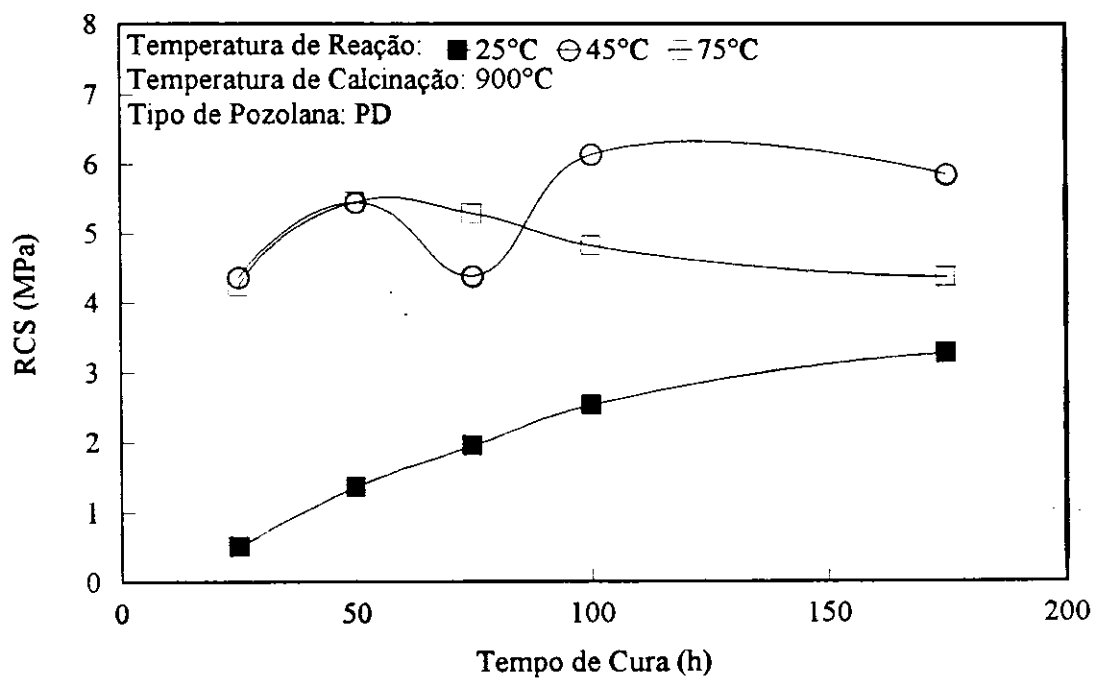


FIGURA A1.16: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

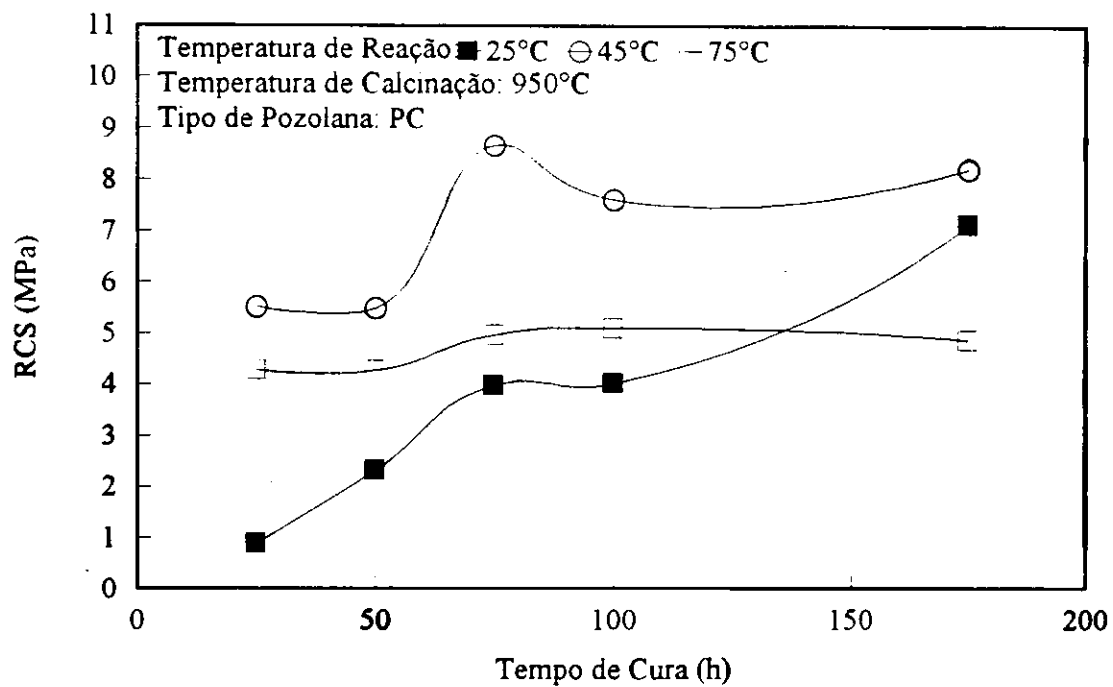


FIGURA A2.17: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

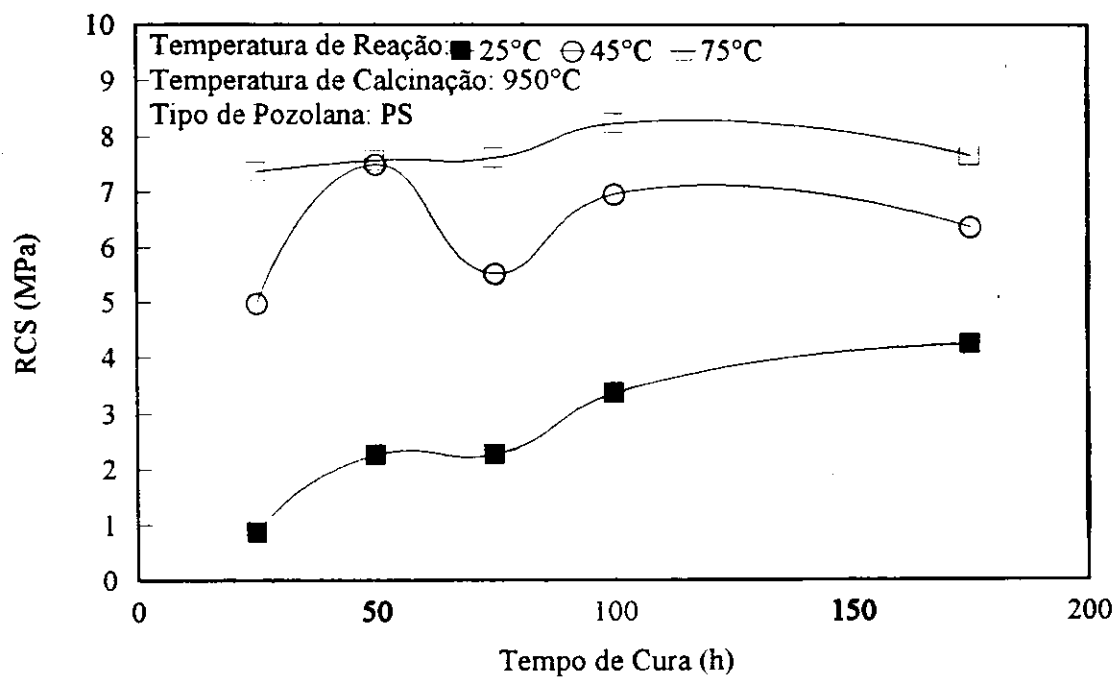


FIGURA A2.18: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

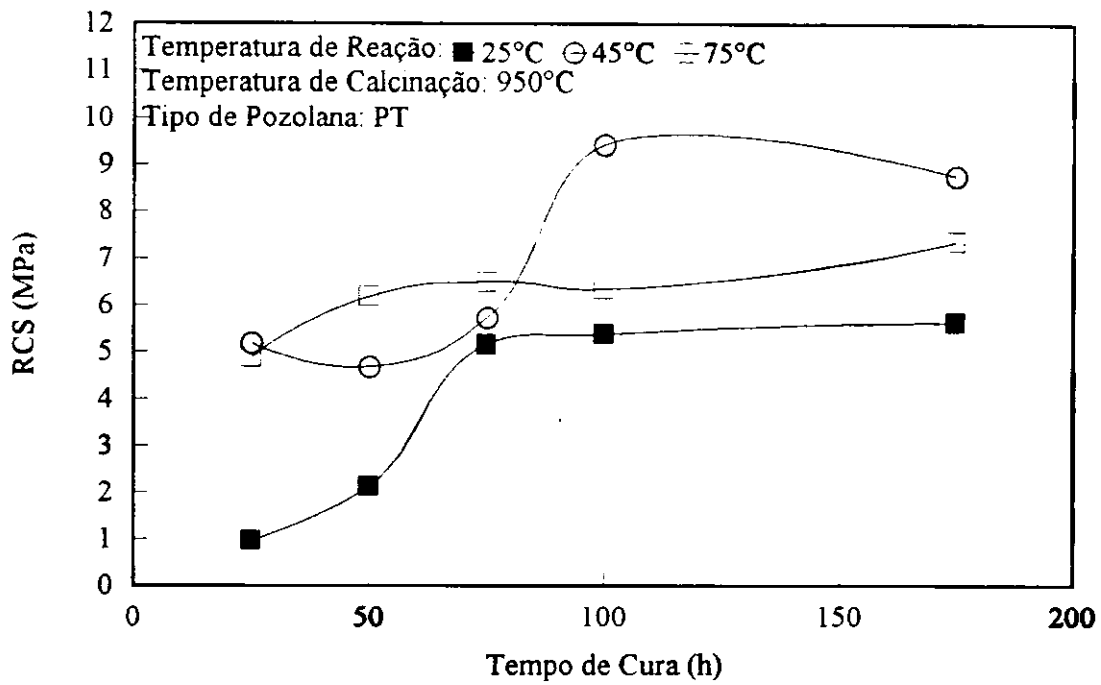


FIGURA A2.19: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

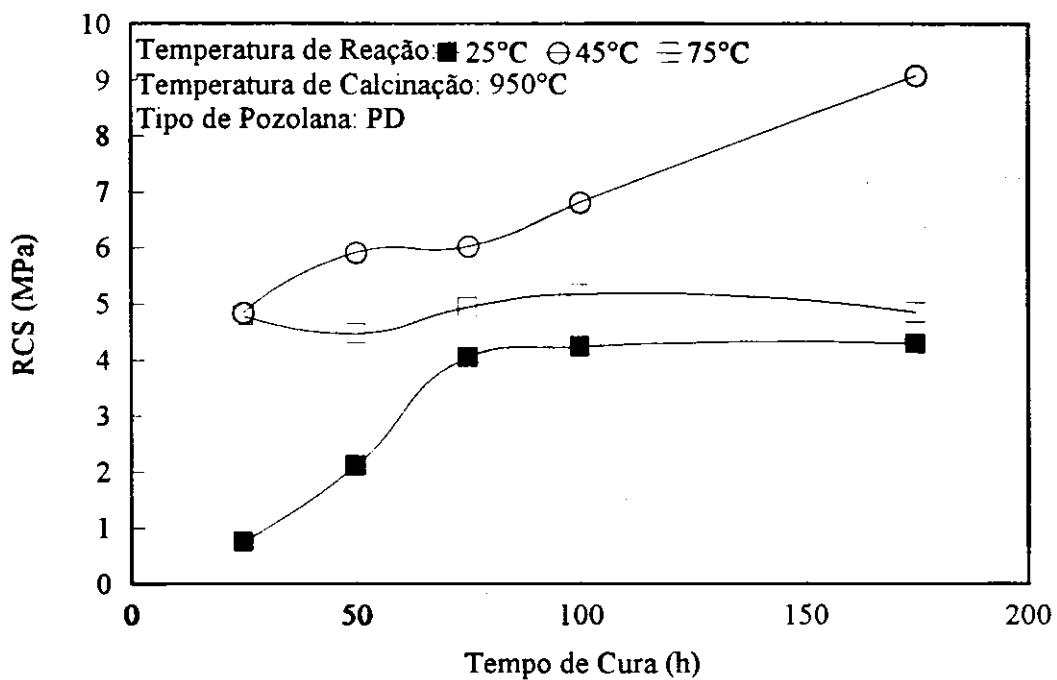


FIGURA A2.20: Resistência à Compressão Simples em Função do Tempo de Cura.

ANEXO 3

RCS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE REAÇÃO

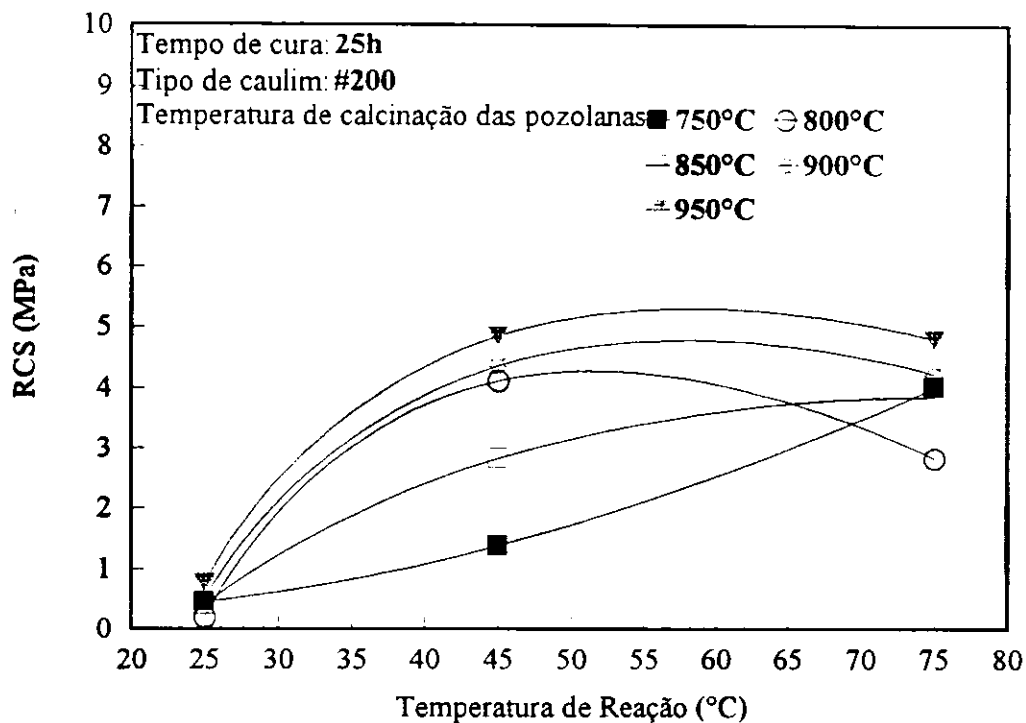


FIGURA A3.1 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

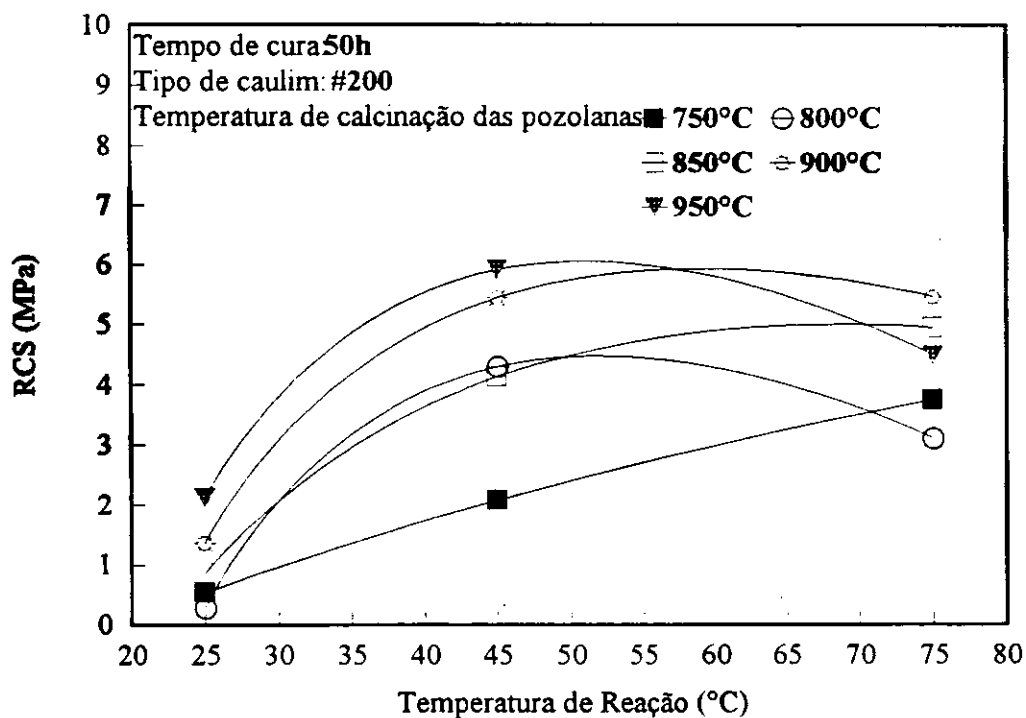


FIGURA A3.2: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

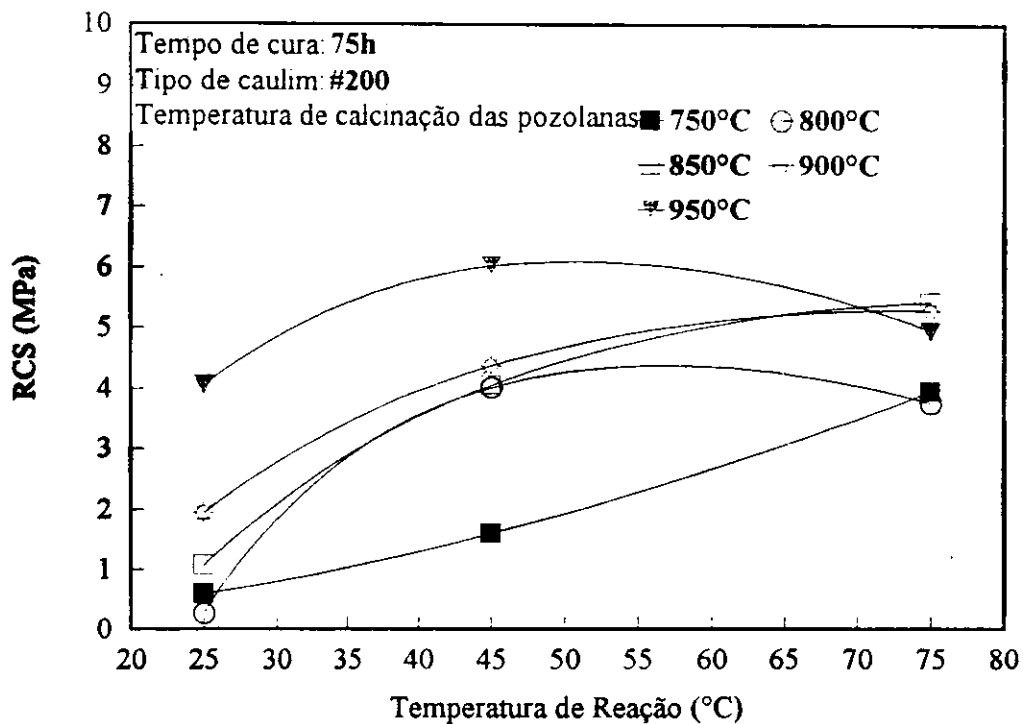


FIGURA A3.3 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

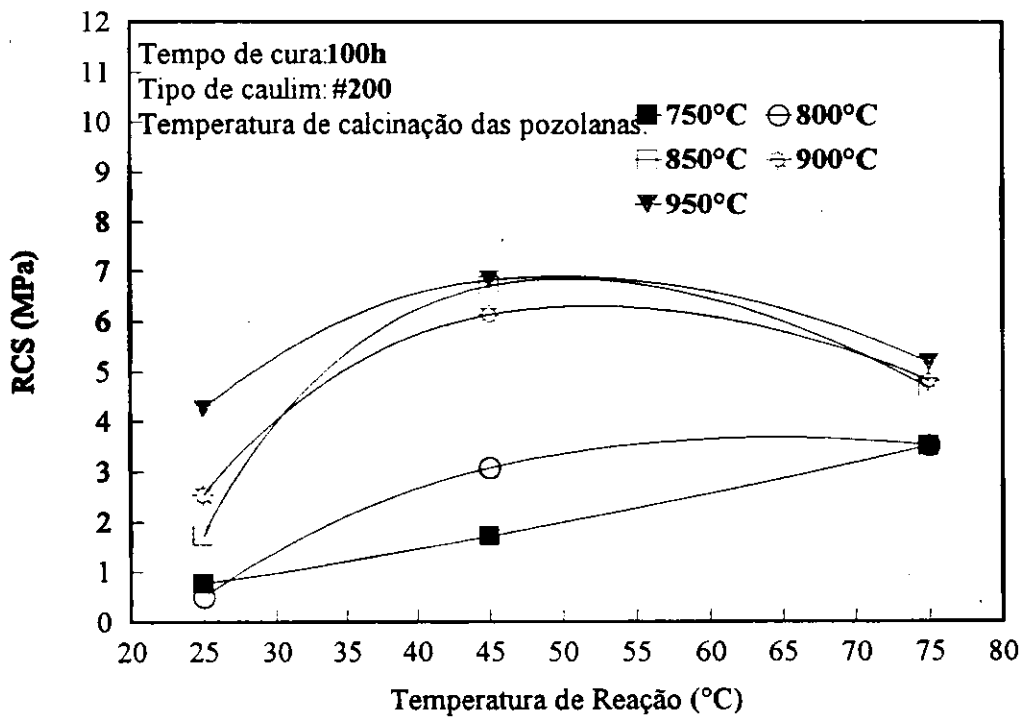


FIGURA A3.4: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

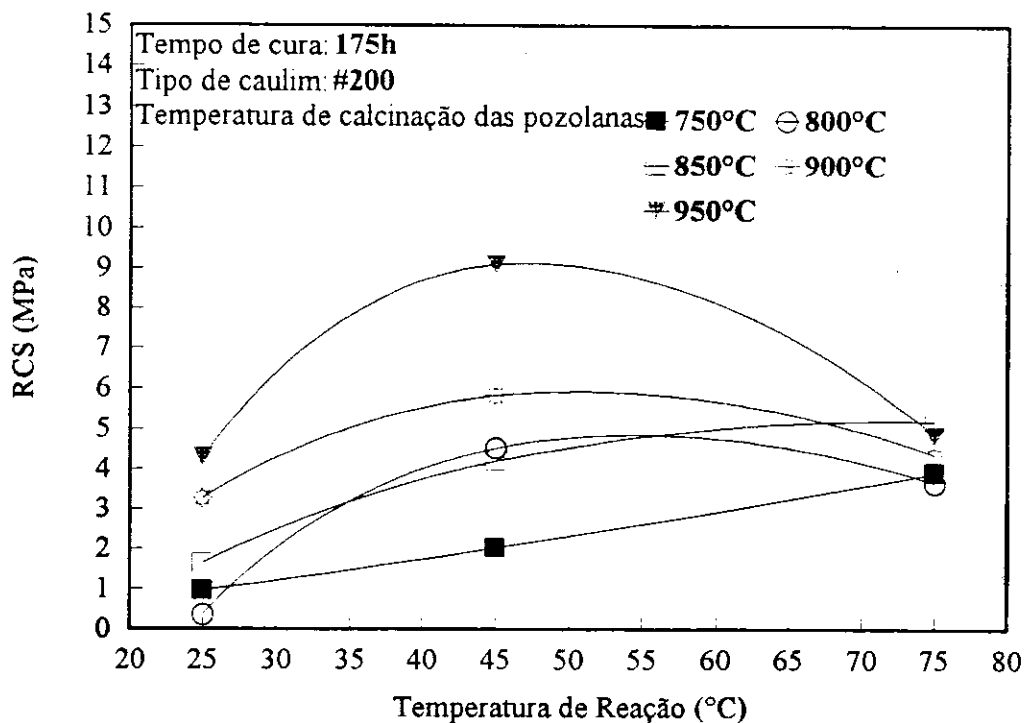


FIGURA A3.5 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

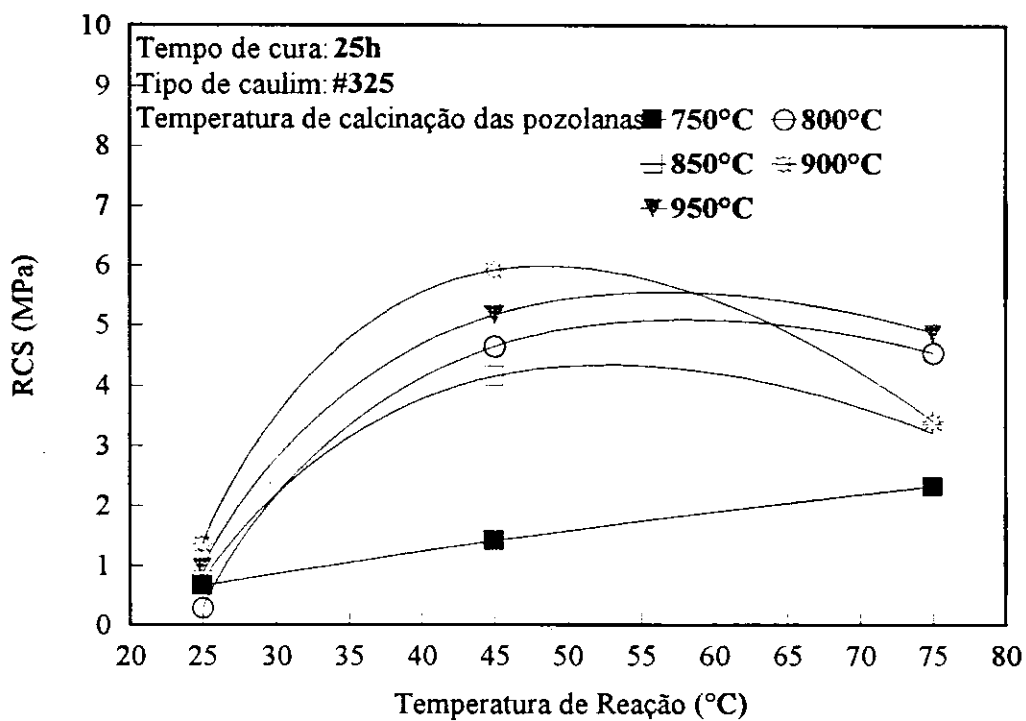


FIGURA A3.6 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

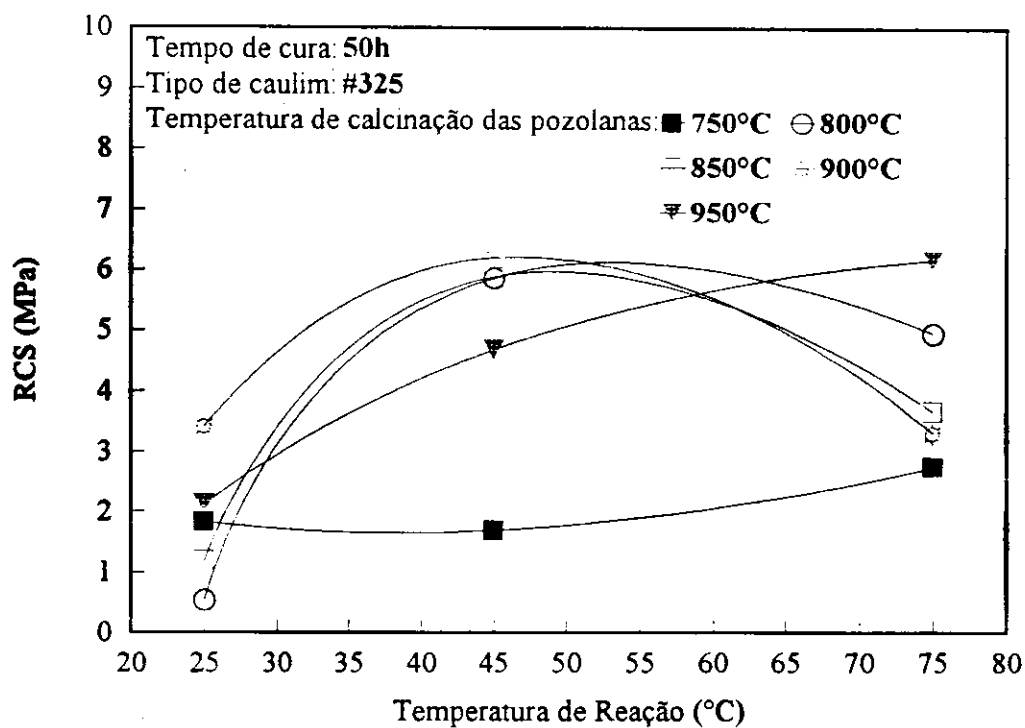


FIGURA A3.7: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

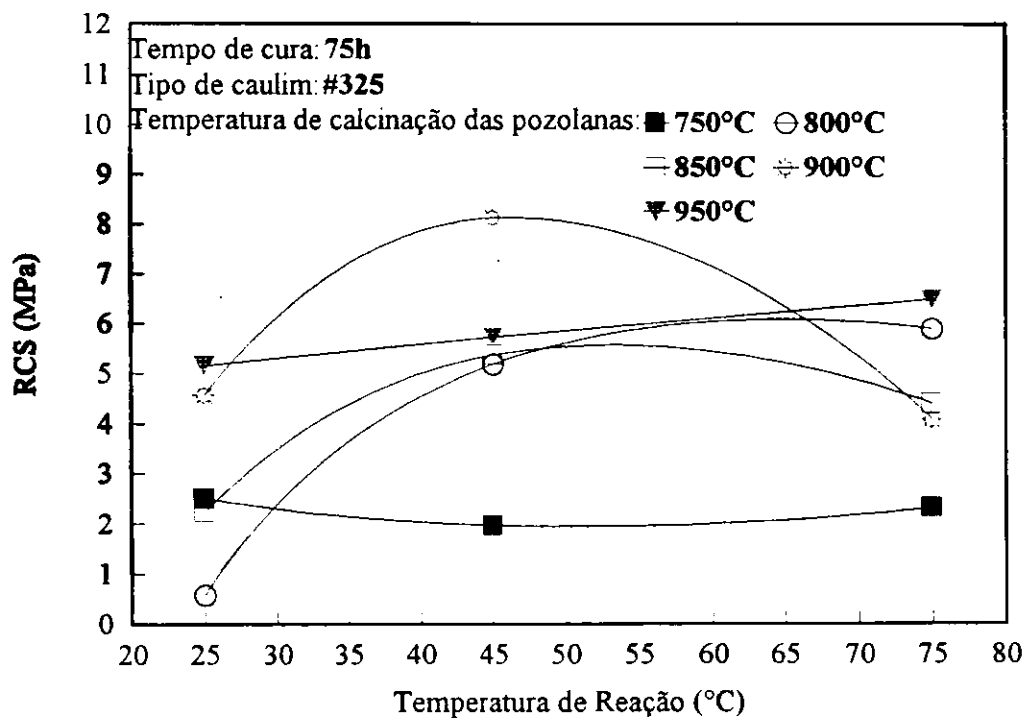


FIGURA A3.8 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

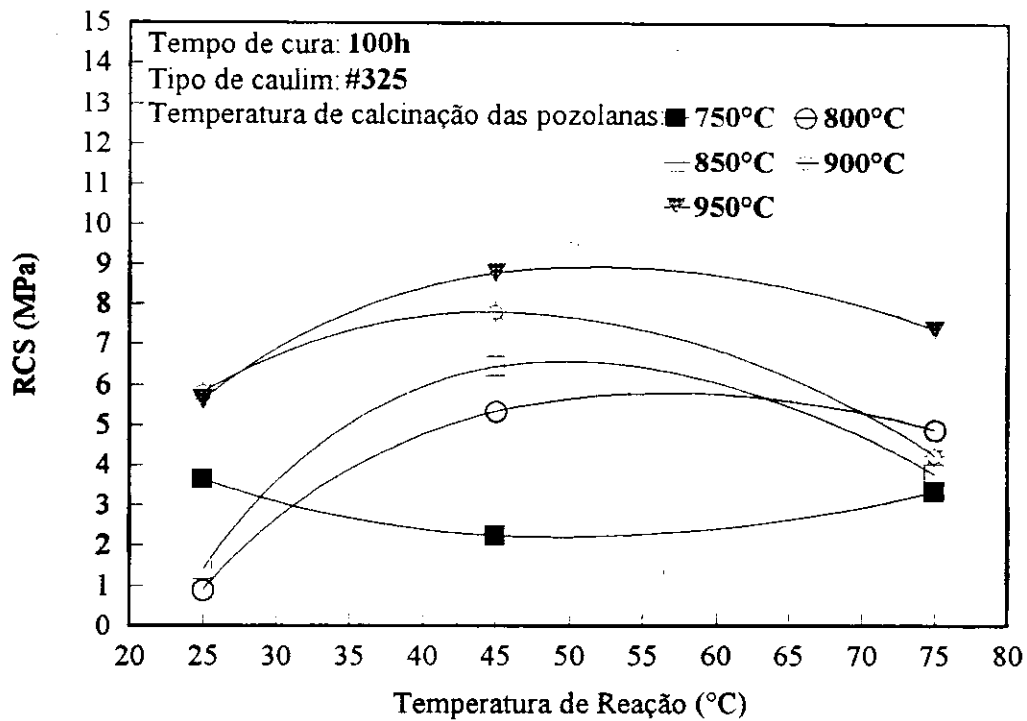


FIGURA A3.9: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

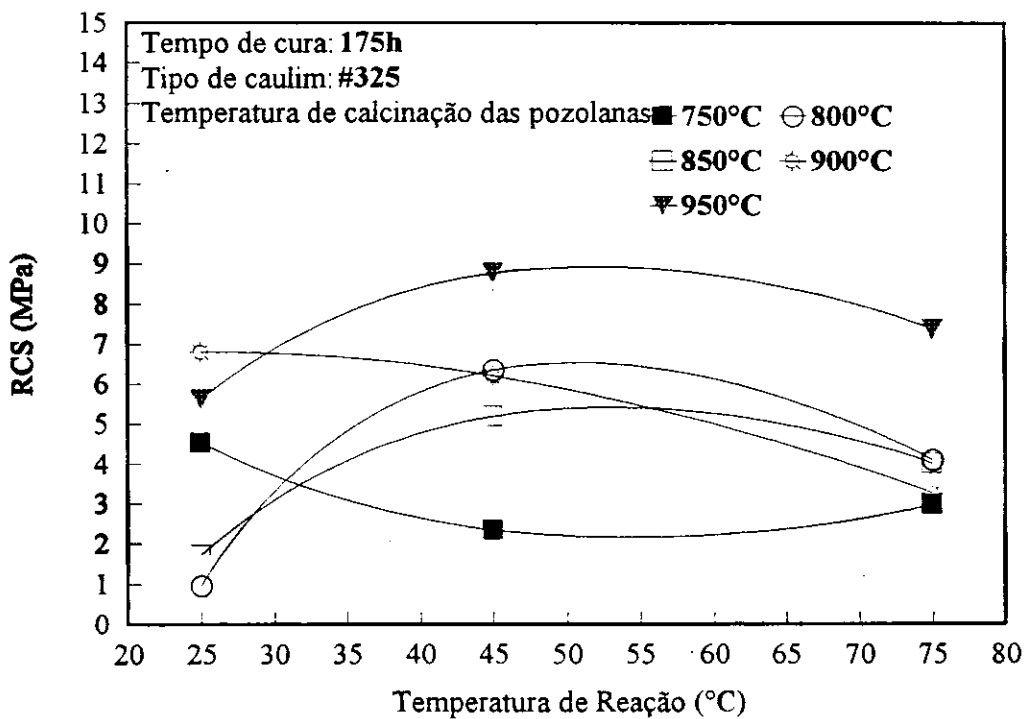


FIGURA A3.10 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

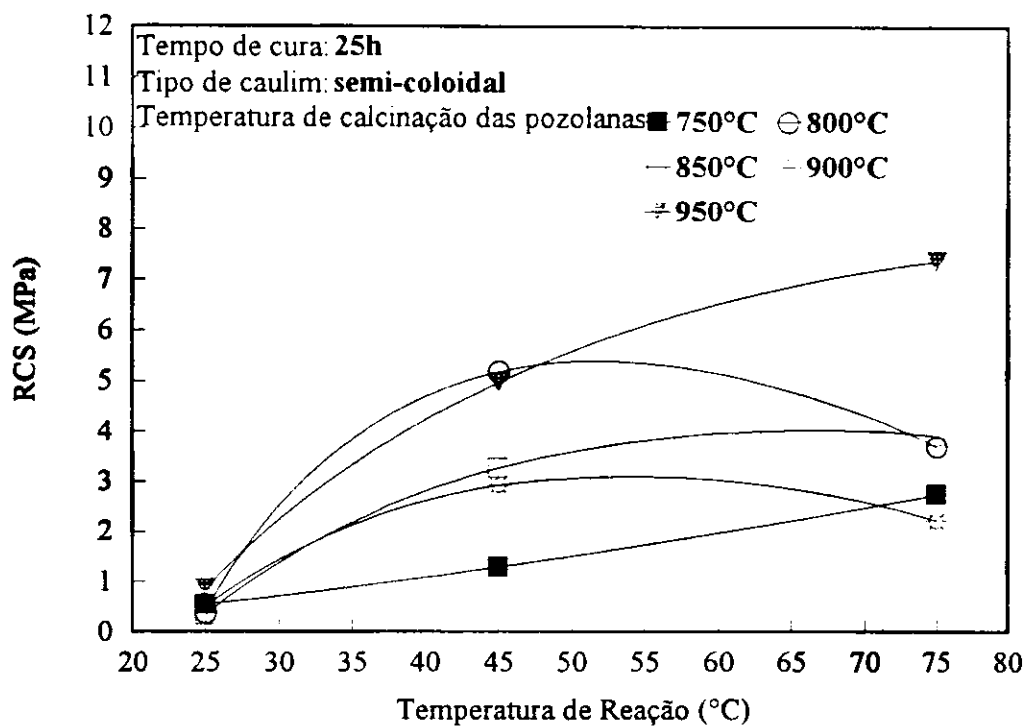


FIGURA A3.11 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

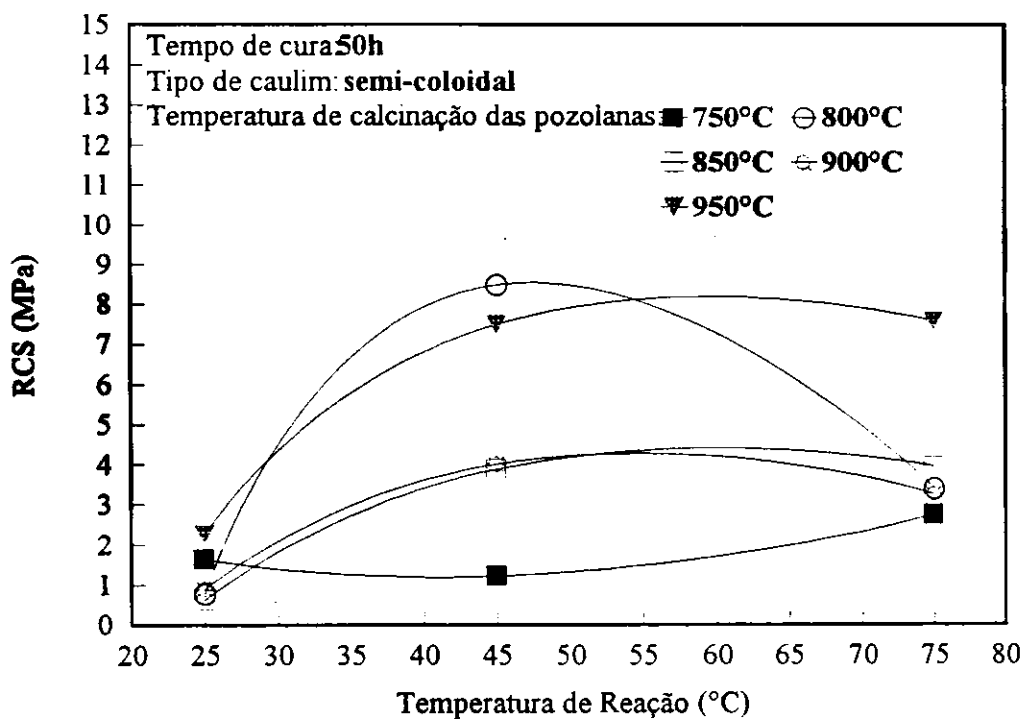


FIGURA A3.12: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

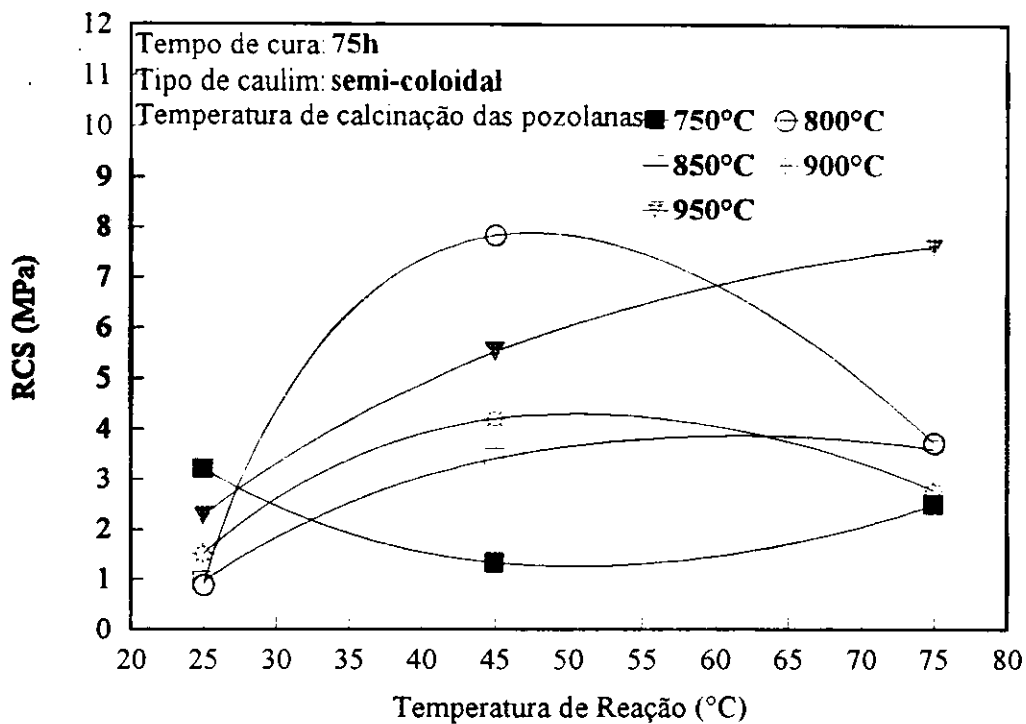


FIGURA A.13 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

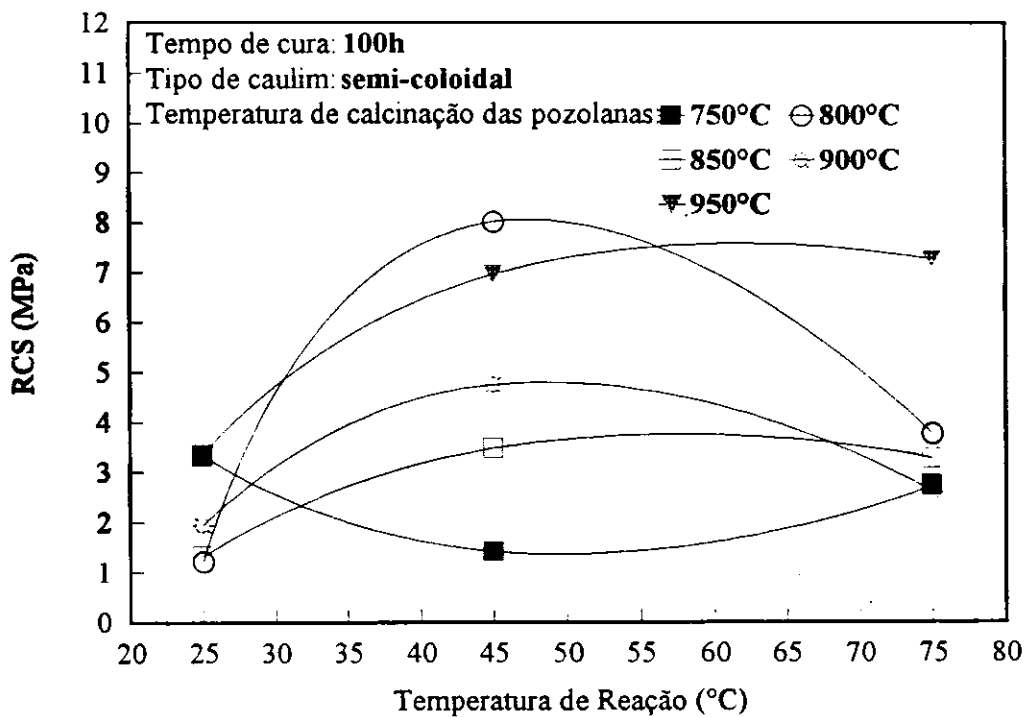


FIGURA A.14: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

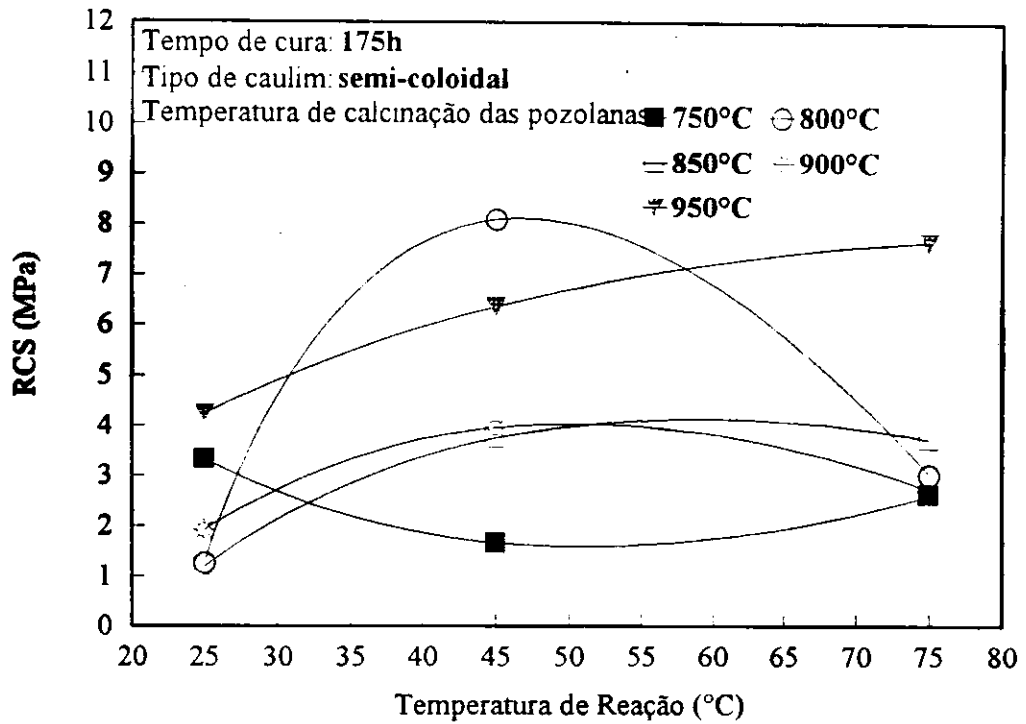


FIGURA A3.15 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

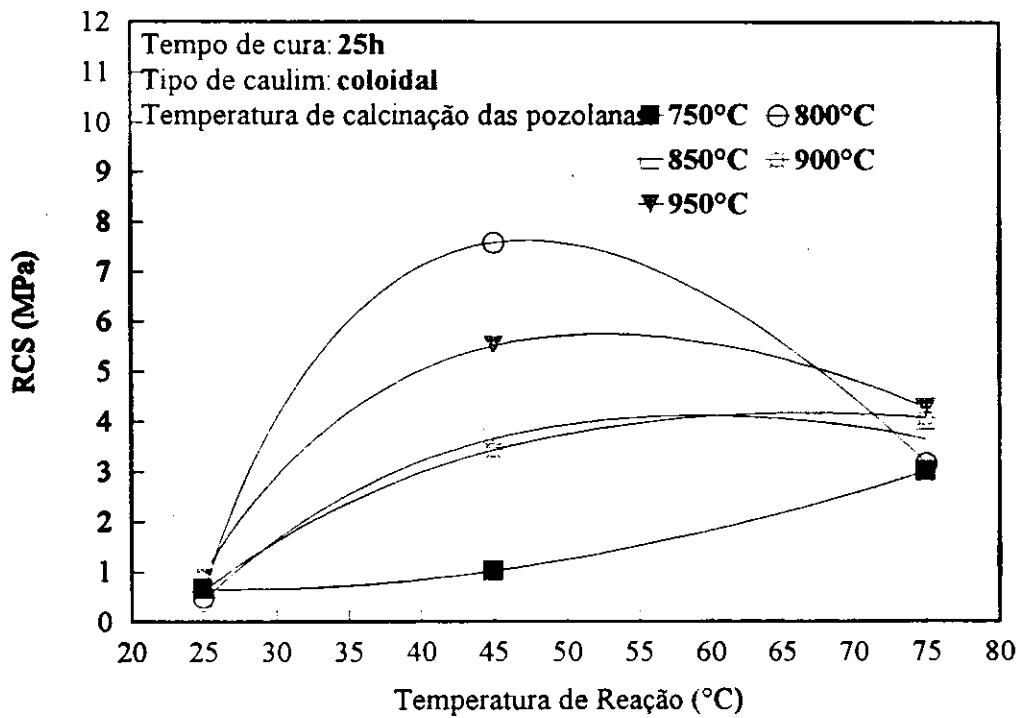


FIGURA A3.16 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

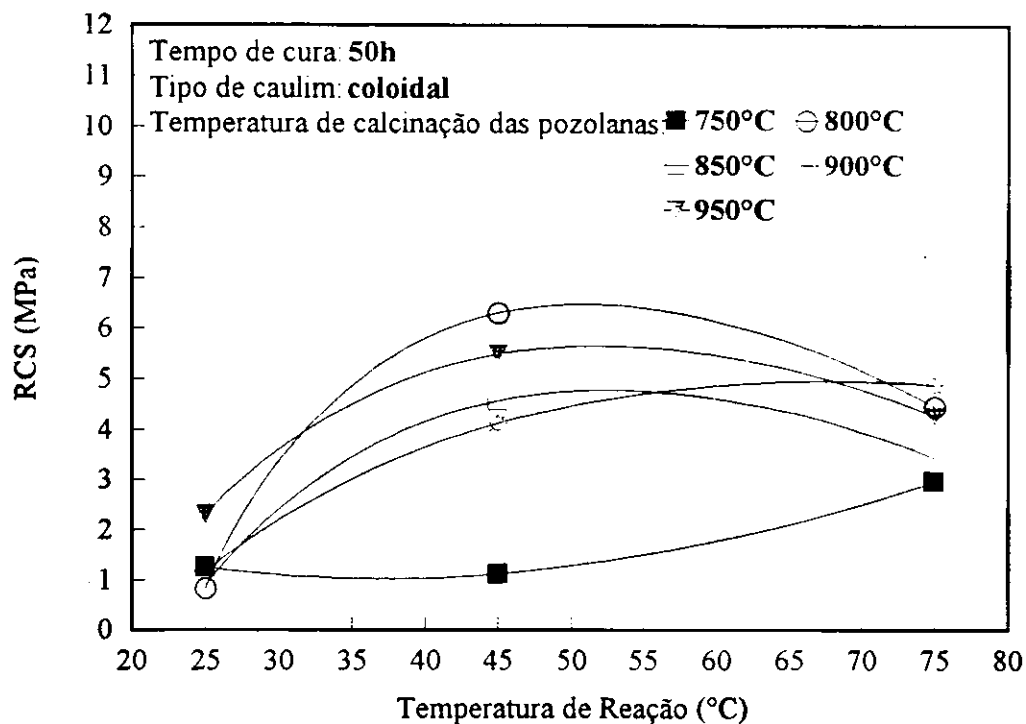


FIGURA A3.17: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

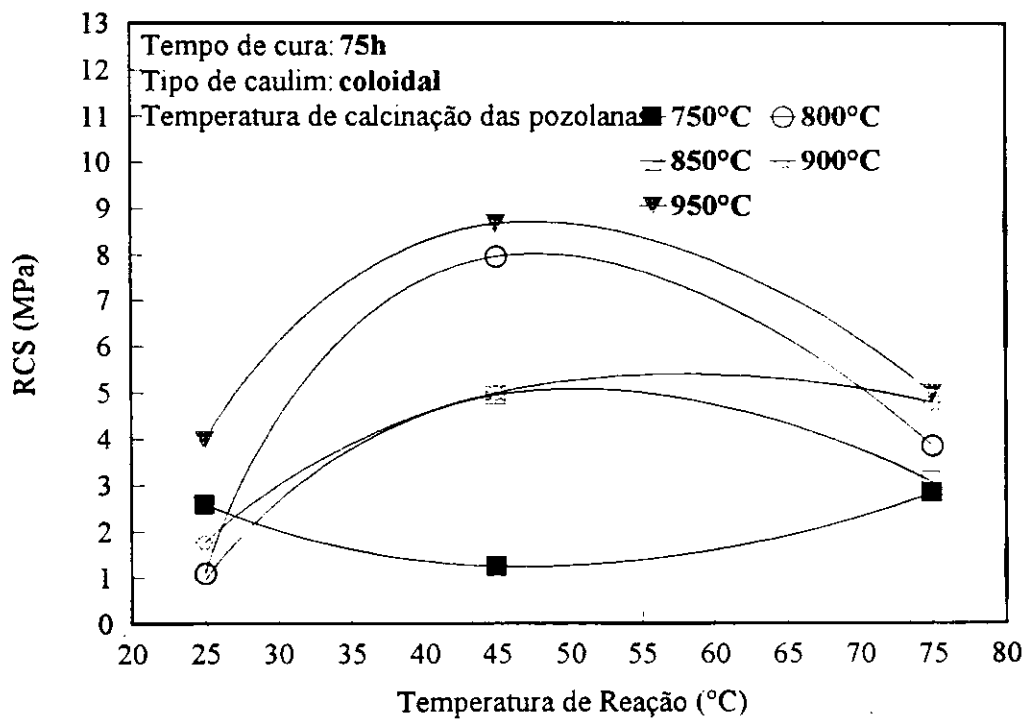


FIGURA A3.18 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

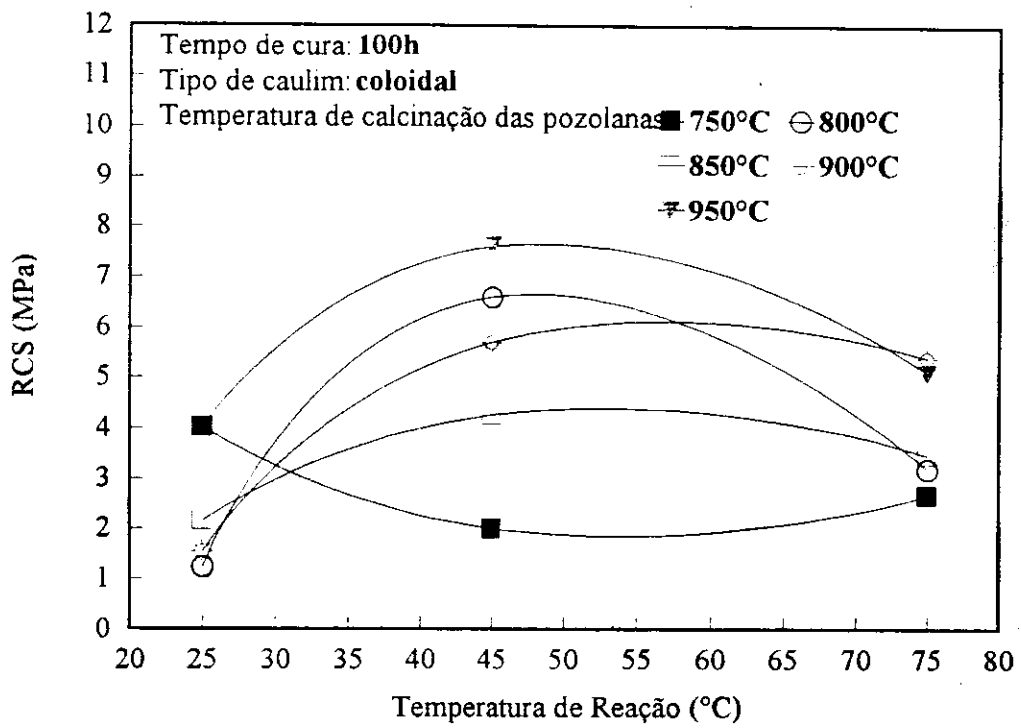


FIGURA A3.19: Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

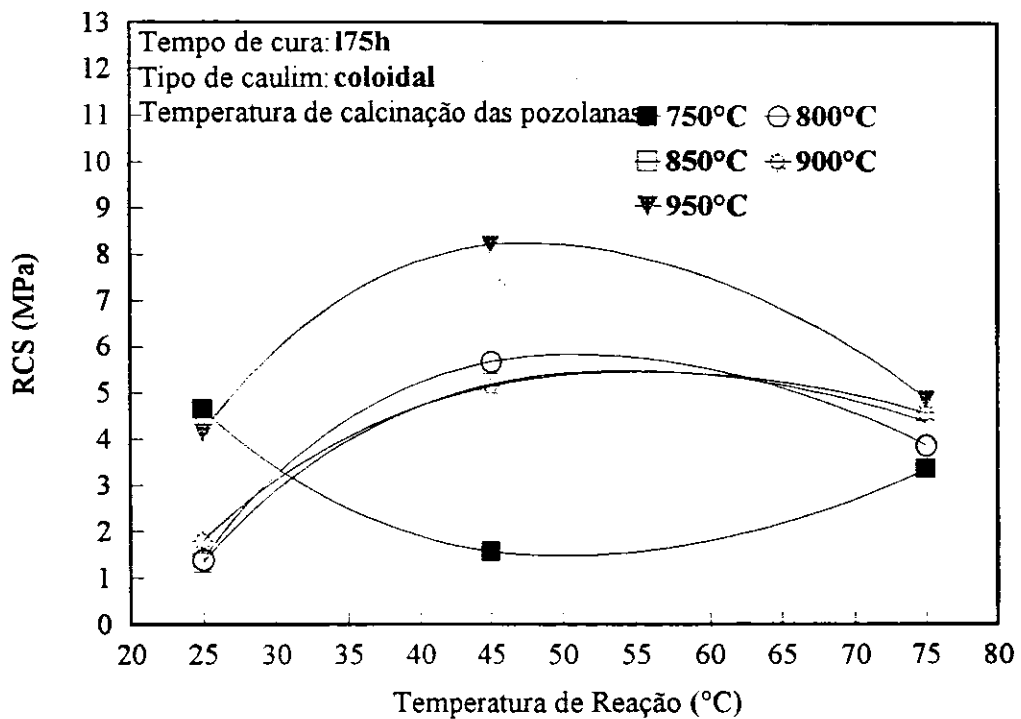


FIGURA A3.20 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Reação.

ANEXO 4

RCS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO

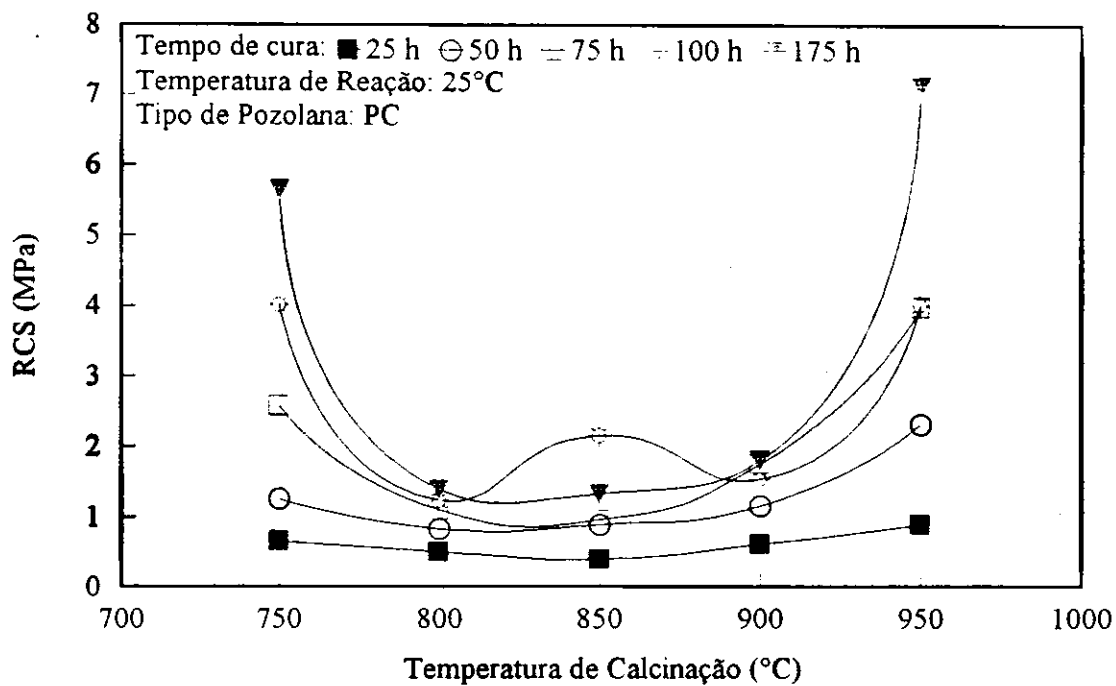


FIGURA A4.1 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

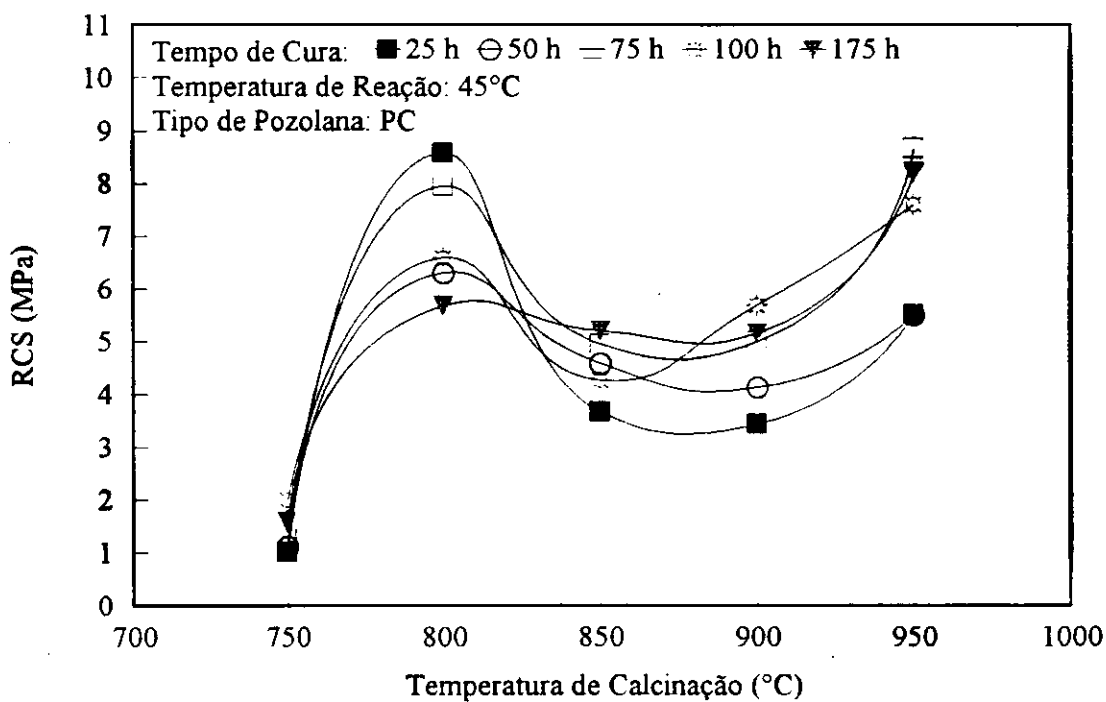


FIGURA A4.2 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

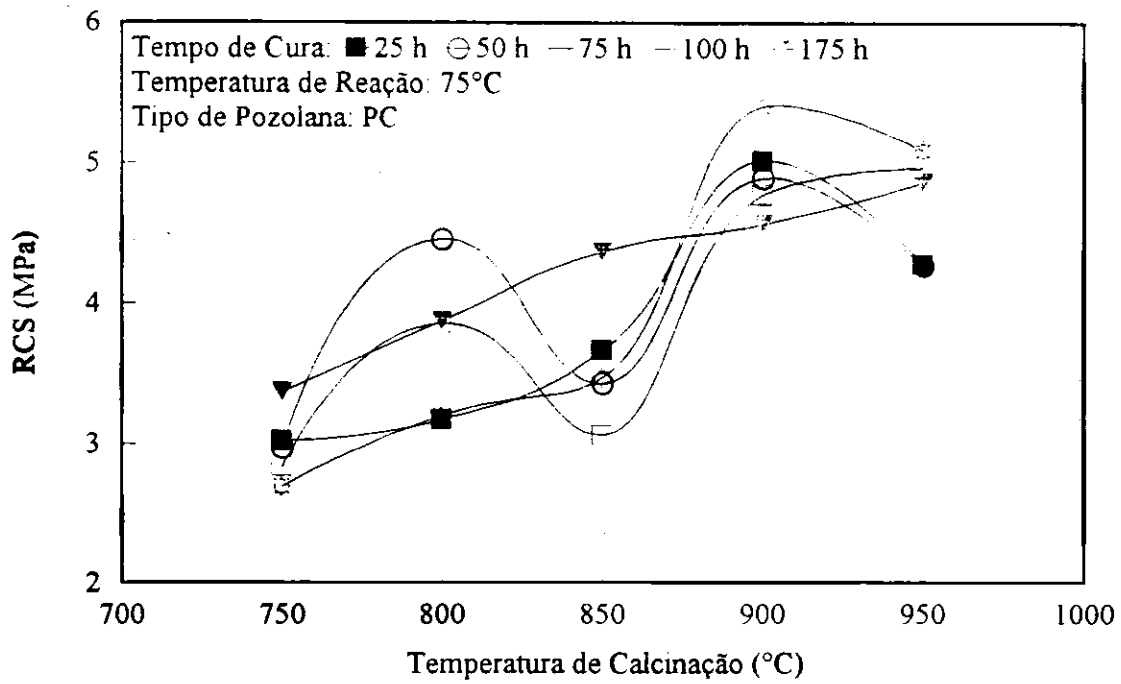


FIGURA A4.3 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação .

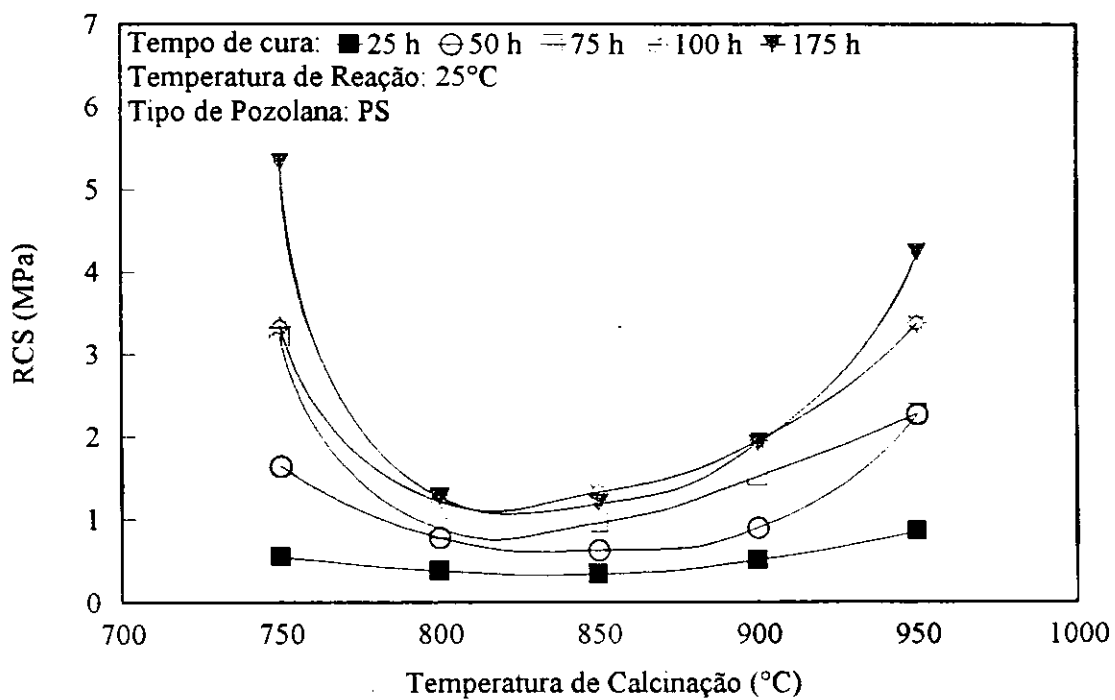


FIGURA A4.4 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

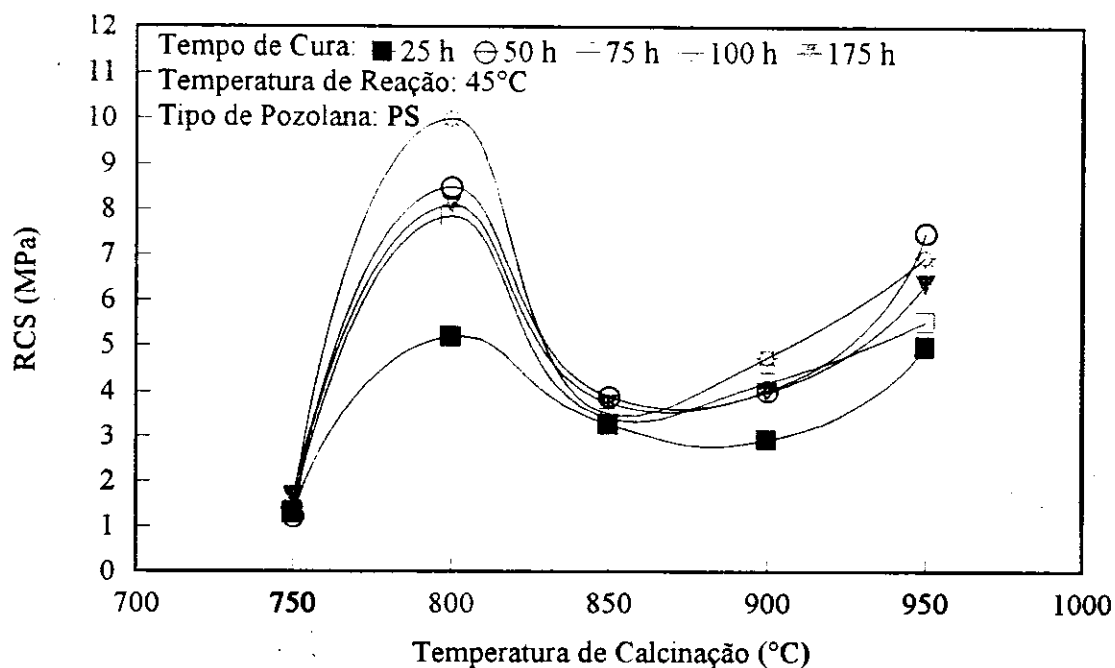


FIGURA A4.5 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

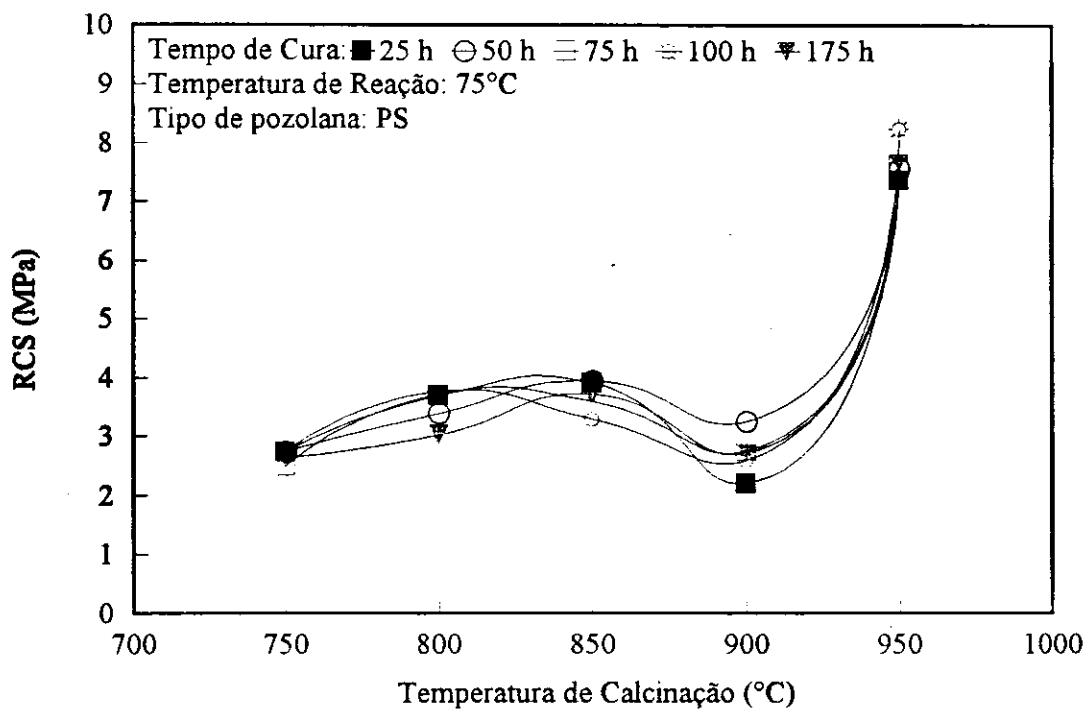


FIGURA A4.6 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

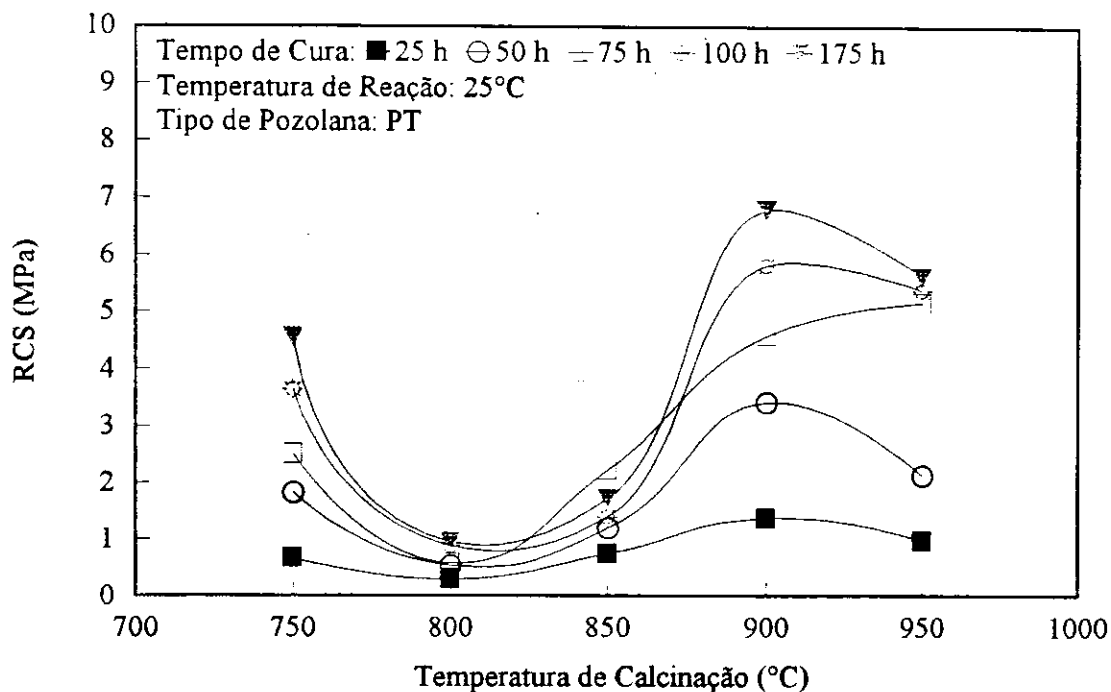


FIGURA A4.7 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

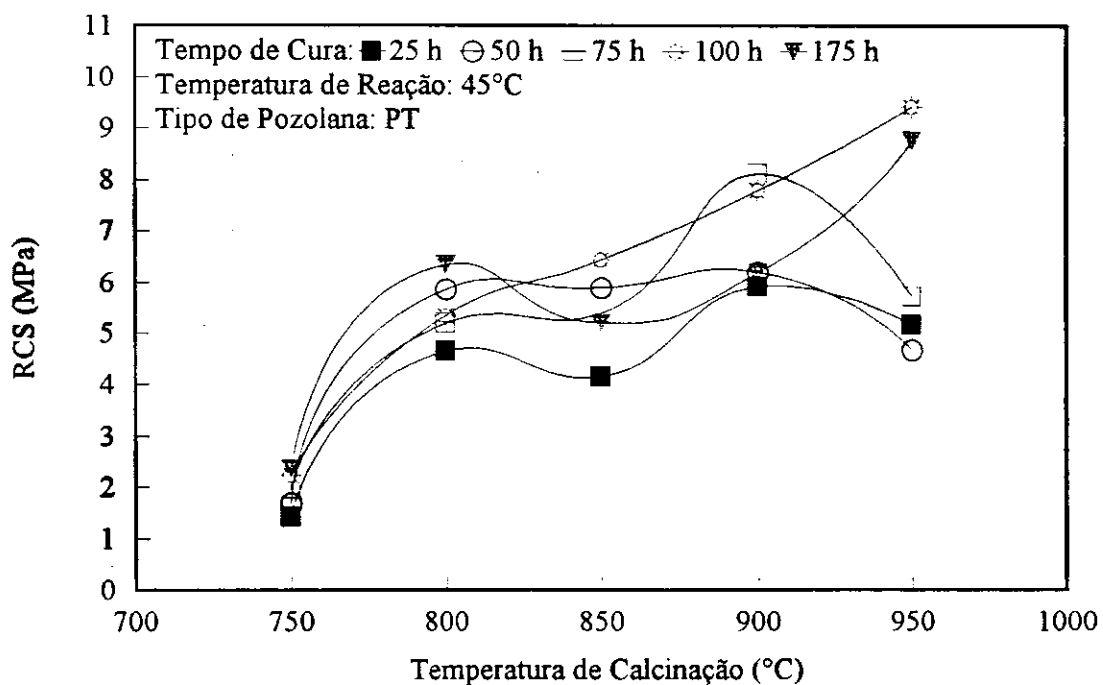


FIGURA A4.8 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

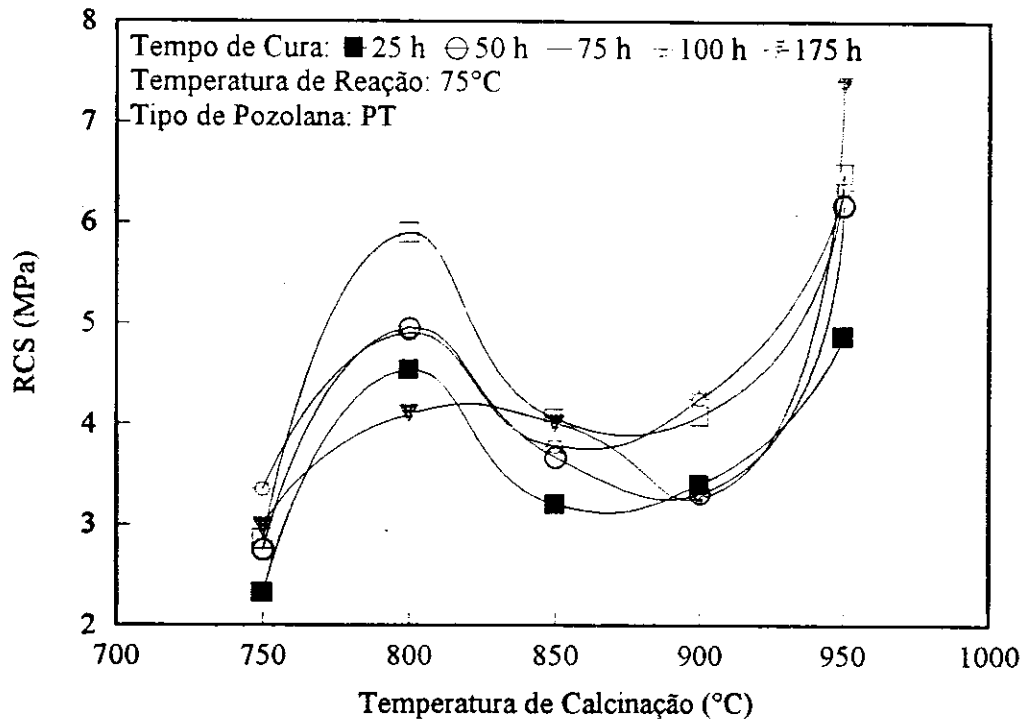


FIGURA A4.9 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

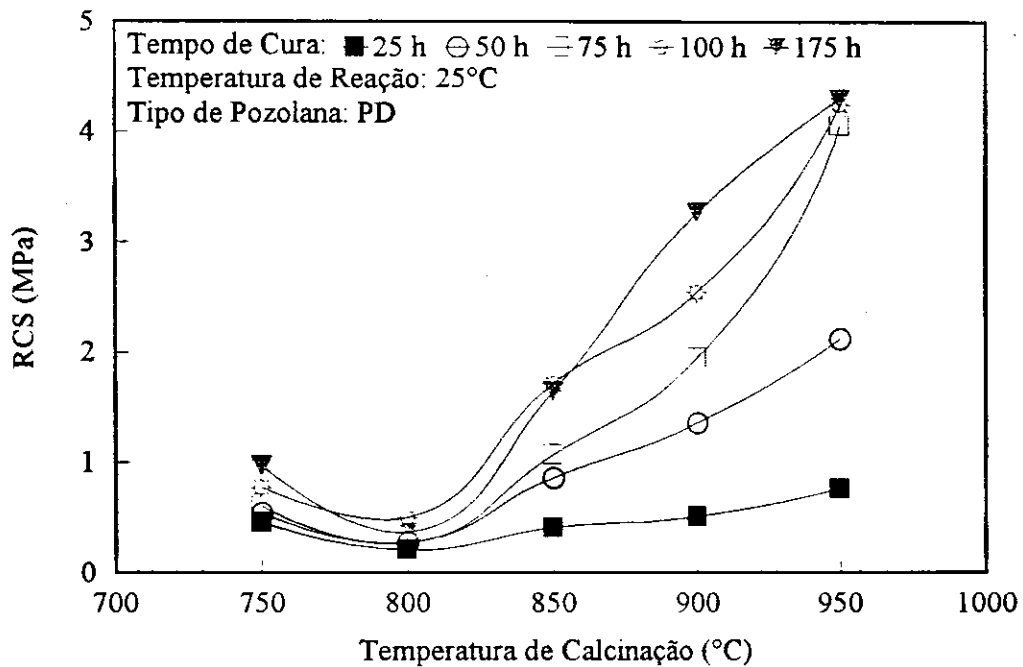


FIGURA A4.10 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

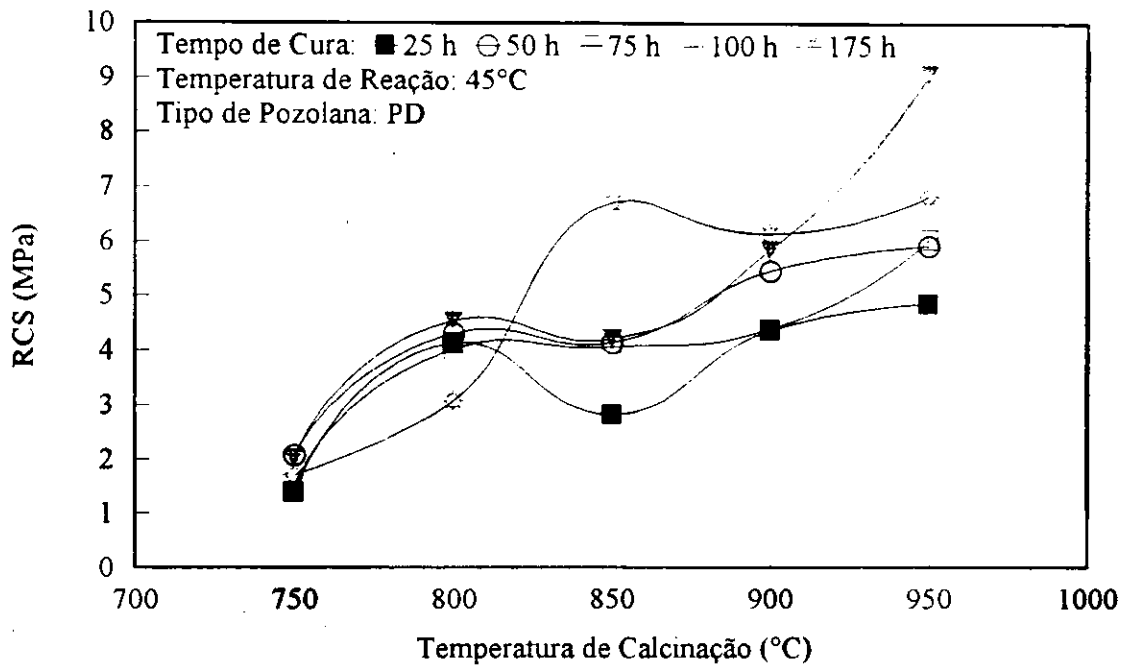


FIGURA A4.11 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

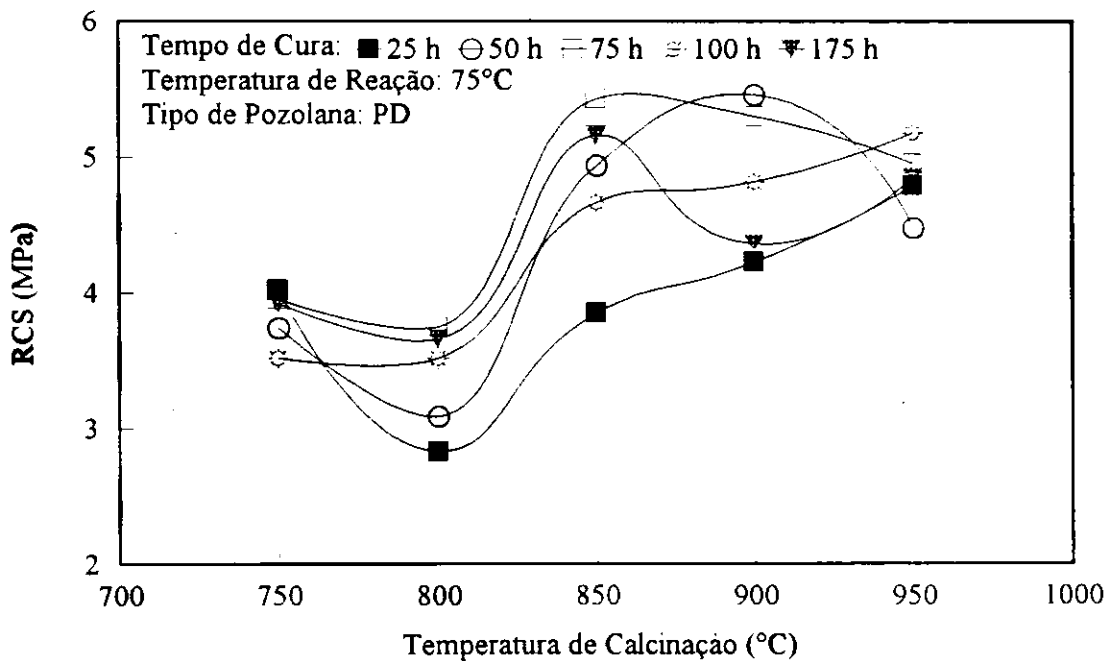


FIGURA A4.12 : Resistência à Compressão Simples em Função da Temperatura de Calcinação.

ANEXO 5

TABELAS DE VALORES DE RCS (MPa)

TABELA A5.1 - Resistência à Compressão Simples das Argamassas (MPa)
Compostas de Pozolana Calcinadas a 750°C

Temperatura de Reação (25°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	0,66	1,26	2,58	4,02	5,65
Poz. Semi-Coloidal	0,55	1,64	3,20	3,33	5,33
Poz. #325	0,67	1,83	2,51	3,64	4,54
Poz. #200	0,46	0,54	0,60	0,77	0,97
Temperatura de Reação (45°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	1,02	1,12	1,25	2,00	1,58
Poz. Semi-Coloidal	1,30	1,22	1,33	1,43	1,67
Poz. #325	1,43	1,69	1,97	2,24	2,35
Poz. #200	1,38	2,08	1,51	1,71	2,03
Temperatura de Reação (75°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	3,02	2,97	2,83	2,69	3,37
Poz. Semi-Coloidal	2,74	2,75	2,49	2,74	2,63
Poz. #325	3,32	2,75	2,85	3,35	2,98
Poz. #200	4,02	3,74	3,95	3,53	3,92

TABELA A5.2 - Resistência à Compressão Simples das Argamassas (MPa)

Compostas de Pozolana Calcinadas a 800°C

Temperatura de Reação (25°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	0,50	0,84	1,10	1,24	1,40
Poz. Semi-Coloidal	0,38	0,78	0,89	1,22	1,27
Poz. #325	0,30	0,54	0,59	0,89	0,96
Poz. #200	0,21	0,28	0,27	0,50	0,37
Temperatura de Reação (45°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	7,59	6,31	7,96	6,60	5,68
Poz. Semi-Coloidal	5,19	8,49	7,85	8,02	8,10
Poz. #325	4,65	5,87	5,19	5,35	6,35
Poz. #200	4,12	4,30	4,02	3,08	4,53
Temperatura de Reação (75°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	3,17	4,46	3,85	3,19	3,87
Poz. Semi-Coloidal	3,70	3,40	3,72	3,77	3,03
Poz. #325	4,54	4,95	5,90	4,89	4,10
Poz. #200	2,83	3,09	3,75	3,52	3,66

TABELA A5.3 - Resistência à Compressão Simples das Argamassas (MPa)

Compostas de Pozolana Calcinadas a 850°C

Temperatura de Reação (25°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	0,40	0,89	0,96	2,16	1,33
Poz. Semi-Coloidal	0,34	0,63	0,96	1,33	1,19
Poz. #325	0,75	0,19	2,23	1,39	1,73
Poz. #200	0,42	0,86	1,07	1,72	1,65
Temperatura de Reação (45°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	3,67	4,58	4,95	4,27	5,20
Poz. Semi-Coloidal	3,27	3,89	3,41	3,49	3,75
Poz. #325	4,16	5,89	5,38	6,45	5,20
Poz. #200	2,83	4,14	4,06	6,71	4,19
Temperatura de Reação (75°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	3,66	3,43	3,06	3,47	4,37
Poz. Semi-Coloidal	3,92	3,95	3,59	3,28	3,72
Poz. #325	3,20	3,67	4,04	3,78	4,01
Poz. #200	3,85	4,49	5,43	4,67	5,16

TABELA A5.4 - Resistência à Compressão Simples das Argamassas (MPa)
Compostas de Pozolana Calcinadas a 900°C

Temperatura de Reação (25°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	0,61	1,16	1,77	1,54	1,81
Poz. Semi-Coloidal	0,51	0,90	1,52	1,95	1,92
Poz. #325	1,37	3,42	4,57	5,82	6,80
Poz. #200	0,51	1,36	1,95	2,54	3,27
Temperatura de Reação (45°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	3,45	4,13	4,99	5,69	5,16
Poz. Semi-Coloidal	2,92	4,02	4,22	4,76	3,96
Poz. #325	5,93	6,21	8,13	7,81	6,20
Poz. #200	4,36	5,45	4,39	6,14	5,84
Temperatura de Reação (75°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	4,08	4,89	4,78	5,41	4,57
Poz. Semi-Coloidal	2,21	3,26	2,76	2,60	2,72
Poz. #325	3,40	5,81	4,08	4,25	3,26
Poz. #200	4,23	5,46	5,29	4,82	4,36

TABELA A5.5 - Resistência à Compressão Simples das Argamassas (MPa)
Compostas de Pozolana Calcinadas a 950°C

Temperatura de Reação (25°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	0,89	2,32	3,98	4,02	7,14
Poz. Semi-Coloidal	0,86	2,26	2,27	3,38	4,24
Poz. #325	0,97	2,13	5,16	5,38	5,63
Poz. #200	0,76	2,12	4,06	4,25	4,30
Temperatura de Reação (45°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	5,52	5,49	8,67	7,61	8,22
Poz. Semi-Coloidal	4,98	7,50	5,52	6,96	6,37
Poz. #325	5,18	4,68	5,74	9,43	8,79
Poz. #200	4,85	5,92	6,03	6,83	9,09
Temperatura de Reação (75°C)					
AMOSTRAS	Tempos de Cura (h)				
	25	50	75	100	175
Poz. Coloidal	4,28	4,27	4,97	5,10	4,87
Poz. Semi-Coloidal	7,37	7,57	7,62	7,24	7,66
Poz. #325	4,87	6,18	6,49	6,34	7,37
Poz. #200	4,79	4,48	4,95	5,18	4,85