

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Bruno Araújo Silva

**Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão
de corpos-de-prova de concreto**

*Trabalho de Graduação
2009*

Civil

Bruno Araújo Silva

**Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão
de corpos-de-prova de concreto**

Orientador
Prof.Dr. Maryangela Geimba de Lima (ITA)

Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

SILVA, Bruno Araújo Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto São José dos Campos, 2009. 47f Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009. Orientador: Maryangela Geimba de Lima 1. Cura de corpos-de-prova. 2. Resistência do concreto. 3. Hidratação de corpos-de-prova. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Título.
--

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Bruno Araújo. Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto. 2009. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruno Araújo Silva

TÍTULO DO TRABALHO: Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto.

TIPO DO TRABALHO: Graduação / 2009

É concedido ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Bruno Araújo Silva
Praça 14 bis, nº14, Jardim Souto
São José dos Campos, SP

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE CURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO

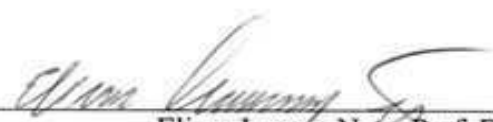
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação.



Bruno Araújo Silva, Asp Of
Autor



Maryangela Geimba de Lima, Prof.. (ITA)
Orientador



Eliseu Lucena Neto, Prof. Dr.
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 26 de novembro de 2009

RESUMO

Este trabalho de graduação teve um estudo direcionado em dois casos que envolvem ciência dos materiais, especialmente concreto. O primeiro caso consistiu na verificação da resistência dos corpos-de-prova, sendo estes, moldados com a massa de concreto proveniente dos pilares que compõe a estrutura de uma obra em estágio construtivo na região do DCTA. O segundo caso consistiu também em um estudo de verificação da resistência, porém, com uma metodologia um pouco diferente, pois o processo de cura dos corpos-de-prova neste experimento foi realizado em laboratório com cinco tipos diferentes de cura:

- Cura em câmara úmida;
- Cura em cal saturada em água;
- Cura em ambiente externo ao laboratório;
- Cura em ambiente interno ao laboratório;
- Cura em tanque com água potável;

Após o período de 28 dias, esses corpos-de-prova foram levados à ruptura para a verificação de suas resistências, e constatou-se que os corpos-de-prova que estavam sendo curados em cal apresentaram a maior resistência dentre as demais cura. Isso pode ser explicado, pois a cura em cal possibilita uma hidratação precoce do cimento, elevando desta forma, sua resistência aos 28 dias.

ABSTRACT

This graduate work was a study focused on two cases involving materials science, especially concrete. The first case was to verify the resistance of soils-proof, the latter being cast with the mass of concrete from the pillars that make up the structure of work in a constructive stage in the region of DCTA. The second case was also in a study to check the resistance, but with a slightly different methodology, since the process of healing the body-of-evidence in this experiment was conducted in the laboratory with five different types of healing:

- Cures in a moist chamber;
- Cures in saturated lime water;
- Curing the environment outside the laboratory;
- Healing indoors to the laboratory;
- Curing tank with water;

After 28 days, specimens of these samples were taken to break to check their resistance, and found that the specimens of proof that we were being cured in lime showed the highest resistance among the other healing. This can be explained, for the healing of lime enables early hydration of cement, thus increasing its resistance to 28 days.

Índice de figuras:

Figura 1 – Representação esquemática da liberação de calor (A) e a concentração de Ca^{2+} em solução (B) durante a hidratação do cimento Portland. Indicações das etapas das reações: (I): Estágio inicial; (II): Período de indução; (III): Período de aceleração; (IV): Período de desaceleração; (V): Estágio final.....	13
Figura 2 - Galpão de materiais elétricos em estágio de finalização da obra	19
Figura 3 - Corpos-de-prova com a pasta de enxofre nas bases	22
Figura 4 - Prensa hidráulica do laboratório.	23
Figura 5 - Ensaio de compressão.....	24
Figura 6 –Corpo-de-prova rompido.....	24
Figura 7 – Os 22 moldes metálicos para confecção dos corpos-de-prova.	26
Figura 8 – Chegada de concreto para moldagem.	27
Figura 9 – Adensamento manual por meio de uma haste metálica com 12 golpes/camada.....	27
Figura 10 – Desmoldagem do tronco de cone.	28
Figura 11 – “Slump Test” de valor 6 cm.	29
Figura 12 – Moldagem dos corpos-de-prova.....	30
Figura 13 – Cura em tanque com água potável.	31
Figura 14 – Cura em tanque com água e cal até a saturação.	32
Figura 15 – Cura em ambiente externo ao laboratório	32
Figura 16 – Cura em câmara úmida	33
Figura 17 – Cura em ambiente interno ao laboratório.....	34
Figura 18 – Capeamento dos corpos-de-prova.....	35
Figura 19 – Corpos-de-prova rompido	35
Figura 20 - Tensões de ruptura aos 28 dias.	38
Figura 21 - Tensões de ruptura aos 63 dias.	38
Figura 22 – Gráfico da resistência X idade.	41
Figura 23 – Gráfico da resistência aos 7 dias.	42
Figura 24 – Gráfico da resistência aos 28 dias.	42

Índice de tabelas:

Tabela 1 – Composição Potencial e Características Físicas do Cimento Utilizado.	20
Tabela 2 - Quantidade dos Materiais.....	21
Tabela 3 – Datas das rupturas dos corpos-de-prova.	36
Tabela 4- Dados obtidos referentes à ruptura dos 28 dias.....	37
Tabela 5- Dados obtidos referentes à ruptura dos 63 dias.....	37
Tabela 6 - Comparação quantitativa das resistências com o fck do concreto.	39
Tabela 7 – Resultado final do ensaio.....	40
Tabela 8 – Comparação quantitativa das resistências em relação à câmara úmida.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
Kb	Constante básica de dissociação iônica
Kgf	Quilograma-força
MPa	Mega Pascal
t	Toneladas
Kg	Quilo
C ₃ S	Silicato tri-cálcico - Alita
C ₂ S	Silicato dicálcio
C ₃ A	Aluminato tricálcio
C ₄ AF	Aluminato tetra-cálcico - Ferrita
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
Na ₂ SO ₄	Sulfato de sódio
K ₂ SO ₄	Sulfato de potássio
CaSO ₄ .1/2.H ₂ O	Sulfato de cálcio hemihidratado
CaSO ₄ .2.H ₂ O	Sulfato de cálcio dihidratado
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio - Portlandita
Ø	Diâmetro
CaO	Óxido de cálcio
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio

ag./agl	Relação de água e aglomerante
CPi	Corpo-de-prova número i
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CH	Hidróxido de cálcio - Portlandita
pH	Potencial hidrogênico
$\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$	Aluminato de cálcio
$\text{Al}(\text{OH})_4^-$	Ânion tetraidroxialuminato
AFm	Monossulfoaluminato de cálcio hidratado
AFt	Trissulfoaluminato de cálcio hidratado ou etringita
mm	Mílimetro
Mol	Molécula-grama
N	Newton
M	(10^6) - prefixo
cm	centímetro
$\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$	Íon silicato

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	11
1.2	ESTUDOS DE CASO REALIZADOS	11
2	HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND – ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA 12	
2.1	DELIMITAÇÃO DA TERMINOLOGIA	12
2.2	HIDRATAÇÃO DOS COMPOSTOS DO CIMENTO PORTLAND.....	12
2.3	EFEITO DA CAL NOS PRIMEIROS DIAS DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO: 16	
3	ESTUDO DE CASOS	19
3.1	PRIMEIRO ESTUDO DE CASO	19
3.1.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	19
3.1.2	CIMENTO PORTLAND E MASSA DE CONCRETO.....	20
3.1.3	ENSAIOS	21
3.2	SEGUNDO ESTUDO DE CASO.....	25
3.2.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	25
3.2.2	ENSAIO	26
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
4.1	RESULTADOS DO PRIMEIRO ESTUDO DE CASO.....	37
4.2	RESULTADOS DO SEGUNDO ESTUDO DE CASO.....	39
5	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	45

1 INTRODUÇÃO

O concreto utilizado em obras deve ser compatível com a normalização nacional e com as especificações de projeto e memorial descritivo, em vista disso formulou-se uma metodologia que aplicasse todas as etapas que compõem a verificação da resistência do concreto. Essas etapas dividem-se em procedimentos que vão desde a moldagem até a verificação da resistência, sendo estes avaliados através de um estudo de caso realizado durante a construção de um galpão de materiais elétricos no DCTA, e também, através de ensaios de resistência de corpos-de-prova moldados em laboratório, no Laboratório de Materiais e Pavimentação da Divisão de Engenharia Civil Aeronáutica do ITA.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a resistência de corpos-de-prova de concreto frente a distintos processos de cura.

1.2 ESTUDOS DE CASO REALIZADOS

Como já mencionado, este trabalho terá análise baseado em dois estudos de caso realizados durante o ano de 2009. Para fins didáticos, denominaremos estes ensaios em:

- Primeiro estudo de caso – estudo de caso de obra real;
- Segundo estudo de caso – ensaios em laboratório;

Estes estudos ocorreram em momentos diferentes, sendo o primeiro realizado na ocasião da execução obra do Galpão da Elétrica no DCTA, durante o primeiro semestre; enquanto a segunda, realizada em laboratório, se desenvolveu na segunda metade do mesmo ano.

Os dois ensaios tiveram o mesmo fim (verificação da resistência de corpos-de-prova), porém existem algumas peculiaridades que merecem registro. O primeiro ensaio foi um estudo motivador para a elaboração deste trabalho de graduação, em que a moldagem e a cura dos corpos-de-prova foram realizadas no ambiente da obra, com procedimentos de cura não correspondentes ao especificado em norma. O segundo ensaio foi realizado com os procedimentos especificados pelas normas, além de variar os procedimentos de cura entre os

propostos pelas normas e outros propostos para análise neste trabalho, a fim de verificar as resistências (cargas de ruptura) para cada uma delas.

2 HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND – ABORDAGEM BIBLIOGRÁFICA

2.1 DELIMITAÇÃO DA TERMINOLOGIA

O termo hidratação do cimento refere-se a reação química que ocorre com os compostos do cimento quando entram em contato com a água, formando produtos chamados de hidrato. Estes produtos da reação correspondem à introdução da molécula de água na estrutura molecular das espécies, o que faz estes desenvolverem características de pega e endurecimento. (MEHTA, MONTEIRO, 1994).

2.2 HIDRATAÇÃO DOS COMPOSTOS DO CIMENTO PORTLAND

Este item teve como base o texto de revisão de Quarcioni (2008), apresentado em sua tese de doutorado.

Imediatamente após o contato com cimento com água, inicia-se uma troca de espécies iônicas entre o sólido e a fase líquida. A elevada solubilidade dos elementos do clínquer dá origem a um rápido aumento na concentração de aluminatos, sulfatos e álcalis na fase líquida. As maiores contribuições da composição da fase aquosa em contato com cimento (JAWED, SKALNY, YOUNG, 1983, apud QUARCIONI, 2008), são:

- Silicatos de cálcio (C_3S e C_2S): Ca^{2+} e OH^- ;
- Aluminatos de cálcio (C_3A) e ferritas (como C_3AF): Ca^{2+} e $Al(OH)_4^-$;
- Sulfato de Cálcio ($CaSO_4$): Ca^{2+} e SO_4^{2-} ;
- Sulfatos alcalinos (Na_2SO_4 e K_2SO_4): Na^+ , K^+ e SO_4^{2-} ;

Com a dissolução da fase anidra do clínquer ocorre à formação de compostos com solubilidade menor, o que leva a precipitação de hidratos, que constituem a fase endurecida (JAWED, SKALNY, YOUNG, 1983, apud QUARCIONI, 2008).

Segundo (QUARCIONI, 2008), o mecanismo de hidratação pode ser dividido em cinco etapas:

- Estágio inicial (I);
- Período de indução (II);
- Período de aceleração (III);
- Período de desaceleração (IV);
- Estágio final (V);

Através da termodinâmica das reações químicas, é possível verificar cada um desses estágios associando o calor de hidratação do cimento Portland com a variação dos íons.

A figura 1 associa o calor de hidratação com a variação das concentrações dos íons Ca^{2+} , deixando bem claro quando ocorre a separação de cada estágio da reação de hidratação.

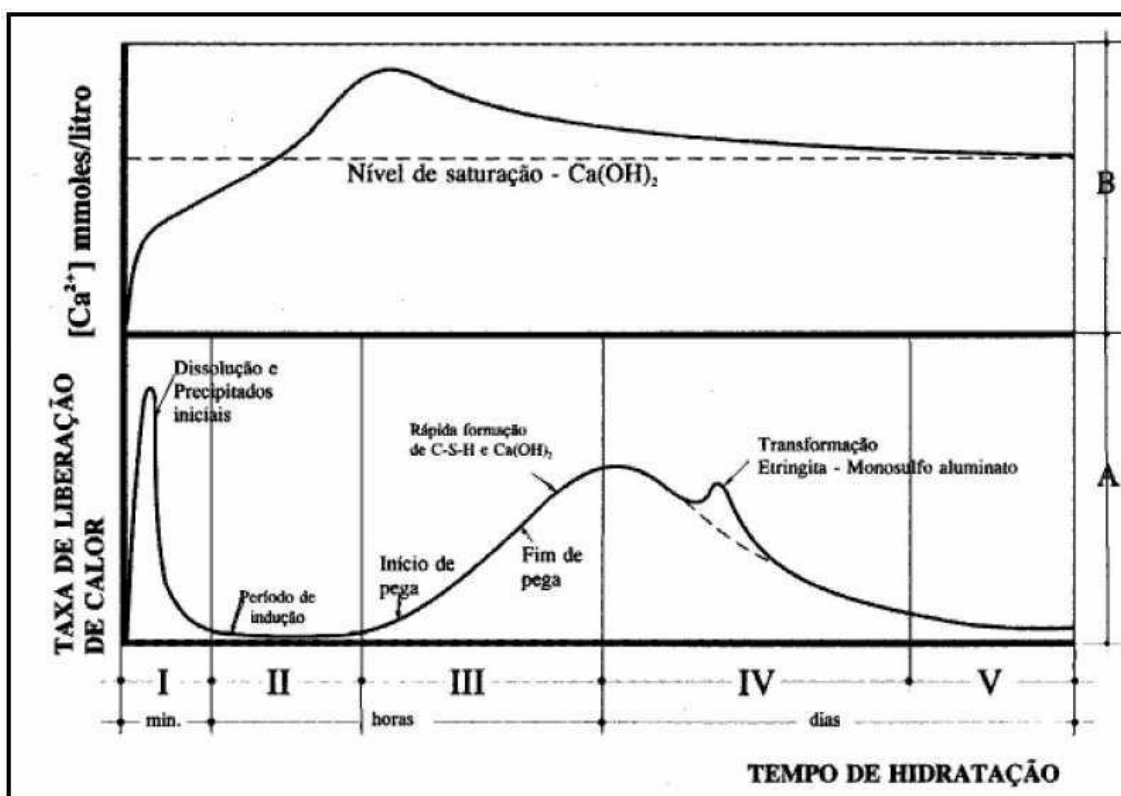


Figura 1 – representação esquemática da liberação de calor (A) e a concentração de Ca^{2+} em solução (B) durante a hidratação do cimento Portland. Indicações das etapas das reações: (I): Estágio inicial; (II): Período de indução; (III): Período de aceleração; (IV): Período de desaceleração; (V): Estágio final

Fonte: (JAWED, SKALNY, YOUNG, 1983 e ZAMPIERI, 1989, apud QUARCIONI, 2008)

Estágio inicial (I): Segundo Quarcioni (2008), o pico inicial apresentado no gráfico faz referência à liberação de calor ocorrida durante a molhagem das partículas e a dissolução

dos sulfatos alcalinos e liberação dos íons Na^+ , K^+ e SO_4^{2-} , dissolução do sulfato de cálcio até o ponto de saturação da reação, à liberação dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} . A hidratação do sulfato de cálcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) para dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) também contribui para a ocorrência do primeiro pico da liberação de calor.

Neste estágio inicia-se a dissolução das fases anidras C_3S , C_3A e C_4AF dando origem a uma camada de gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) que reveste a superfície dos grãos anidros do clínquer. Os íons liberados C_3A e C_4AF reagem com os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} dando origem a um gel amorfo, rico em aluminato, sobre a superfície dos grãos de clínquer e dos bastões ou pequenas e espessas agulhas de etringita (fase AFt) (QUARCIONI, 2008).

Período de indução (II): Uma camada de gel que se deposita sobre os grãos anidros do cimento que forma uma espécie de barreira entre as fases anidras e a solução aquosa. Este gel amorfo e coloidal é originado a partir da precipitação inicial da etringita, e menor escala, de C-S-H, sendo rico em sílica e alumínio e com presença dos íons cálcio e sulfato. Ocorre aumento das concentrações dos íons Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ e OH^- em solução. A concentração de íons cálcio na fase aquosa atinge o patamar de saturação e inicia-se o declínio. Este período, que também é denominado de dormência, tem duração aproximada entre 30 minutos e 3 horas, que se finalizam quando a camada de gel depositada sobre os grãos de clínquer é destruída ou se torna mais permeável à difusão iônica (QUARCIONI, 2008).

Este período é caracterizado pela baixa taxa de evolução de calor. Continuam a crescer as concentrações dos íons Ca^{2+} e OH^- , mas de forma linear. Verifica-se um elevado grau de saturação quando o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atinge o patamar, quando se inicia a precipitação. O tempo necessário para atingir o tempo de supersaturação depende fortemente da relação água/cimento e do tamanho do cristal de C_3S (QUARCIONI, 2008).

Período de aceleração (III): Predomina o mecanismo de dissolução-precipitação, com conseqüente supersaturação iônica da fase aquosa e rápida formação de C-S-H. Os principais produtos formados são C-S-H e $\text{CH}[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. Correspondem à reação do estágio III, que resulta em um declínio gradual da concentração de Ca^{2+} na solução. Este período finaliza com o desaparecimento do segundo pico da curva (Figura 1) e sinaliza o início da desaceleração da geração do calor do sistema (QUARCIONI, 2008).

O fenômeno da pega se dá no decorrer do período de aceleração, em que os silicatos, sobretudo a alita (C_3S), passam a se hidratar rapidamente até atingir a taxa máxima de hidratação ao final deste período, que corresponde ao máximo calor liberado. Ocorre também precipitação da etringita. A taxa de hidratação deste período é controlada pela formação do C-

S-H. Durante o período de aceleração, a taxa e a extensão da hidratação são dependentes da área específica do clínquer (MOSTAFÁ; BROWN, 2005, apud QUARCIONI, 2008)

Período de desaceleração (IV): Tem início com diminuição gradual da taxa da evolução do calor, dado à redução gradual na concentração de íons em solução, em decorrência da precipitação de hidratos que recobrem as partículas do cimento e dificultam a solubilização das fases anidras. Após o período aproximado de 24 h tem-se continuidade das reações lentas que dão origem também a C-S-H e CH. O mecanismo de reação passa a ser controlado por difusão iônica ou reação topoquímica. Alguns tipos de cimentos com C_3A , em geral, a maior que 12% exibem um ombro característico na curva de calor de hidratação, em aproximadamente 16h, e está associado a uma nova formação de etringita (fase AFt) (KADRI; DUVAL, 2002, apud QUARCIONI, 2008).

Estágio final (V): Um novo ombro seqüencial que pode ocorrer, porém menos distinto que o anterior, tem sido associado à hidratação da fase ferrita ou conversão da fase AFt para AFm. A formação de placas hexagonais delgadas de monossulfoaluminato de cálcio (fase AFm), a partir de reação do tiosulfoaluminato de cálcio fase AFt com o C_3A e o C_4AF , ocorre por indisponibilidade de sulfato de cálcio no sistema (TAYLOR, 1998, apud QUARCIONI, 2008).

Com o crescimento dos produtos de hidratação são preenchidos gradativamente os espaços, ocupados inicialmente pelo excesso de água de mistura, com densificação da pasta, e as reações de hidratação prosseguem por mecanismo topoquímico (TAYLOR, 1998, apud QUARCIONI, 2008).

As reações químicas de hidratação das principais fases podem ser representadas simplificadaamente (TAYLOR, 1998, apud QUARCIONI, 2008).

A hidratação do C_4AF em presença de gipsita dá origem à formação de fases similares às obtidas na hidratação do C_3A , as quais se distinguem pela substituição parcial do alumínio pelo ferro com composições químicas variáveis, mas estruturas similares às da etringita e do monossulfoaluminato.

A dissolução dos silicatos de cálcio do cimento dá origem à formação da portlandita (CH). A partir da estequiometria da reação tem-se 1 mol de C_3S em solução aquosa libera 3 moles de Ca^{2+} e 1 mol de $H_2SiO_4^{2-}$. Assim, a precipitação do C-S-H ocorre numa relação de 2 moles de Ca^{2+} (ou menos) para 1 mol $H_2SiO_4^{2-}$. Portanto, aumentam-se as concentrações de Ca^{2+} e de OH^- em solução até a saturação do meio e precipitação de CH, que se verifica quando a concentração de Ca^{2+} é de aproximadamente 22 mMol/L. O íon Ca^{2+} é o principal

agente que controla as reações de hidratação do cimento (NACHBAUR et al. 1998, apud BETIOLI, 2007, apud QUARCIONI, 2008).

Uma forma simplificada e eficiente de monitorar a velocidade da hidratação é acompanhar o desenvolvimento das reações por meio de curvas da evolução do calor, usual em estudos dos componentes puros do clínquer. Embora estas curvas não representem respostas a questões de mecanismo, mesmo assim, são úteis para a correlação de dados experimentais conhecidos com parâmetros individuais envolvendo evolução de calor (QUARCIONI et al. 2008, apud QUARCIONI, 2008).

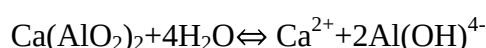
2.3 EFEITO DA CAL NOS PRIMEIROS DIAS DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO:

Este item também teve como base a tese de QUARCIONI (2008).

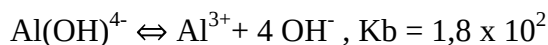
A resistência mecânica do concreto está intimamente ligada ao processo de hidratação do ligante hidráulico (cimento). Tal processo resulta na formação de uma estrutura que interliga as diferentes regiões da matriz do concreto e dos agregados, mantendo o material coeso. Uma vez acelerado este processo de hidratação, o desenvolvimento da resistência mecânica ocorrerá com maior rapidez, reduzindo o tempo para a desmoldagem do concreto (BIER et al. 1996, apud QUARCIONI, 2008)

A fase CA é a principal componente dos cimentos e tem uma cinética de hidratação relativamente lenta. Já a fase $C_{12}A_7$, apresenta um tempo muito curto para o início da pega. Fases com menor razão $CaO: Al_2O_3$, como o CA_2 , são consideravelmente menos reativas, no entanto, mais refratárias.

O processo de hidratação do cimento inicia-se quando a água entra em contato com a superfície das partículas do cimento, sendo esta etapa descrita por meio da seguinte equação química:



Os íons $Al(OH)_4^-$ comportam-se como uma base, sendo que uma pequena parte deles se dissocia em íons Al^{3+} e OH^- em solução, estabelecendo um equilíbrio comandado pela constante básica K_b . Este fenômeno é o responsável pelo aumento do pH do meio:



A ocorrência destas reações químicas provoca a dissolução das fases anidras que compõem o cimento proporcionando um aumento das concentrações dos íons Ca^{2+} e Al(OH)^{4-} em solução. Este processo continua até que um estado de saturação da solução, em relação à dissolução do cimento, seja alcançado. Desta forma, o processo atinge um estado de equilíbrio químico e a dissolução do cimento é interrompida. Entretanto, em relação aos produtos da reação de hidratação, o equilíbrio alcançado não é estável, ou seja, a solução está supersaturada em relação aos compostos formados e, por esse motivo, existe uma tendência natural para que ocorra a precipitação desses produtos (GEORGE, 1982, apud QUARCIONI, 2008).

Apesar de favorecida, a precipitação dos hidratos envolve um processo lento de nucleação, durante o qual não ocorre precipitação. Esse tempo de espera para que se atinjam condições ideais para a precipitação é conhecido como “período de indução”. Este estado de equilíbrio metaestável é mantido até que se vença a barreira de energia de ativação (E_a) necessária à formação dos primeiros germes dos cristais dos hidratos (GEORGE, 1982, apud QUARCIONI, 2008).

A partir da formação destes germes de hidratos a velocidade do processo não é mais limitada pela E_a , uma vez que a precipitação passa a ocorrer por meio do crescimento deles. Dessa maneira, íons de Ca^{2+} e Al(OH)^{4-} são retirados da solução, proporcionando a retomada da dissolução das partículas de cimento, o que possibilita um contínuo crescimento dos hidratos (GEORGE, 1982).

Nesta fase, crescimento dos hidratos, a cal hidratada através dos íons Ca^{2+} e OH^{-} em solução perturba a reação de equilíbrio da formação dos hidratos, que por sua vez são favorecidos em sua formação pelo princípio de Le Chatelier. Esse fato é esperado, pois o hidróxido de cálcio tem uma atuação significativa nas primeiras horas de hidratação, uma vez que a extensão da indução depende da quantidade de tempo de íons cálcio atingirem a supersaturação. A cal hidratada atua física e quimicamente no sistema. Fisicamente pela atuação do filler calcário e pela fração residual silicosa e, quimicamente, pela atuação do hidróxido de cálcio ao intervir na concentração dos íons no sistema.

A cal por ter solubilidade baixa em solução, as maiores partes das partículas de hidróxido de cálcio permanecerão insolúveis no sistema com potencial de atuar fisicamente na hidratação do cimento como nucleador das fases hidratadas.

Com a hidratação do cimento e o conseqüente endurecimento da pasta ocorre uma estruturação progressiva interna dos constituintes da mistura, com uma rede de vazios entre as partes sólidas, preenchidos ou não pela água, em função da evolução da hidratação. O aumento do grau de hidratação da pasta de cimento corresponde a uma redução do diâmetro médio dos capilares, cujo tamanho depende, para cada composição, da quantidade de água remanescente no material, a cada instante (BASTOS, 2001).

Neste sentido, a maior aglomeração das partículas favorece a hidratação do cimento ao disponibilizar gradativamente água para formação dos hidratos. A retração das argamassas foi abordada em detalhes no estudo de Bastos (2001), que evidenciou que a cal ao reter água contribui para minimizar fenômenos de retração em argamassas. A consolidação da microestrutura do material se dá após a aglomeração, e o seu endurecimento tem início simultaneamente com a presença de microporos e de microfissuras presentes. Envolve ainda a formação das fases cristalinas a partir da transformação dos compostos, que se hidratam isoladamente e cujo crescimento configura a formação do reticulado cristalino. Estas características microestruturais estão ligadas à natureza dos aglomerantes constituintes, propriedades mecânicas do material e igualmente suscetíveis à influência de fatores intervenientes externos (PAPAYIANN; KONOPISSI, 2005, apud QUARCIONI, 2008).

Essa visão é aplicada a cal adicionada à argamassas, mas pode ser entendida ao caso de concreto imerso em solução de cal.

Outro aspecto importante a ser lembrado é que se faz necessária a presença de cal em solução para que aconteçam as reações de hidratação, conforme apresentado anteriormente.

3 ESTUDO DE CASOS

3.1 PRIMEIRO ESTUDO DE CASO

Este estudo iniciou-se no dia 20 de fevereiro de 2009 no período da concretagem dos pilares do galpão de materiais elétricos do DCTA, Figura 2, conforme já mencionado no item 1.3. Este tópico detalhará todo o ensaio em campo e a sua finalização em laboratório.



Figura 2 - Galpão de materiais elétricos em estágio de finalização da obra

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

3.1.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização deste primeiro estudo de caso foi necessário as seguintes listagem de materiais, de acordo com o previsto na NBR 5738:

- Haste de aço com 600 mm de comprimento e 16 mm diâmetro, com superfície lisa, seção transversal circular e extremidade de socamento semi-esférica;
- Prensa manual hidráulica, capacidade até 100 toneladas, com um manômetro digital de Ø 10, com escala de 0 a 100 toneladas e subdivisões de 200 Kgf para rompimento de corpos-de-prova de concreto com Ø 15x30 cm e Ø 10x20 cm;
- Quatro moldes de aço para corpos-de-prova cilíndrico, de altura 20 cm e diâmetro interno de 15 cm;
- Colher concha para corpos-de-prova de Ø 15x30 cm;
- Funil metálico para abatimento do tronco de cone com 1,2 Kg;
- Pasta de enxofre com óleo mineral;

3.1.2 CIMENTO PORTLAND E MASSA DE CONCRETO

O cimento utilizado, conforme informações cedidas pelo fabricante, tem suas características principais apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição Potencial e Características Físicas do Cimento Utilizado.

Composição dos materiais	Fração (%)	Características físicas	Valores
Clínquer (% em massa de cimento)	37,9		
Escória (% em massa de cimento)	53,4		
Gipsita (% em massa de cimento)	4,4	Início de pega (min.)	260
Material Carbonático (% em massa de cimento)	4,3	Fim de pega (min.)	400
C ₃ S	21,0	Finura Blaine (cm ² /g)	4050
C ₂ S	5,0	Massa específica (g/cm ³)	2,980
C ₃ A	3,2		
C ₄ AF	3,5		

* Dados fornecidos pelo fabricante.

O concreto que foi utilizado para os pilares e também para corpos-de-prova moldados possuía o seguinte traço: proporção de aglomerantes: agregados de 1:6, teor de argamassa de 50% e relação água/aglomerante (ag./agl. = 0,60).

A quantidade de materiais está listada na Tabela 2 abaixo, seguindo também o traço do concreto obtido com a mistura desses materiais.

Tabela 2 - Quantidade dos Materiais

Traço	Cimento (Kg/m³)	Areia (Kg/m³)	Brita (Kg/m³)	Água (Kg/m³)	Abatimento (mm)
1: 2,5: 3,5: 0,60	397,5	780,6	1150,9	158,03	5,75

Os materiais foram misturados com betoneira de eixo inclinado. Para o ensaio foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura, moldados em duas camadas, conforme a NBR 5738.

3.1.3 ENSAIOS

Após a mistura do material em betoneira, obteve-se o concreto desejado com sua consistência adequada para o seu manuseio e trabalhabilidade. Estes últimos aspectos do concreto foram verificados através do *Slump Test*, que é uma verificação da consistência do concreto, exigido pela NBR 5738, através de uma forma metálica e lisa em formato de tronco de cone. Este procedimento foi realizado da seguinte forma; a priori, umedeceu se o cone e fez sua limpeza interna para posteriormente colocá-lo sobre a chapa metálica de base, igualmente limpa e umedecida, que, por sua vez, apoiava-se em uma superfície rígida, plana e horizontal. Logo depois, tomou se a concha metálica a fim de preencher o molde com concreto em duas camadas, sendo estas adensadas pela haste metálica com 25 golpe/camada, uniformemente distribuídos. Após o adensamento, retirou-se o molde tronco cônico e removeu o excesso de concreto com auxílio da própria haste de socamento. Após esse procedimento, elevou se o molde pelas alças cuidadosamente na direção vertical, com velocidade constante e uniforme, efetuando então, a desmoldagem.

Realizado a desmoldagem, obteve se finalmente o adensamento referente às duas remessas de concreto oriundas da betoneira, sendo o valor de 5,5 cm para a primeira e o valor de 6,0 cm para segunda remessa, mostrando valores plausíveis para sua consistência.

Feito o adensamento, tomou se então quatro amostragens de massa de concreto, sendo as duas amostras da primeira remessa e as demais da segunda remessa.

Para a moldagem dos corpos-de-prova tomaram-se seis moldes de aço referentes à listagem de equipamentos do item 3.1.2 e preencheu os com a massa de concreto obtida da betoneira. O preenchimento foi realizado em duas camadas aproximadamente iguais e estas adensadas com a haste metálica em 15 golpes/camada uniformemente distribuídos.

Logo após a moldagem, deixou os corpos-de-prova no processo de cura inicial ao ar durante 24 horas e no final desse período, fez se a desforma, numeração dos corpos e deixou os expostos ao tempo até o dia de ruptura dos dois grupos de corpos-de-prova, que estavam datados em 28 e 63 dias. Esse procedimento de cura não segue o especificado pela norma correspondente. No entanto, foi o seguido pela obra, que resultou neste primeiro estudo de caso.

Após os 28 dias, levaram-se os primeiros dois corpos-de-prova para o laboratório de Materiais e Pavimentação da Divisão de Engenharia Civil, onde se preparou, ao fogo, uma pasta de enxofre a qual seria colocado nas bases para a correção de algumas imperfeições. Fez se tal procedimento para os três corpos-de-prova, como mostra as fotos da figura 1 tiradas no dia do ensaio.



Figura 3 - Corpos-de-prova com a pasta de enxofre nas bases

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

Depois de esfriado o enxofre colocado sobre os corpos-de-prova, eles foram levados para a prensa hidráulica onde foi realizado o ensaio de ruptura. Anotadas as cargas de ruptura para os dois corpos-de-prova e dividindo-as pela área da seção transversal dos mesmos, obteve-se finalmente a tensão de ruptura dos corpos de concreto. Os equipamentos utilizados e o ensaio são ilustrados nas fotos a seguir.



Figura 4 - Prensa hidráulica do laboratório.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.



Figura 5 - Ensaio de compressão.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

Transcorridos mais 25 dias, repetiu se o mesmo procedimento para os demais corpos-de-prova e obteve se também as tensões de ruptura. A idade de ruptura desta amostra foi de 63 dias. Tal fato ocorreu porque a tensão de ruptura obtida aos 28 dias foi muito próxima do f_{ck} de projeto.



Figura 6 - Corpo-de-prova rompido.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

3.2SEGUNDO ESTUDO DE CASO

Este ensaio, diferentemente do primeiro estudo de caso, foi realizado totalmente em laboratório e realizado com mais de um processo de cura. Neste tópico, serão detalhados todos os procedimentos realizados segundo a NBR 5738, para no final inferirmos conclusões a respeito da resistência alcançada com os processos tomados. Este segundo estudo de caso é de relevância maior que o do item 3.1, visto que, nele os processos realizados foram submetidos em condições diferentes de cura e isso possibilitou mais riqueza de dados para obter se conclusões mais precisas e coerentes.

3.2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização deste segundo estudo de caso foi necessário uma listagem de materiais semelhante à ensaio do item 3.1.2:

- Haste de aço com 600 mm de comprimento e 16 mm diâmetro, com superfície lisa, seção transversal circular e extremidade de socamento semi-esférica;
- Prensa manual hidráulica, capacidade até 100 toneladas, com um manômetro digital de Ø 10, com escala de 0 a 100 t e subdivisões de 200 Kgf para rompimento de corpos-de-prova de concreto com Ø 15x30 cm e Ø 10x20 cm;
- Vinte dois moldes de aço para corpos-de-prova cilíndrico, de altura 20 cm e diâmetro interno de 10 cm;
- Colher concha para corpos-de-prova de Ø 15x30 cm;
- Funil metálico para abatimento do tronco de cone com 1,2 Kg;
- Pasta de enxofre com óleo mineral;

3.2.2 ENSAIO

Este ensaio iniciou-se no dia 16 de setembro de 2009, com todos seus procedimentos feitos no laboratório de Materiais e Pavimentação da Divisão de Engenharia Civil do ITA. Neste dia, o caminhão betoneira chegou às proximidades do laboratório para a descarga do material de concreto, que posteriormente seria utilizado na moldagem dos corpos-de-prova.

Primeiramente posicionaram-se os 22 moldes metálicos, conforme a Figura 7, no laboratório para a confecção dos; enquanto esperava-se a mistura de concreto ficar no ponto de moldagem para a o manuseio da massa.



Figura 7 – Os 22 moldes metálicos para confecção dos corpos-de-prova.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.



Figura 8 – Chegada de concreto para moldagem.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

Feito a mistura, tomou-se a massa de concreto, para aferição de sua consistência através da verificação com o “*Slump Test*”; com a concha metálica a fim de preencher o molde com concreto em duas camadas, sendo estas adensadas manualmente por meio de uma haste metálica com 12 golpes/camada, uniformemente distribuídos. Após o adensamento, retirou-se o complemento tronco cônico e removeu o excesso de concreto com auxílio da própria haste de socamento. Após esse procedimento, elevou-se o molde pelas alças cuidadosamente na direção vertical, com velocidade constante e uniforme, efetuando então, a desmoldagem conforme as figuras 8 e 9.



Figura 9 – Adensamento manual por meio de uma haste metálica com 12 golpes/camada

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.



Figura 10 – Desmoldagem do tronco de cone.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

Realizado a desmoldagem, obteve-se o adensamento de valor numérico 4 cm, sendo este de trabalhabilidade ruim para o fim a que destina. Portanto, como o procedimento de recebimento do caminhão permitia, acrescentou-se mais uma quantidade de água e se atingiu o valor de 6 cm e chegando então, a uma consistência adequada para a moldagem dos corpos-de-prova.



Figura 11 – “Slump Test” de valor 6 cm.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

Feito o adensamento, tomou-se então a massa de concreto através do carrinho-de-mão para a moldagem, que foi concebida nos vinte e dois moldes de aço referentes à listagem de equipamentos do item 3.2.2; preenchendo-os com a massa de concreto obtida da betoneira. O preenchimento foi realizado em duas camadas aproximadamente iguais e estas adensadas manualmente com a haste metálica em 12 golpes/camada uniformemente distribuídos conforme a figura 12.



Figura 12 – Moldagem dos corpos-de-prova.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

Logo após a moldagem, os corpos-de-prova foram deixados no processo de cura inicial por 24 horas, cobertos e no local onde foram moldados, protegidos; no final desse período, fez-se a desforma e a numeração dos corpos-de-prova para efeitos de identificação.

Após a moldagem, os corpos-de-prova foram cobertos imediatamente com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto e protegê-lo da ação das intempéries, conforme a NBR 5738. Feito esse procedimento, esperou-se 24 horas para garantir a condição de endurecimento do concreto, a fim de finalmente,

realizar a desforma. Concluído esse último processo, os corpos-de-prova foram submetidos aos cinco tipos de curas e cada qual esperou se atingir suas idades para ruptura dentro das faixas estipuladas, que foram 7 e 28 dias.

Realizado os últimos procedimentos de desforma, reuniram-se os corpos-de-prova para a segunda parte, segundo 5 processos de cura distintos, para então fazer uma análise, pós o período de cura, das suas propriedades de resistência em ruptura. Os tipos de cura são apresentados a seguir, ilustrados pelas Figuras 12 a 16.

a) Cura em tanque com água potável;

A cura de corpos-de-prova foi realizada de forma totalmente submersa em água; tem como finalidade somente evitar a evaporação da água, mantendo o concreto saturado.



Figura 13 – Cura em tanque com água potável.

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009.

b) Cura em tanque com água saturada de cal;

Esta cura teve como objetivo evitar a saída dos íons de Cálcio para a água, de forma a se estabelecer um comparativo com a condição citada em (a).



Figura 14 – Cura em tanque com água saturada de cal.

Foto: Maryangela Geimba de Lima, 2009

c) Cura em ambiente externo ao laboratório;

Esta condição de cura buscou simular a condição de cura utilizada na obra do primeiro estudo de caso. Não pretende gerar um valor comparativo com o concreto de estruturas uma vez que eles são submetidos a processos de cura por molhagem ou películas de proteção.



Figura 15 – Cura em ambiente externo ao laboratório

Foto: Maryangela Geimba de Lima, 2009

d) Cura em câmara úmida conforme norma específica;

Este procedimento segue as condições estabelecidas pela norma e dará origem aos valores de referência.



Figura 16 – Cura em câmara úmida

Foto: Maryangela Geimba de Lima, 2009

e) Cura em ambiente interno ao laboratório;

Esta condição foi acrescentada de forma a se ter um comparativo com o ambiente externo, totalmente exposto.



Figura 17 – Cura em ambiente interno ao laboratório

Foto: Maryangela Geimba de Lima, 2009

Atingidas as idades referidas, os corpos-de-prova foram levados para o capeamento das bases a fim de corrigir algumas imperfeições para ajuste na prensa hidráulica e finalmente o rompimento. Os ensaios são ilustrados nas fotos a seguir.



Figura 18 – Capeamento dos corpos-de-prova

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009



Figura 19 – Corpo-de-prova rompido

Foto: Bruno Araújo Silva, 2009

Finalizado os procedimentos de preparação para ruptura, rompeu se os corpos-de-prova na data prevista dentro da suas respectivas idades, segundo a tabela 3.

Tabela 3 – Datas das rupturas dos corpos-de-prova.

Processo de cura	Data de ruptura	Idade (dias)
AM01	17/09/2009	1
AM02	17/09/2009	1
Câmara úmida		
AM05	23/09/2009	7
AM06	23/09/2009	7
AM11	14/10/2009	28
AM12	14/10/2009	28
Tanque com água		
B01	23/09/2009	7
B02	23/09/2009	7
B07	14/10/2009	28
B08	14/10/2009	28
Tanque com água+cal		
B09	23/09/2009	7
B10	23/09/2009	7
B11	14/10/2009	28
B12	14/10/2009	28
Ambiente externo		
B19	23/09/2009	7
B20	23/09/2009	7
B21	14/10/2009	28
B22	14/10/2009	28
Ambiente interno		
B29	23/09/2009	7
B30	23/09/2009	7
B31	14/10/2009	28
B32	14/10/2009	28

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DO PRIMEIRO ESTUDO DE CASO

Os resultados obtidos referentes às tensões de rupturas aos 28 dias estão apresentados na tabela 4. Além disso, a resistência do concreto que considerada foi a maior das tensões obtidas.

Tabela 4- Dados obtidos referentes à ruptura dos 28 dias

Corpos-de-prova	Após 28 dias		Resistência (Mpa)
	Esforços (t)	Tensão (Mpa)	
1	32,5	18,4	21,2
2	37,44	21,2	

Os resultados obtidos referentes às tensões de rupturas aos 63 dias estão apresentados na tabela 5. Além disso, a resistência do concreto neste caso, também foi considerada a maior das tensões obtidas.

Tabela 5- Dados obtidos referentes à ruptura dos 63 dias.

Corpos-de-prova	Após 63 dias		Resistência (Mpa)
	Esforços (t)	Tensão (Mpa)	
3	46,7	26,44	26,44
4	31,1	17,61	

Tomando-se os valores das tensões, fez-se uma análise gráfica para julgamento quantitativo de quanto às resistências dos corpos-de-prova se distanciaram da faixa do f_{ck} de projeto, que no caso foi de 20 Mpa, nas idades de 28 dias e 63 dias.

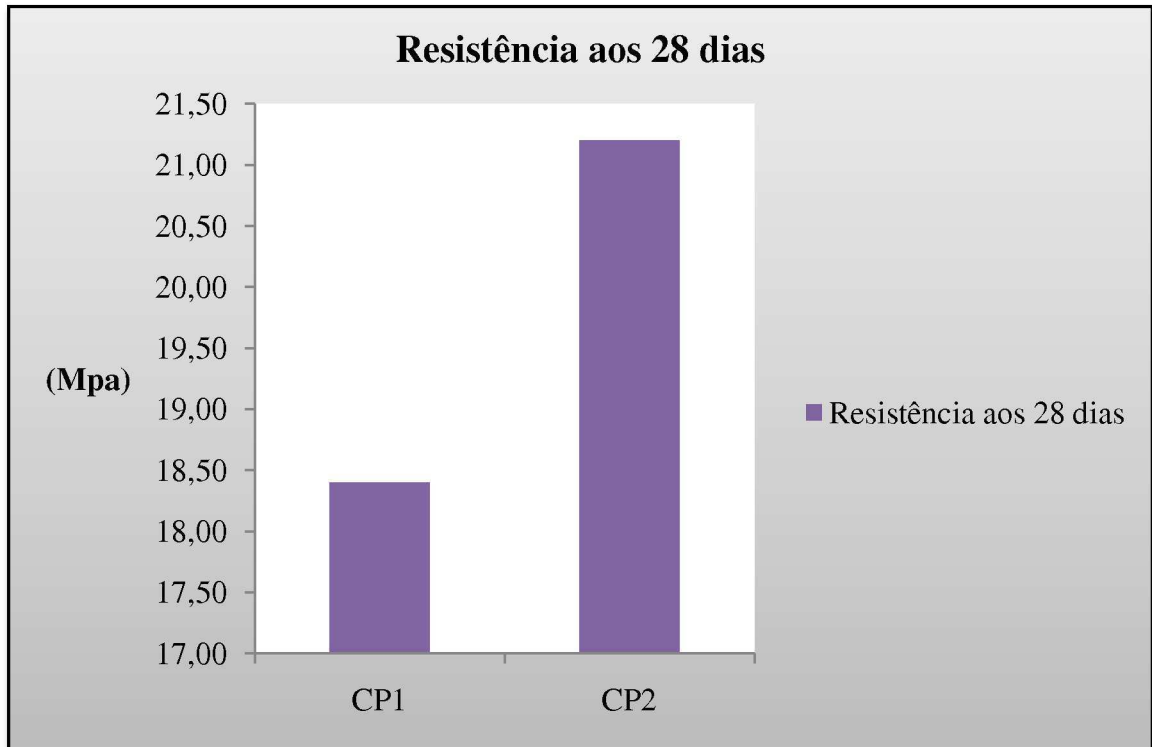


Figura 20 - Tensões de ruptura aos 28 dias.

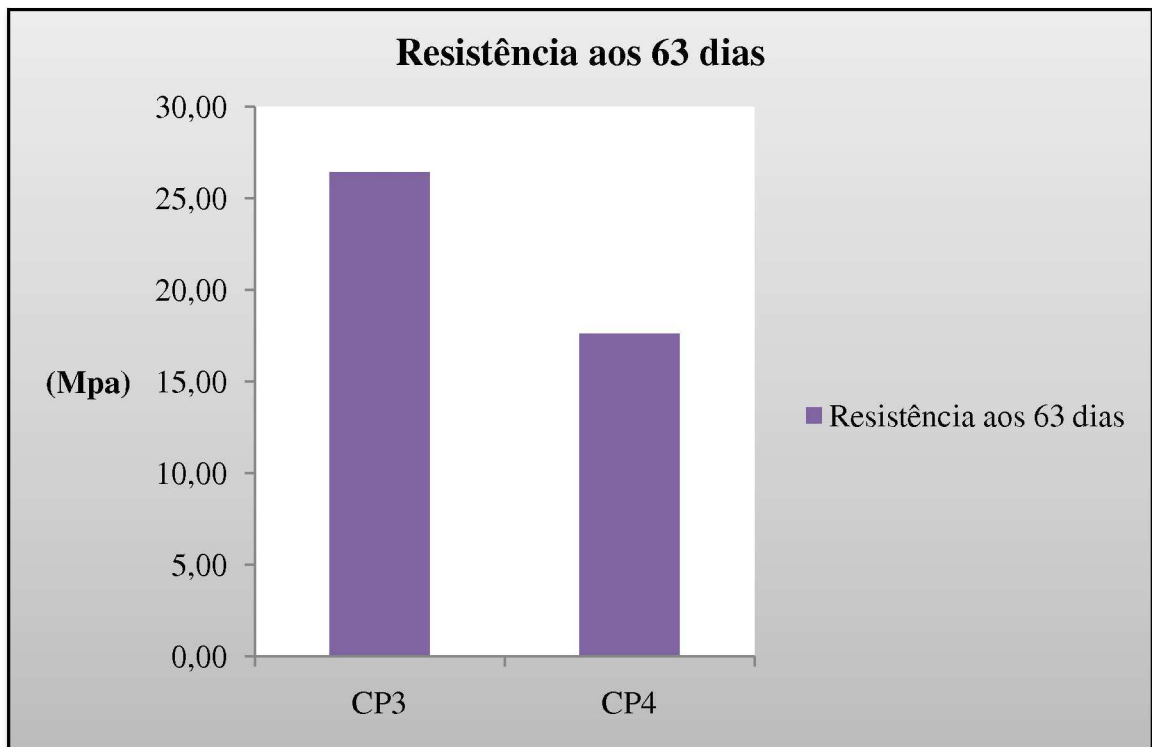


Figura 21 - Tensões de ruptura aos 63 dias.

Tabela 6 - Comparação quantitativa das resistências com o fck do concreto.

Corpos-de-prova	Resistência (Mpa)	Idade (dias)	Acima do fck (%)	Abaixo do fck (%)
CP 1	18,40	28	–	8,70
CP 2	21,20		5,66	–
CP 3	26,44	63	24,36	–
CP 4	23,38		14,47	–

Os resultados que foram expostos fazem parte de uma análise superficial, devido à falta de materiais de ensaio na ocasião da obra para determinação do fck do concreto, uma vez que a determinação desta resistência característica é através de um estudo estatístico.

4.2 RESULTADOS DO SEGUNDO ESTUDO DE CASO

Realizados os ensaios, foram obtidas as cargas de ruptura. A resistência considerada dos corpos-de-prova foi à maior dentre as obtidas no dia da ruptura, conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Resultado final do ensaio.

Processos de cura	Data de ruptura	Idade (dias)	Diâmetro Médio (mm)	Carga de Ruptura (Kg)	Área (mm ²)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Resistência (Mpa)
AM01	17/09/2009	1	99,97	2700	7845,29	3,38	3,38
AM02	17/09/2009	1	99,99	2600	7848,43	3,25	
Câmara úmida							
AM05	23/09/2009	7	100	11400	7850,00	14,25	17,74
AM06	23/09/2009	7	100,02	14200	7853,14	17,74	
AM11	14/10/2009	28	100,05	17600	7857,85	21,97	22,73
AM12	14/10/2009	28	100,3	18300	7897,17	22,73	
Tanque com água							
B01	23/09/2009	7	100	15400	7850,00	19,25	19,25
B02	23/09/2009	7	100,02	14200	7853,14	17,74	
B07	14/10/2009	28	100,7	19600	7960,28	24,15	24,28
B08	14/10/2009	28	100,7	19700	7960,28	24,28	
Tanque com água+cal							
B09	23/09/2009	7	100,03	12600	7854,71	15,74	15,75
B10	23/09/2009	7	99,98	12600	7846,86	15,75	
B11	14/10/2009	28	100,6	20600	7944,48	25,44	25,44
B12	14/10/2009	28	101,45	20300	8079,30	24,65	
Ambiente externo							
B19	23/09/2009	7	100,04	10600	7856,28	13,24	13,62
B20	23/09/2009	7	99,99	10900	7848,43	13,62	
B21	14/10/2009	28	99,9	16700	7834,31	20,91	20,91
B22	14/10/2009	28	100,2	16100	7881,43	20,04	
Ambiente interno							
B29	23/09/2009	7	100	13800	7850,00	17,25	17,25
B30	23/09/2009	7	100,02	13700	7853,14	17,11	
B31	14/10/2009	28	99,65	17400	7795,15	21,90	22,89
B32	14/10/2009	28	101,05	18700	8015,72	22,89	

Tomado-se os valores das resistências, fez uma análise gráfica a fim de constatar quantitativamente de quanto foi à variação das compressões axiais dentro das faixas de idades de cada corpo-de-prova.

Gráfico resistência X idade

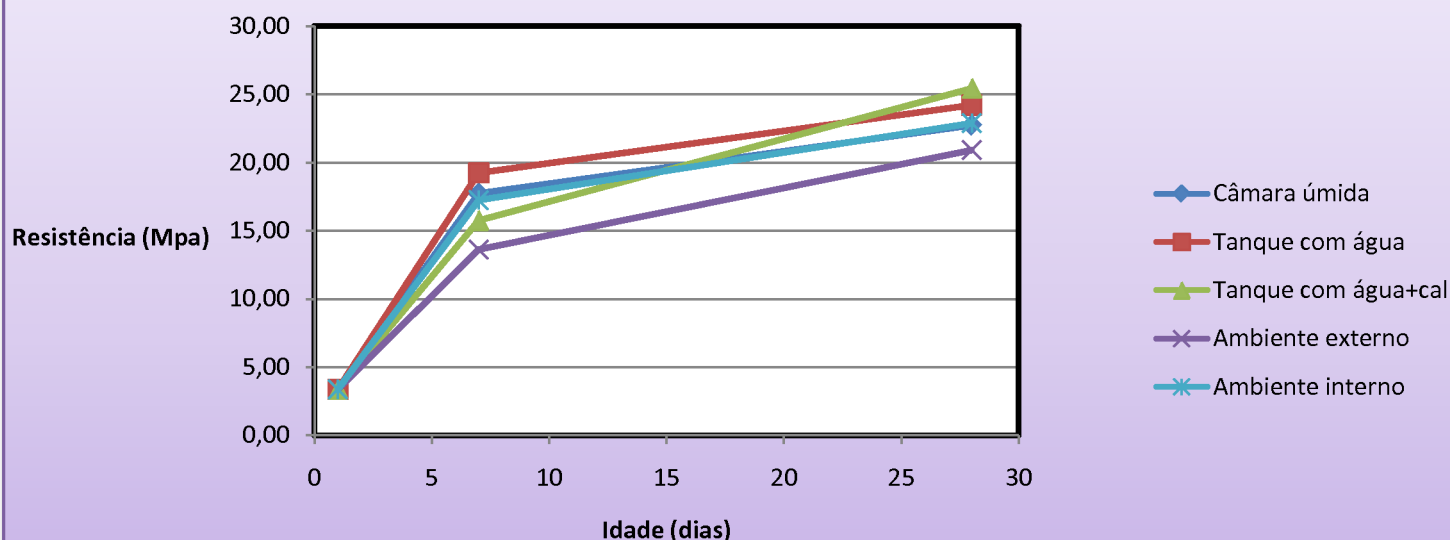


Figura 22 – Gráfico da resistência X idade.

Segundo o gráfico, notou-se que aos 7 dias de cura, o corpo-de-prova B01 oriundo da cura em tanque com água potável obteve uma resistência de até 30 % maior que os corpos de cura em ambiente externo e 8 % maior que a segunda maior faixa de resistência dentre os demais tipos de cura. Entretanto, aos 28 dias, o corpo-de-prova B11, oriundo da cura em cal, atingiu a maior resistência dentre as demais, sendo esta quase 18 % maior que a menor faixa de resistência, que novamente foi constatada nos corpos-de-prova oriundo da cura em ambiente externo e 5 % maior que a segunda maior faixa de resistência dentre os demais curas realizadas.

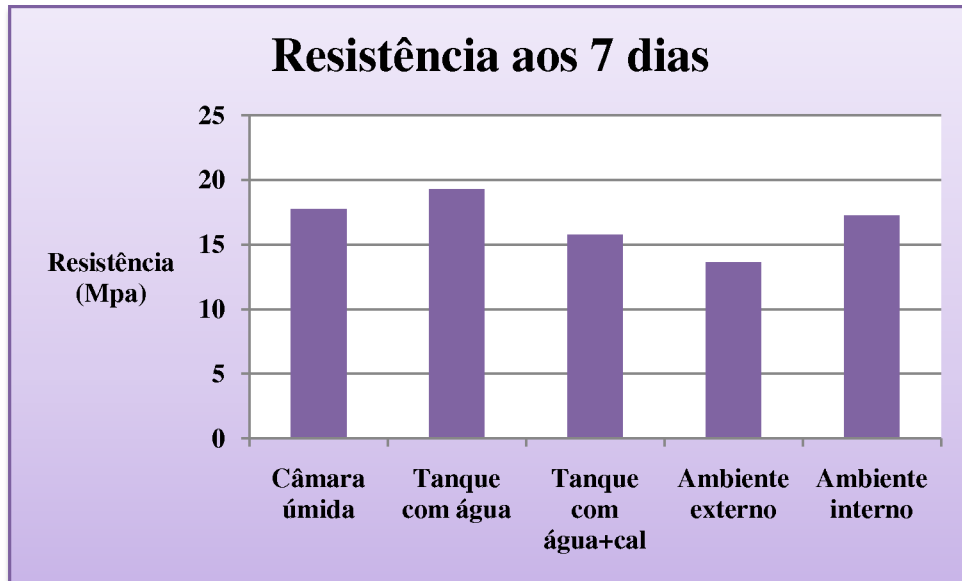


Figura 23 – Gráfico da resistência aos 7 dias.

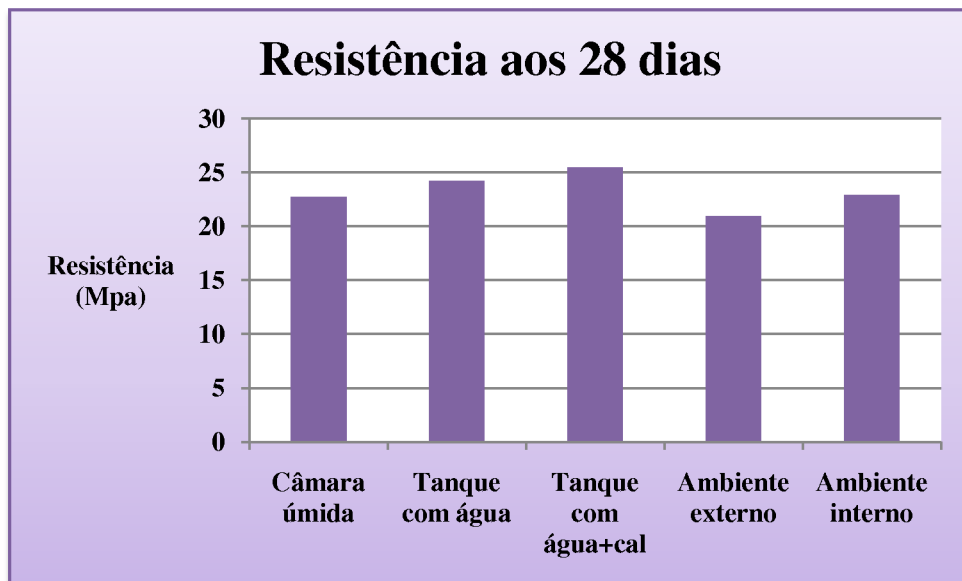


Figura 24 – Gráfico da resistência aos 28 dias.

A tabela 8 mostra com mais detalhes as resistências e comparando as com as dos corpos-de-prova mantidos na câmara úmida.

Tabela 8 – Comparação quantitativa das resistências em relação à câmara úmida.

Idades de ruptura (dias)	7	28	7	28
Tipo de cura	Resistência (Mpa)		Comparação câmara úmida (%)	Comparação câmara úmida (%)
Câmara úmida	17,74	22,73		
Tanque com água	19,25	24,22	7,55	6,15
Tanque com água+cal	15,75	25,44	-9,95	10,65
Ambiente externo	13,62	20,91	-20,60	-8,70
Ambiente interno	17,25	22,89	-2,45	0,70

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, observa-se a importância de um procedimento de cura bem executado, uma vez que há desníveis de resistência consideráveis quando se compara as curas em meios saturados em relação aquelas expostas em ambientes externos, onde não há controle da evaporação da água. Além disso, pode-se inferir também que de um modo geral, o desempenho das resistências em meios saturados ou em meios com grande umidade, mostraram resultados de resistências satisfatórias em relação à cura em cal.

No sentido químico e físico das reações de hidratação, pode-se delinear algumas evidências importantes em presença de cal, que podem ser sintetizados em dois pontos:

- A cal acelera a hidratação do cimento, sobretudo no período de indução, verificado pelo aumento de calor liberado na hidratação do cimento para as relações cimento-cal;
- A cal promove maior precipitação de aluminatos de cálcio hidratado devido ao aumento da solubilidade do C_3A em presença de íons hidroxila, em maior teor no meio aquoso em função da incorporação da cal no sistema. Este fenômeno é muito acentuado em presença e, em cal dolomítica, verifica-se ainda a precipitação acentuada de estrigita.

Para trabalhos posteriores, sugere-se fazer a análise da resistência de corpos-de-prova que sejam curados com água ou cal em lançamento sobre a superfície, fazendo alusão do que ocorre de fato nas construções civis, em que as peças de concreto não ficam em água saturada. Além disso, os resultados encontrados nesse novo estudo podem ser comparados no aspecto da resistência e cura em relação ao estudo já feito, que é todo baseado na cura saturada em água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

QUARCIONI, Valdecir Angelo. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais de hidratação do cimento portland: estudo em pasta.** 2008. Tese (doutorado). 172f. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil.

VALIN JR, Marcos de Oliveira et. al.. **Influência dos procedimentos de cura na resistência e absorção do concreto.** 2009. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2009. 8f. Departamento da Área Educacional de Construção Civil do IFMT – Campus Cuiabá.

PINTO, Valdemir Colares et. al.. **Propriedades mecânicas do concreto submetidas a diferentes tipos de cura.** 2009. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2009. 10f. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

SILVA, Júlio Cesar Alves et. al.. **Incorporação de resíduos de construção e demolição na fabricação de blocos de concreto de vedação.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso. 62f. Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

_____. NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994b.

_____. NBR 5738: **Concreto: Moldagens e cura de corpos-de-prova de cilíndricos e prismáticos de concreto – método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994b.

MHETA, P.Kumar et. al.. **Estruturas, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

OLIVEIRA, I.R. et. al.. **Influência de aditivos dispersantes e acelerador na hidratação de cimento e cimento-matriz.** 2006 Tese. 62f. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de S. Carlos

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 25 de novembro de 2009	3. REGISTRO N° CTA/ITA/TC-182/2009	4. N° DE PÁGINAS 47
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto			
6. AUTOR(ES): Bruno Araújo Silva			
INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Cura de corpos-de-prova. 2. Resistência do concreto. 3. Hidratação de corpos-de-prova.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Agentes de cura (materiais); Estruturas de concreto; Resistência à compressão; Propriedades mecânicas; Ensaaios de materiais; Engenharia civil			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Prof ^{fa} Maryangela Geimba de Lima. Publicado em 2009.			
11. RESUMO: Este trabalho de graduação teve um estudo direcionado em dois casos que envolvem ciência dos materiais, especialmente concreto. O primeiro caso consistiu na verificação da resistência dos corpos-de-prova, sendo estes, moldados com a massa de concreto proveniente dos pilares que compõe a estrutura de uma obra em estágio construtivo na região do DCTA. O segundo caso consistiu também em um estudo de verificação da resistência, porém, com uma metodologia um pouco diferente, pois o processo de cura dos corpos-de-prova neste experimento foi realizado em laboratório com cinco tipos diferentes de cura: • Cura em câmara úmida; • Cura em cal saturada em água; • Cura em ambiente externo ao laboratório; • Cura em ambiente interno ao laboratório; • Cura em tanque com água potável; Após o período de 28 dias, esses corpos-de-prova foram levados à ruptura para a verificação de suas resistências, e constatou-se que os corpos-de-prova que estavam sendo curados em cal apresentaram a maior resistência dentre as demais cura. Isso pode ser explicado, pois a cura em cal possibilita uma hidratação precoce do cimento, elevando desta forma, sua resistência aos 28 dias.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			

