

Leonardo E. Guimarães
Deusair R. dos Santos

**AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DO CONCRETO EM
DIFERENTES IDADES E COM DIFERENTES RELAÇÕES
ÁGUA/CIMENTO.**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Goiás para
obtenção do título de especialista em Construção
Civil.

GOIÂNIA

1999.

Leonardo E. Guimarães
Deusair R. dos Santos

**AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DO CONCRETO EM
DIFERENTES IDADES E COM DIFERENTES RELAÇÕES
ÁGUA/CIMENTO.**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Goiás para
obtenção do título de especialista em Construção
Civil.

GOIÂNIA

1999.

Leonardo E. Guimarães
Deusair R. dos Santos

**AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DO CONCRETO EM
DIFERENTES IDADES E COM DIFERENTES RELAÇÕES
ÁGUA/CIMENTO.**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Goiás para
obtenção do título de especialista em Construção
Civil.

Orientador
Prof. Dr. Enio Pazini Figueiredo

GOIÂNIA

1999.

A
minha esposa Flôr
e aos nossos filhos
Daniel, Fernanda e
Deborah.

Deusair

Para
Angela, Frederico, Marco Paulo,
Nadja Maíra, Valéria e Gabriela,
pelo estímulo recebido.

Leonardo

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	III
RESUMO	IV
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - CONCRETO	3
2.1. - Materiais	3
2.1.1 – Aglomerantes	3
2.1.1.1 - Cimento Portland	4
2.1.2 - Agregados	9
2.1.3 - Água	13
2.2 - Estrutura do Concreto	15
2.3 - Propriedades do Concreto	21
2.3.1 - Propriedades do Concreto Fresco	21
2.3.1.1 - Trabalhabilidade	21
2.3.1.2 - Fatores que Afetam a Trabalhabilidade	25
2.3.2 - Propriedades do Concreto Endurecido	26
2.3.2.1 - Resistência aos Esforços Mecânicos	27
2.3.2.2 - Porosidade e Permeabilidade	28
2.3.2.3 - Estabilidade Dimensional	29
2.3.2.4 - Durabilidade	34
3 - PARTE EXPERIMENTAL	40
3.1 - Caracterização dos Agregados	40
3.2 - Definição dos Traços	41
3.3 - Confeção dos Corpos-de-Prova	42
3.4 - Realização de Ensaio e Apresentação dos Resultados	42
3.3 - Análise dos Resultados	53
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Classificação dos aglomerantes	4
Figura 2.2 - Seção polida de um corpo-de-prova de concreto	16
Figura 2.3 - Representação diagramática da zona de transição e da matriz de pasta de cimento no concreto.....	18
Figura 2.4 - Tipos de água associados ao silicato de cálcio hidratado	21
Figura 2.5 - Caracterização dos módulos de deformação	32
Figura 2.6 - Parâmetros que exercem influência sobre o módulo de deformação do concreto.....	33
Figura 2.7 - Causas físicas da deterioração do concreto.....	34
Figura 2.8 - Tipos de reações químicas responsáveis pela deterioração do concreto.....	35
Figura 3.1 - Resistência à compressão (MPa) aos 3 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	44
Figura 3.2 - Resistência à compressão (MPa) aos 7 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	44
Figura 3.3 - Resistência à compressão (MPa) aos 14 dias de idade, com diferentes relações a/c.....	45
Figura 3.4 - Resistência à compressão (MPa) aos 28 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	45
Figura 3.5 - Resistência à compressão (MPa) aos 56 dias de idade, com diferentes relações água/cimento	46
Figura 3.6 - Resistências à compressão (MPa) nas diversas idades, com diferentes relações água/cimento.....	46
Figura 3.7 - Módulo de deformação (GPa) aos 3 dias de idade, com diferentes relações água/cimento	47
Figura 3.8 - Módulo de deformação (GPa) aos 7 dias de idade, com diferentes relações água/cimento	47
Figura 3.9 - Módulo de deformação (GPa) aos 14 dias de idade, com diferentes relações água/cimento	48
Figura 3.10 - Módulo de deformação (GPa) aos 28 dias de idade, com diferentes relações água/cimento	48
Figura 3.11 - Módulo de deformação (GPa) aos 56 dias de idade, com diferentes relações água/cimento	49
Figura 3.12 - Módulo de deformação (GPa) nas diversas idades, com diferentes relações água/cimento.....	49

Figura 3.13 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) aos 3 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	50
Figura 3.14 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) aos 7 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	50
Figura 3.15 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) aos 14 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	51
Figura 3.16 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) aos 28 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	51
Figura 3.17 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) aos 56 dias de idade, com diferentes relações água/cimento.....	52
Figura 3.18 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) nas diversas idades, com diferentes relações água/cimento.....	52
Figura 3.19 - Resistências à compressão (MPa) nas diversas idades e com diferentes relações a/c.....	53
Figura 3.20 - Módulos de deformação (GPa) nas diversas idades e com diferentes relações a/c.....	54
Figura 3.21 - Resistências à compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa) nas diversas idades e com diferentes relações a/c.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Proporção aproximada dos principais compostos do cimento Portland produzido no Brasil.....	6
Tabela 2.2 - Classificação dos cimentos Portland normalizados pela ABNT.....	8
Tabela 2.3 - Percentuais de adições incorporadas aos cimentos Portland compostos....	9
Tabela 2.4 - Limites máximos de ocorrência de materiais deletéreos em agregados.....	12
Tabela 3.1 - Características dos agregados.....	40
Tabela 3.2 - Consumo de cimento por metro cúbico de concreto.....	41
Tabela 3.3 - Resistências à compressão (MPa) nas diversas idades, com diferentes relações água/cimento.....	43
Tabela 3.4 - Módulos de deformação (GPa) nas diversas idades, com diferentes relações água/cimento.....	43

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo referente ao módulo de elasticidade do concreto convencional.

Foram moldados 50 unidades de corpos de prova cilíndricos de 15 cm x 30 cm, sendo 10 unidades para cada das seguintes relações água/cimento: 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65. Procedeu-se uma avaliação das deformações elásticas e das resistências à compressão dessas amostras visando avaliar qual importância deve ser atribuída a cada um desses parâmetros na decisão de como e quando se proceder o descimbramento de peças estruturais. Os corpos de prova foram ensaiados nas idades de 3 dias, 7 dias, 14 dias, 28 dias e 56 dias.

1- INTRODUÇÃO

Desde que se desenvolveu a tecnologia para produção do cimento Portland, no século passado, o uso do concreto com esse aglomerante tem aumentado continuamente, chegando em 1994 a um volume da ordem de 5,5 bilhões de toneladas (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

As razões que levaram à produção e utilização do concreto de cimento Portland, em tão larga escala, estão principalmente no fato de que o mesmo possui excelente resistência à água, facilidade de ser moldado em variadas formas e tamanhos, e ainda, de ser fabricado com materiais disponíveis na maior parte do planeta, o que o torna economicamente viável.

Até a década de 70 o concreto era considerado um material resistente e inerte. Devido aos crescentes problemas que surgiram a partir de então, em concretos relativamente jovens, vários estudos vem sendo desenvolvidos visando conhecer melhor as propriedades deste material, que fatores as influenciam e como se pode melhorá-las, a fim de o tornar resistente e durável. Assim, projetistas e construtores já têm se preocupado, não somente com os esforços mecânicos que incidirão sobre as estruturas, mas também como concebê-las para uma vida útil prolongada.

Estruturas bem dimensionadas, confeccionadas com concretos bem dosados e executados, normalmente são peças resistentes e duráveis. Mas, apesar de todos esses cuidados, ao se executar elementos fletidos de grandes dimensões, não raro surgem os problemas das deformações excessivas, os quais podem comprometer a estabilidade das peças, colocando em risco os seus usuários ou causando efeitos visuais e psicológicos indesejáveis.

As causas associadas a estas deformações podem se relacionar às suas resistências aos esforços mecânicos, as quais são usualmente previstas pelos calculistas e evitadas; mas podem principalmente, estarem relacionadas ao módulo de deformação do concreto, o que nem sempre recebe atenção devida por parte desses profissionais, ora no momento dos dimensionamentos, ora ao se proceder o descimbramento destas estruturas.

Esse trabalho tem por objetivo despertar nos profissionais que trabalham com o projeto e a execução de estruturas de concreto armado, uma maior preocupação na avaliação do módulo de deformação, em particular para o caso de peças fletidas, impondo a observação deste ítem na solicitação de dosagem do concreto e na escolha da época certa para o descimbramento, evitando assim problemas com as deformações excessivas.

O trabalho apresenta-se dividido em 4 capítulos, a partir deste capítulo 1 de introdução. No segundo capítulo são feitas considerações sobre o concreto, abordando seus materiais, estrutura e propriedades. O terceiro capítulo trata da parte experimental, lançamento e interpretação dos resultados dos ensaios realizados. No quarto e último capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais.

2 - CONCRETO

2.1 - MATERIAIS

O concreto é um material constituído de agregados miúdos e graúdos, mergulhados em um meio contínuo aglomerante. Os agregados miúdos e graúdos são partículas ou fragmentos de material quase sempre inertes, não tendo assim reações químicas expressivas com a água. Por se tratarem de materiais baratos são usados como enchimento no concreto.

Para obtenção da pasta aglomerante utiliza-se, mais comumente, o cimento Portland em solução aquosa. O cimento é um material pulverulento e ligante que propicia a união entre os agregados. Além da pasta e dos agregados, o concreto apresenta também diferentes tipos de vazios, os quais vão exercer influências importantes nas suas propriedades. Para uma melhor compreensão do tema, cada um dos materiais que compõem o concreto será analisado a seguir.

2.1.1 - AGLOMERANTES

Os aglomerantes são materiais ligantes que, em reação química com a solução aquosa, irão compor o meio ligante necessário à união dos agregados. Podem ser classificados em ativos e inertes. Os inertes são aqueles que endurecem pela secagem, tal como a argila. Os aglomerantes ativos se dividem em aéreos e hidráulicos.

Os aglomerantes ativos aéreos endurecem pela ação química do CO_2 do ar e, depois de endurecidos, não resistem ao contato com água, razão pela qual não serão avaliados, já que não despertam interesse como aglomerante para o concreto. São exemplos de aglomerantes aéreos o gesso e a cal aérea. Os aglomerantes ativos hidráulicos são os que endurecem através de reações com água e ainda dão origem a um produto resistente à mesma. Um exemplo destes aglomerantes é o cimento Portland.

Esquemáticamente, os aglomerantes podem ser classificados como mostra a Figura 2.1.

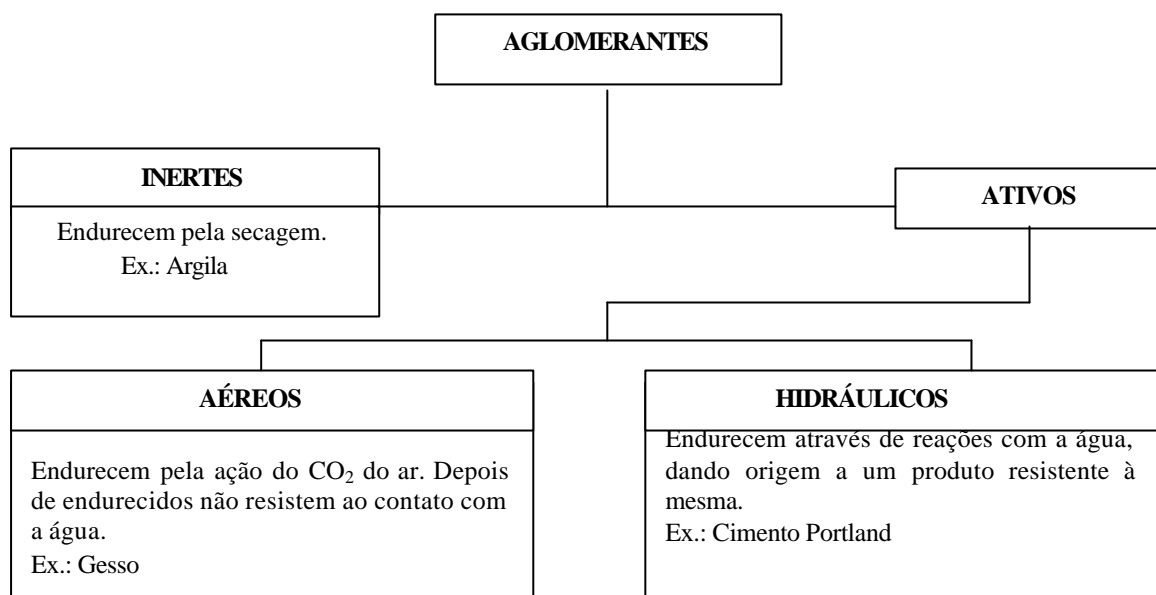


FIGURA 2.1 - Classificação dos aglomerantes.

O cimento Portland será objeto de atenção especial, tendo em vista ser o aglomerante mais usado para produção do concreto.

2.1.1.1 - CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste basicamente de silicatos de cálcio hidráulicos, com uma ou mais formas de sulfato de cálcio, como um produto de adição.

Os clínqueres são nódulos de 5 a 25 cm de diâmetro de material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas. (ASTM C 150, citada por MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Em princípio, todos os materiais contendo cal, sílica, alumina e ferro serviriam para fabricação de cimento; na prática o fator determinante para a escolha dos materiais será o custo final do produto e, para se chegar a um custo final satisfatório, há que se considerar a facilidade para extração da matéria-prima e a compatibilização da mesma com o sistema de processamento da fábrica com o produto que se pretende obter.

Sendo o C_3S e o C_2S os principais componentes do cimento Portland, as matérias-primas para produção do mesmo devem fornecer cálcio e sílica nas proporções adequadas. A pedra calcárea, o giz, o mármore e as conchas do mar são as fontes industriais mais comuns de cálcio. As argilas e xistos argilosos são as fontes preferidas de sílica complementar na mistura de matéria-prima para obtenção de silicatos de cálcio.

Por conterem alumina (Al_2O_3), óxidos de ferro (Fe_2O_3) e álcalis, as argilas propiciam a formação de silicatos de cálcio a temperaturas bem mais baixas do que o habitual, graças ao efeito mineralizante deste compostos.

Se estes compostos não ocorrem nas matérias-primas em quantidades suficientes, há necessidade de acrescentá-los, adicionando outros materiais como bauxita e minério de ferro. Como resultado aparecerá na composição final do produto o aluminato tricálcico (C_3A) e o ferroaluminato de cálcio (C_4AF).

A Tabela 2.1 mostra as proporções aproximadas de cada componente contido no clínquer do cimento Portland no Brasil.

TABELA 2.1 – Proporção aproximada dos principais compostos do cimento portland produzido no Brasil (Petrucci, 1987).

COMPOSTO	PROPORÇÃO (%)
C_3S	42 - 60
C_2S	14 - 35
C_3A	6 - 13
C_4AF	5 - 10

Na fase final da produção do cimento, o clínquer é moído com um percentual de 3 a 5% de gesso, para regular a pega do mesmo.

O cimento Portland só adquire propriedades adesivas quando misturado em água. Isto acontece porque a reação de hidratação do cimento, que é uma reação química do cimento com a água, gera produtos que têm características de pega e endurecimento. Isto significa que o cimento anidro não tem propriedades aglomerantes.

A química do concreto é basicamente a química das reações dos componentes do cimento Portland com a água. Conhecer com detalhe estas reações químicas é de fundamental importância para quem produz e para quem trabalha com cimento Portland.

Desta forma, é muito importante conhecer as transformações da matéria, as variações de energia e a velocidade de hidratação do cimento. Só assim se terá certeza de estar produzindo ou empregando o produto adequado em cada situação.

Com relação ao calor de hidratação, o que se sabe é que os compostos do cimento Portland são produtos de reações a altas temperaturas que não estão em equilíbrio e por isso estão em estado de energia elevada. Quando um cimento é hidratado, os compostos reagem com a água para atingirem estados estáveis de baixa energia, e o processo é acompanhado pela liberação de energia na forma de calor (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O calor de hidratação do cimento pode se tornar um problema nas concretagens de grandes volumes de concreto ou solução nas concretagens em temperaturas muito baixas. Os aspectos físicos do concreto também devem ser conhecidos para melhor aplicação desta tecnologia. Assim, o enrijecimento é a perda de consistência da pasta plástica. A plasticidade é função direta da água livre e a perda da água causa enrijecimento. A pega indica a solidificação da massa plástica.

O início da solidificação é o início da pega e a solidificação completa é o fim da pega. Esta solidificação demanda um tempo que, no Brasil, deve iniciar após 1 hora do preparo e não deve ser maior que 10 horas. O endurecimento é o ganho de resistência com o tempo.

Os cimentos Portland, como os demais aglomerantes, podem receber adições ou serem compostos com outros produtos visando produzir cimentos com características especiais, quais sejam, de alta resistência inicial, de baixo calor de hidratação, de alta resistência aos sulfatos, entre outras. Outra maneira de se conseguir estes resultados é alterando o proporcionamento de seus componentes.

Assim, para se obter um cimento com menor calor de hidratação, substitui-se parte do cimento por escória de alto-forno ou pozolana, que desprendem menor calor de hidratação que o cimento. Pode-se obter resultado semelhante aumentando a proporção de C_2S que produz menor calor de hidratação, diminuindo-se o C_3S e C_3A , que produzem altos calores de hidratação.

Para produção de um cimento que propicie altas resistências iniciais, deve-se diminuir a proporção de C_2S , já que o mesmo, por ser atacado lentamente pela água, não contribui significativamente para a resistência nas primeiras idades. Por outro lado, aumentando as quantidades de C_3A e C_3S e a finura do cimento, obter-se-ão resistências iniciais mais elevadas.

Para se obterem cimentos resistentes a sulfatos, adota-se, na composição do mesmo, um limite máximo de 5% de C_3A . A Tabela 2.2 mostra os tipos de cimentos normalizados no Brasil.

TABELA 2.2 - Classificação dos cimentos portland normalizados pela ABNT

SIGLA	DENOMINAÇÃO	ESPECIFICAÇÕES
CP.I	Cimento Portland comum	NBR-5732
CP.I-S	Cimento Portland comum com adição	NBR-5732
CP.II-E	Cimento Portland composto com escória	NBR-11578
CP.II-Z	Cimento Portland composto com pozolona	NBR-11578
CP.II-F	Cimento Portland composto com filler	NBR-11578
CP.III	Cimento Portland de alto forno	NBR-5735
CP.IV	Cimento Portland pozolânico	NBR-5736
CP.V-ARI	Cimento Portland de alta resistência	NBR-5733

A escória de alto forno, a pozolana e o filler calcáreo presentes nos cimentos Portland compostos e CP III e CP IV são responsáveis por uma grande economia de custos, já que propicia uma economia razoável de energia, que é um dos principais componentes de custos dos cimentos.

A escória de alto-forno e a pozolana, devido às suas dimensões bastantes reduzidas, permitem o preenchimento dos espaços capilares, evitando microfissuração da massa, aumentando assim a resistência a médio e longo prazo, a impermeabilidade e, conseqüentemente, a durabilidade do concreto.

A Tabela 2.3 mostra os limites de teores de adições aos cimentos compostos especificados pela NBR 11.578. Os valores estão expressos em percentual em relação à massa do cimento Portland comum.

TABELA 2.3 – Percentuais de adições incorporadas aos cimentos portland compostos.

SIGLA	ESCÓRIA	POZOLANA	FILLER
CP.II-E	6 a 34	0	0 a 10
CP.II-Z	0	6 a 14	0 a 10
CP.II-F	0	0	6 a 10

2.1.2 - AGREGADOS

Os agregados são partículas ou fragmentos de material que não têm reações químicas expressivas com a água e são usados com um meio cimentante, para formar um concreto ou uma argamassa de cimento hidráulico.

Os agregados freqüentemente empregados em concreto são provenientes de rochas britadas, fragmentos rolados nos leitos dos cursos d'água (cascalho de rio), cascalho de campo, materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha, escórias de alto forno, cinza volante, concreto reciclado, resíduos selecionados de rejeitos urbanos e argila expandida.

Quanto à sua granulometria, os agregados podem ser classificados em miúdos (areia, pó de pedra, filler, cinza volante) e grãos (brita, cascalho rolado, concreto reciclado, escórias).

A NBR 7211 classifica como agregados grãos aqueles de tamanho maior que 4.8 mm e como agregados miúdos as partículas de agregados que se situam entre 75 µm e 4.8 mm. De acordo com a mesma norma, os fillers são as partículas de agregados inferiores a 75 µm, isto é, o material que passa na peneira n.º 200 da ABNT.

Quanto ao peso, os agregados podem ser classificados em pesados, normais e leves. As argilas expandidas e as pedras-pomes são consideradas leves. Normais são as britas, areias e os cascalhos. As pesadas ou de alta densidade são as britas de hematita e barita.

Quanto à sua origem, os agregados podem ser classificados em naturais (seixo rolado, areias), naturais britados (britas, areias artificiais) e artificiais resultantes de processos industriais (argila expandida, escória de alto-forno e cinza-volante).

As características físicas e químicas dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, granulometria, absorção de água, forma, textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade, composição mineralógica e pureza.

Estas características derivam da composição da rocha, das condições de exposição da mesma, do sistema de produção e da origem do agregado.

Os agregados de boa qualidade têm resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante.

Os agregados são fundamentais na determinação da resistência, da estabilidade dimensional, da durabilidade, da trabalhabilidade e dos custos das misturas de concreto.

Do ponto de vista econômico, a utilização de agregados reduz o consumo de pasta e, conseqüentemente, de cimento, diminuindo o custo do concreto. (DAFICO, 1999; PETRUCCI, 1987). As rochas podem ser classificadas, de acordo com sua origem, em ígneas, sedimentares e metamórficas.

No Brasil, a pedra britada é o agregado mais usado, principalmente nos grandes centros, onde, muitas vezes, há dificuldade para se obter agregados naturais (seixo rolado, areias), naturais britados (britas, areias artificiais) e artificiais resultantes de processos industriais (argila expandida, escória de alto-forno e cinza-volante). Assim, as rochas mais usadas para produção dos agregados graúdos são as basálticas e as graníticas (grupo de rochas ígneas).

As rochas ígneas são formadas pelo resfriamento do magma (material rochoso em fusão) acima, abaixo, ou próximo da superfície terrestre. A velocidade de resfriamento do magma determina a cristalinidade e a granulação destas rochas. Resfriamentos lentos produzem minerais cristalinos com granulação grosseira (acima de 5 mm). Resfriamentos rápidos produzem cristais menores e granulação fina.

Rochas sedimentares são rochas estratificadas, usualmente depositadas debaixo d'água ou acumuladas através da ação do vento ou do gelo. Os pedregulhos, areias, siltes, argilas, arenito, quartzito e calcáreo são exemplos de rochas sedimentares.

Rochas metamórficas são rochas ígneas ou sedimentares que tiveram sua textura original alterada, bem como a estrutura cristalina e a composição mineralógica, devido a processos físicos e/ou químicos. Os mármore, o xisto, o filito e o gnaisse são exemplos de rochas metamórficas. A crosta terrestre é constituída 95% de rochas ígneas e 5% de rochas sedimentares.

As rochas ígneas resfriadas a velocidade baixa (grande profundidade), conhecidas como intrusivas geralmente fornecem agregados de excelente qualidade, tendo em vista sua granulação de média a grosseira, sua resistência, sua granulometria, sua baixa porosidade e absorção de água, bem como não reagir com os álcalis de concreto de cimento Portland. (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Os agregados leves, com massa unitária menor que 1.120 kg/m², são usados na produção de concretos isolantes, concretos para blocos de alvenaria, concretos para enchimento e, em alguns casos, para uso estrutural.

Os agregados pesados produzem concretos que variam de 2.880 kg/m³ até 6.100 kg/m³ e são usados nas blindagens, contra radiação nuclear. As rochas adequadas para produção destes agregados possuem predominantemente dois minerais de bário, vários minerais de ferro e um de titânio.

As jazidas de agregados muitas vezes estão contaminadas por substâncias deletéreas de origem mineral ou orgânica, tais como torrões de argila, material pulverulento, sais solúveis, partículas frágeis. Muitas destas substâncias podem ser removidas por lavagem (ex: argila, sais solúveis, materiais pulverulentos).

A NBR 7211 estabelece os limites máximos percentuais de ocorrência destas substâncias nos agregados.

A Tabela 2.4 mostra os limites máximos de ocorrência de materiais deletéreos em agregados, segundo a NBR 7211.

TABELA 2.4 – Limites máximos de ocorrência de materiais deletéreos em agregados.

SUBSTÂNCIAS	MATERIAIS	PERCENTUAIS
Argila	Agregado miúdo	1,50
Argila	Agregado graúdo	0,25
Material pulverulento	Agregado miúdo- concreto sujeito a desgaste superficial	3,00
Material pulverulento	Agregado miúdo- outros concretos	5,00
Material pulverulento	Agregado graúdo	1,00
Matérias Carbonosas	Agregado miúdo	1,00

Na hipótese de não poderem ser removidas e superarem estes limites, os agregados devem ser descartados. Os torrões de argila são prejudiciais ao concreto, tendo em vista que afetam a resistência mecânica e a durabilidade. Os materiais pulverulentos (< 0.075 mm) são constituídos de siltes e argilas. A matéria orgânica presente nos agregados, geralmente partículas de húmus, prejudica a resistência do concreto. Uma parte do húmus é ácida e pode ser removida por água (PETRUCCI, 1987). A mica, os restos vegetais, os sais solúveis (cloretos e sulfatos) e os grãos friáveis também prejudicam a qualidade do concreto.

Certos agregados reagem com os álcalis do cimento, provocando a expansão e a deterioração do concreto.

Segundo A. D. Courow, citado por DAFICO, a ação deletéria proveniente da atividade agregado-cimento decorre dos seguintes fatores:

- Quantidade e velocidade de liberação de Ca(OH)_2 durante a hidratação do cimento;
- Teor de álcalis do cimento (mais de 0.6% de equivalente alcalino);
- Finura do cimento;
- Composição do cimento.

2.1.3 - ÁGUA

A água a ser usada no preparo do concreto não deve conter impurezas que possam provocar reações entre ela e os compostos do cimento que sejam prejudiciais ao concreto. Poucas quantidades de impurezas, dependendo de sua natureza, muitas vezes podem ser toleradas.

A água, com agentes agressivos, utilizada no preparo do concreto, tem ação menos intensa sobre o mesmo, já que a agressão ao concreto termina com o término da ação do agente. A mesma água, agindo permanentemente sobre o concreto, estará sempre renovando o agente agressivo, provocando efeitos mais nocivos. Assim, os maiores males provocados pela água de amassamento têm mais a ver com o excesso de água do que com a presença de impurezas (PETRUCCI, 1987).

Sempre que houver dúvida com relação à qualidade de determinada água, deve-se fazer ensaios para verificar a influência das impurezas sobre o tempo de pega, a resistência mecânica e a estabilidade de volume.

Alguns danos provocados pelas impurezas contidas na água podem ser previstos, a saber:

- carbonatos e bicarbonatos de sódio, potássio e magnésio (acima de 0.1%) – aumentam a cal do cimento, alteram o tempo de pega e afetam a resistência;
- a magnésia dos carbonatos e bicarbonatos (acima de 0.1%) – vai formar a etringita ao reagir com aluminato tricálcico;

- sódio e o potássio dos carbonatos e bicarbonatos – aumentam o teor de álcalis do cimento, provocando a reação álcali-agregado;
- cloreto de sódio (acima de 2%) provoca corrosão de armaduras;
- sulfato e o cloreto de magnésio (acima de 4%) prejudicam a resistência dos concretos;
- sulfato de cálcio em presença de C_3A forma o sulfaluminato de cálcio, um composto expansivo que provoca destruição dos concretos (DAFICO, 1993).

A água do mar, com concentração máxima de 3% de sais, pode ser usada para preparo de concreto não armado de baixas resistências. As águas ácidas podem ser usadas no concreto desde que o pH seja superior a 3.

Com relação à quantidade de água a se utilizar para preparo de um concreto, sabe-se que:

“Dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades do concreto endurecido, variam na razão inversa da relação água/cimento”. (ABRAMS, citado por PETRUCCI, 1987).

A relação água/cimento ou fator água/cimento é expressa pela relação, em massa, das quantidades de água e cimento usadas no preparo do concreto. A utilização de uma relação água/cimento adequada vai propiciar a elaboração de um concreto de boa consistência, trabalhabilidade, resistência aos esforços mecânicos e durabilidade.

Com relação ao custo, fica evidente que, ao se utilizar a relação água/cimento adequada, estará sendo utilizada a quantidade de cimento que, atendendo as especificações de projeto, propicia o melhor custo.

2.2 - ESTRUTURA DO CONCRETO

O concreto tem uma estrutura muito heterogênea e complexa. O conhecimento da estrutura e das propriedades de cada constituinte do concreto e da relação entre elas é fundamental para se conhecer a estrutura do concreto. Desta forma é fundamental o conhecimento das estruturas da pasta aglomerante, dos agregados e da zona de transição entre eles.

A estrutura de um sólido é constituída pelo tipo, a quantidade, o tamanho, a forma e a distribuição das fases presentes na mesma. A macroestrutura é a estrutura visível a olho nu, a estrutura grosseira. A microestrutura é a porção de uma macroestrutura aumentada microscopicamente. A Figura 2.2 mostra a macro-estrutura do concreto, onde se distinguem os agregados e o meio ligante. (MEHTA E MONTEIRO, 1994)

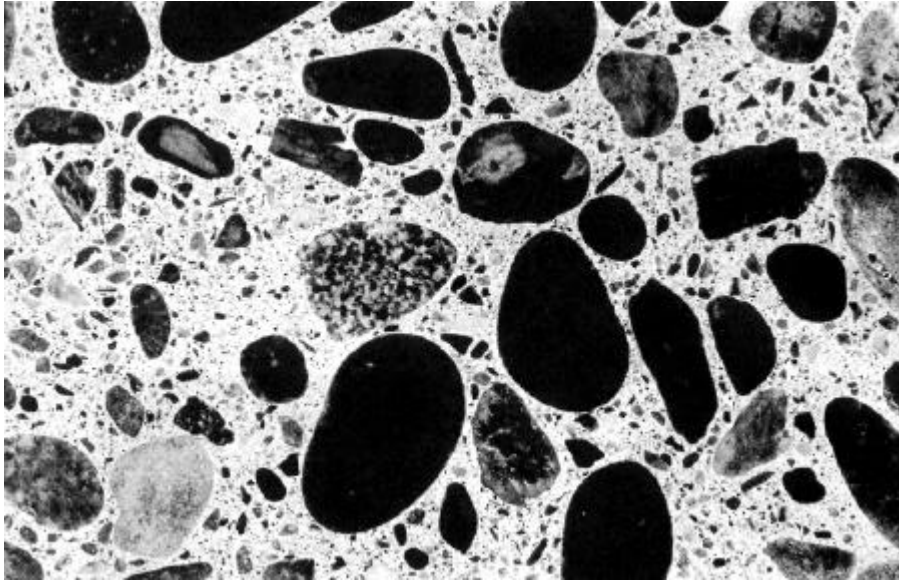


FIGURA 2.2 - Seção polida de um corpo-de-prova de concreto.

Pelo exame da Figura 2.2 distinguem-se claramente duas fases do concreto, que são as partículas de agregado e a pasta contínua endurecida, que é o meio ligante.

Em nível microscópico, começam a aparecer as complexidades da estrutura de concreto. Desta forma as duas fases da estrutura não estão distribuídas homogêneas, uma em relação à outra, nem são em si mesmas homogêneas. Em algumas áreas a pasta é tão densa quanto o agregado e em outras é altamente porosa. Assim, se vários corpos de prova de concreto contendo a mesma quantidade de cimento e diferentes quantidades de água, forem examinados em diferentes espaços de tempo, pode-se observar que, em geral, o volume de vazios capilares na pasta decresce na razão direta do fator água/cimento e inversa da idade de hidratação.

Os principais sólidos presentes na pasta de cimento hidratado são:

- Os silicatos de cálcio hidratado (CSH gel ou gel de tobermorita) que compõem de 50 à 60% do volume de sólidos da pasta de cimento Portland completamente hidratado, daí ser a mais importante na determinação das propriedades da pasta;
- Hidróxido de cálcio (ou portlandita) que constitui de 20 a 25% do volume de sólidos;
- Os Sulfoaluminatos de cálcio, que ocupam de 15 a 20% do volume de pasta que favorece a formação de etringita, a qual pode dar origem ao C_4ASH_{18} , que torna o concreto vulnerável ao ataque de sulfatos;
- Grãos de clínquer não hidratados que poderão remanescer na microestrutura da pasta dependendo do grau de hidratação da mesma.

A fase agregada é que determina, predominantemente, a massa unitária, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional do concreto. Estas propriedades do concreto dependem muito da densidade e da resistência do agregado, que por sua vez são determinadas por suas características físicas, tais como, volume, tamanho, distribuição de poros, a forma e a textura. Em princípio, a fase agregado só terá influência sobre a resistência do concreto se o mesmo for poroso e fraco ou de tamanho e forma grandes, chatos e alongados, que propicie a exsudação interna da água, enfraquecendo exageradamente a zona de transição.

A estrutura da pasta na vizinhança de partículas grandes de agregado, é comumente muito diferente da estrutura da matriz de pasta ou argamassa do sistema. Muitos aspectos do comportamento do concreto sob tensão se explicam quando a interface pasta de cimento-agregado é tratada como uma terceira fase da estrutura do concreto, conhecida como a zona de transição.

A Figura 2.3 mostra a representação diagramática da zona de transição e da matriz de pasta de cimento no concreto.

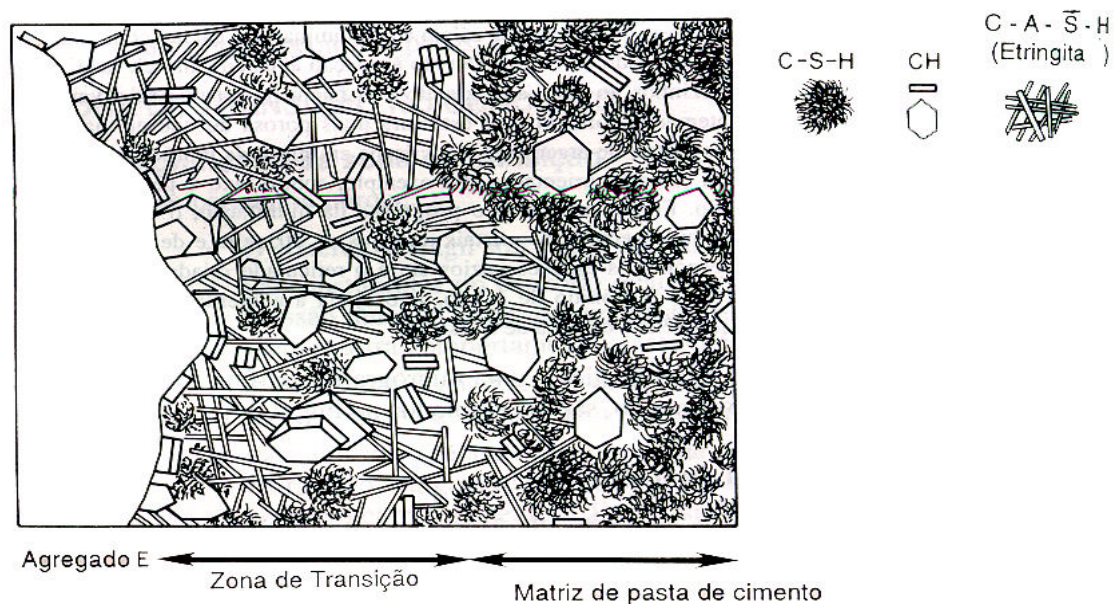


FIGURA 2.3 – Representação diagramática da zona de transição e da matriz de pasta de cimento no concreto. (MEHTA E MONTEIRO, 1994)

A zona de transição representa a região interfacial entre as partículas de agregado gráudo e a pasta. Ela exerce uma influência muito grande sobre o comportamento mecânico do concreto. No caso da pasta, a causa da adesão dos produtos de hidratação e o agregado, são as forças de Van der Waals; Assim, a resistência da zona de transição depende do volume, do tamanho de vazios existentes de cristais orientados de hidróxido de cálcio, da presença de microfissuras. A

quantidade de microfissuras depende da distribuição granulométrica, do tamanho do agregado, do teor do cimento, da relação água/cimento, do adensamento, da umidade do ambiente.

Nas primeiras idades, o volume e o tamanho de vazios na zona de transição serão maiores que na matriz de argamassa, conseqüentemente a zona de transição é mais fraca em resistência.

Em idades avançadas, se ocorrer a cristalização de novos produtos nos vazios da zona de transição através de reações químicas lentas, formando silicatos de cálcio hidratado ou carboaluminatos hidratados, a zona de transição pode deixar de ser o elo mais fraco desta corrente.

É devido à zona de transição que o concreto quase sempre rompe a um nível de tensão muito mais baixo que a resistência de seus dois componentes principais (o agregado e o meio cimentante). Desta forma, a estrutura da zona de transição tem grande influência sobre a resistência, o módulo de deformação e a durabilidade do concreto. Há que se considerar ainda que cada uma das fases avaliadas é de natureza multifásica. Assim, cada partícula de agregado pode conter vários minerais, microfissuras e vazios. Complementarmente, há o fato de que a estrutura do concreto não permanece estável, visto que a pasta e zona de transição estão sujeitas a alterações com o tempo, a umidade ambiente e a temperatura. Desta forma, o concreto acaba por se mostrar de natureza altamente heterogênea e dinâmica (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Além dos aglomerantes, dos agregados e da água, a pasta endurecida contém diferentes tipos de vazios que têm influência importante sobre as propriedades do concreto.

Os vazios capilares ou porosidade são espaços não ocupados pelo cimento ou pelos produtos de hidratação. O volume e o tamanho dos mesmos depende do fator água/cimento e do grau de hidratação do cimento. Não é a porosidade total, mas distribuição do tamanho dos poros que controla a resistência, a permeabilidade e variação de tamanho de uma pasta endurecida. Os poros grandes influenciam mais a resistência à compressão e a permeabilidade; os poros pequenos influenciam a retração por secagem e a fluência. (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Ao contrário dos vazios capilares que apresentam forma irregular, os vazios do ar incorporado são geralmente esféricos. Além do ar incorporado, pode-se usar, por questões de conveniências técnicas, o aprisionamento do ar na pasta fresca de cimento durante a mistura.

Tanto os vazios de ar incorporado, quanto os de ar aprisionado prejudicam a resistência e impermeabilidade do concreto.

Observados no microscópio eletrônico, os poros da pasta parecem vazios. Na realidade, dependendo da umidade ambiente e da porosidade da pasta, a mesma pode reter uma grande quantidade de água.

A água existe na pasta nos seguintes estados:

- Água capilar livre que é aquela que está disponível para ser removida;
- A água capilar retida é aquela cuja remoção pode provocar retração do sistema;
- A água adsorvida é a água que está próxima da superfície do sólido e sua perda pode provocar retração da pasta na secagem;
- A água interlamelar é a água associada à estrutura de C-S-H. Só é perdida por secagem forte e provoca uma retração considerável da estrutura de C-S-H;
- A água quimicamente combinada é a que faz parte da estrutura dos vários produtos hidratados do cimento. Ela não pode ser perdida por secagem.

A Figura 2.4 mostra as formas em que a água pode estar presente na pasta de cimento hidratado.

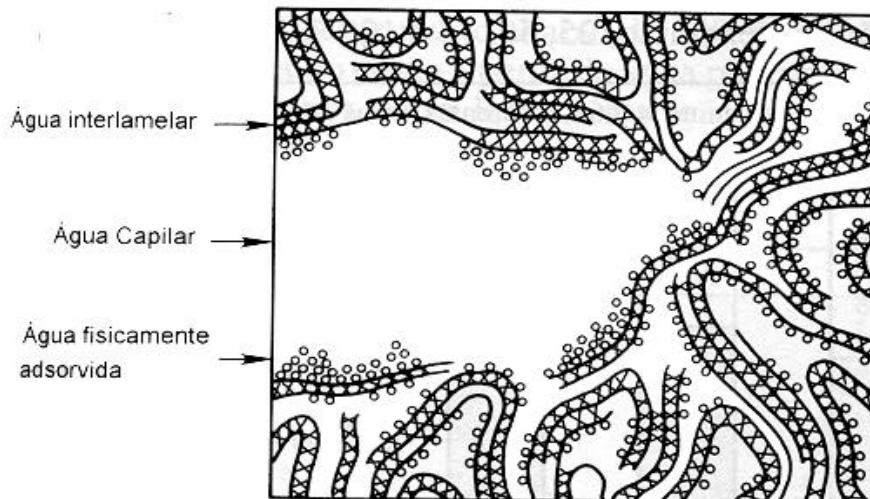


FIGURA 2.4 – Tipos de água associados ao silicato de cálcio hidratado. (MEHTA E MONTEIRO, 1994)

2.3 - PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.3.1 - PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Em seu estado fresco o concreto possui algumas propriedades importantes, já que interferem diretamente no grau de dificuldade para seu transporte, aplicação e adensamento (BAUER, 1994).

2.3.1.1 – TRABALHABILIDADE

É a propriedade que se verifica na capacidade de ser misturado, transportado e aplicado sem perder a homogeneidade, ou seja, o concreto mantém suas características estáveis desde a mistura até a aplicação (DAFICO, 1987).

A trabalhabilidade envolve de dois componentes principais: a consistência, que descreve a facilidade de mobilidade, e a coesão, que descreve a resistência à exsudação ou à segregação da mistura. A trabalhabilidade não é, como a consistência, uma propriedade inerente ao próprio concreto, envolve também as considerações relativas ao tipo de obra e métodos de execução. Assim, um concreto conveniente para estruturas de grandes dimensões e pouco armadas pode não ser para estruturas delgadas e muito armadas. Em outro caso o concreto pode ser adequado para adensamento com vibrador mas, dificilmente estará bem moldado com adensamento manual. Fica clara a importância da trabalhabilidade em tecnologia do concreto. É uma das propriedades básicas que devem ser atendidas (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Em uma obra em que as dimensões das peças, tipo de armaduras e processo de execução estão condizentes com o diâmetro máximo do agregado, a trabalhabilidade dependerá da consistência do concreto. Assim pode-se ter uma série de misturas trabalháveis, mas de consistências diferentes: concreto seco, plástico ou fluido. A natureza da obra e o adensamento requerido indicarão o grau de consistência mais conveniente.

Devido a natureza composta da trabalhabilidade, nenhum único método pode ser considerado como medidor dessa propriedade. O ensaio universalmente usado para medir a consistência do concreto é denominado ensaio de abatimento do tronco de cone, normalizado pela ABNT/MB-256, no qual o concreto fresco é moldado numa fôrma metálica em forma de tronco de cone, de 20 cm de diâmetro na base, 10 cm no topo e 30 cm de altura, apoiada numa superfície rígida. O concreto é moldado em três camadas de igual volume, adensadas com 25 golpes para cada uma, com uma barra de 60 cm de comprimento e 16 mm de diâmetro. Em seguida o molde é retirado verticalmente e o concreto abate mais ou menos simetricamente. O abatimento ou “slump” corresponde à diferença entre a altura inicial e a altura após remoção do molde (BAUER, 1994).

Existem outros métodos para avaliação da consistência do concreto, dentre eles estão: ensaios de penetração e ensaios de escorregamento.

a) SEGREGAÇÃO E EXSUDAÇÃO

Segregação da mistura é a perda de sua homogeneidade. É a separação de seus constituintes, impedindo a obtenção de um concreto uniforme e convenientemente compactado.

É na diferença dos tamanhos de grãos do agregado e na massa específica dos constituintes que se encontram as causas primárias da segregação (BAUER, 1994), mas ela pode ser controlada pela escolha conveniente da granulometria dos agregados e com cuidados no transporte, lançamento e adensamento do concreto.

Existem duas formas de segregação do concreto; na primeira, os grãos maiores do agregado tendem a separar-se dos demais, quer quando se depositam no fundo das fôrmas, quer quando se deslocam mais rapidamente, no caso de transporte em calhas. Na segunda forma de segregação, comum nas misturas muito plásticas, manifesta-se a nítida separação da pasta. Quando são utilizados alguns tipos de granulometria em concretos pobres e secos, a primeira forma de segregação pode ocorrer. A adição de água poderá melhorar a coesão, mas quando a mistura se torna muito úmida, ocorre a segunda forma de segregação (NEVILLE, 1963). A vibração excessiva do concreto pode levar à segregação dos materiais.

A exudação é o fenômeno cuja manifestação externa é o aparecimento de água na superfície do concreto, após o lançamento e adensamento, porém antes de ocorrer a pega. A água é o componente mais leve do concreto, assim a exsudação é uma forma de segregação, pois os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar sob a ação da força da gravidade. A exsudação resulta da incapacidade dos materiais reterem toda a água da mistura em estado disperso, enquanto os sólidos mais pesados estiverem assentando. A compactação total do concreto é essencial para que o mesmo possa atingir o potencial máximo de resistência, isso não irá ocorrer após a segregação, portanto é importante reduzir a tendência de ocorrência desse fenômeno. A exsudação apresenta-se sob várias formas. Inicialmente, somente parte da água de exsudação sob à superfície; uma grande parte dessa água fica retida embaixo dos agregados maiores e nas barras horizontais da armadura, quando existirem. Se a perda de água pela exsudação fosse uniforme em todo o concreto e aparecesse na superfície e fosse retirada, a qualidade do concreto melhoraria com a redução da relação água/cimento. Na prática, entretanto isso não acontece. Normalmente as cavidades provocadas pela água exsudada sob os agregados graúdos e armaduras são grandes e numerosas, deixando a parte superior do elemento estrutural mais fraca que a inferior.

São causas de segregação e exsudação: consistência inadequada, composição inadequada dos agregados (quantidade excessiva de agregados graúdos com densidade muito alta), quantidade insuficiente de finos (areia e cimento) e métodos impróprios de lançamento e adensamento.

A segregação em misturas muito secas pode às vezes ser reduzida com um pequeno acréscimo de água. Entretanto, na maioria dos casos, é necessária uma observação mais rigorosa

na granulometria dos agregados. O aumento do consumo de cimento, o uso de adições minerais e de ar incorporado são medidas empregadas para combater a tendência à exsudação das misturas de concreto.

b) PERDA DE ABATIMENTO

A perda de abatimento é a perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo ou enrijecimento incomum do mesmo, ao ponto de provocar efeitos indesejáveis. Ela se dá quando a água livre da mistura de concreto é consumida pelas reações de hidratação ou por evaporação. Os problemas causados pela perda de abatimento podem ser superados produzindo-se um concreto com abatimento inicial maior que o necessário para a concretagem (fazendo uma compensação prévia da perda) ou promovendo-se o reamassamento do concreto, mediante o acréscimo de água (respeitada a relação água/cimento estabelecida) ou de aditivo.

c) MUDANÇAS INICIAIS DE VOLUME

A redução de volume nas peças de concreto, caracterizada pelo assentamento do mesmo, algumas horas após o lançamento, e pelo aparecimento de fissuras horizontais é conhecida como retração plástica.

A retração plástica pode ser causada pela sedimentação, pela rápida perda de água, por exsudação, absorção ou evaporação e deformações das formas.

A prevenção da retração plástica pode se dar tomando-se medidas de combate aos agentes externos da mesma, quais sejam:

- Umedecimento das fôrmas dos elementos a serem concretados;
- Redução da incidência de ventos e da insolação;
- Proteção do concreto com sacos ou camada de areia molhados, compostos de cura ou água.

As fissuras podem se dar também por obstrução ao assentamento do concreto e são muito comuns em lajes. Em qualquer hipótese, se o concreto ainda estiver em estado plástico, pode-se proceder a revibração para a eliminação das mesmas.

2.3.1.2 - FATORES QUE AFETAM A TRABALHABILIDADE

Para o estudo dos fatores que afetam a trabalhabilidade, é mais apropriado estudar os fatores que afetam a consistência e a coesão da mistura. Pode-se controlar a consistência e/ou coesão da mistura pela quantidade de água, o teor de cimento, a granulometria e forma dos agregados (além de outras características físicas), aditivos e ainda outros fatores que afetam a perda de abatimento:

- **Consumo de água**

Conforme a norma ACI 211.1, citada por MEHTA E MONTEIRO (1994), para uma dada dimensão máxima do agregado graúdo, a consistência do concreto é função direta da quantidade de água na mistura, isto é, dentro de certos limites é independente de outros fatores, tais como: granulometria e teor de cimento.

Misturas de concreto muito fluidas tendem a segregar e exsudar, afetando desfavoravelmente o acabamento. Misturas muito secas podem ser difíceis de lançar e adensar, e o agregado graúdo pode segregar no ato do lançamento.

- **Consumo de cimento**

Concretos com consumo de cimento muito baixo tendem a produzir misturas ásperas e de acabamento precário. Por outro lado, concretos com proporção de cimento muito alta, apresentam excelente coesão, mas tendem a ser viscosos.

- **Características dos agregados**

Dados experimentais já comprovaram que o tamanho do agregado graúdo influencia na quantidade de água necessária para uma determinada consistência. Areias muito finas ou angulosas necessitarão de maior quantidade de água para uma dada consistência. Areias com essas características produzirão misturas ásperas e pouco trabalháveis com quantidades de água adequadas para areias mais grossas ou de grãos arredondados.

- **Aditivos**

O ar incorporado melhora a consistência do concreto, pois aumenta o volume de pasta. Também aumenta a coesão da mistura, com a redução da exsudação e da segregação. Em concretos massa, que possuem uma quantidade menor de cimento, a incorporação de ar produz uma boa melhoria na consistência e coesão. Aditivos pozolânicos tendem a aumentar a coesão do concreto. Aditivos redutores de água aumentam o abatimento. Além destes fatores, que são internos ao concreto, existem outros fatores externos que podem influenciar a trabalhabilidade, a saber:

- Tipos de mistura (manual ou mecânica);
- Transporte e lançamento;
- Adensamento;
- Dimensões e armadura da peça executada;
- Acabamento;
- Ventilação;
- Insolação;

- Temperatura ambiente;
- Ritmo e velocidade de concretagem;
- Qualidade das formas etc.

2.3.2 - PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

O conjunto de propriedades e características de um concreto é o que o qualifica, devem entretanto, serem consideradas em termos relativos, segundo a exigência da obra a ser utilizado. Por exemplo: a impermeabilidade de um concreto é característica essencial para concretos utilizados em estruturas hidráulicas, não sendo tão rigidamente exigida em concretos utilizados em estruturas de edifícios residenciais, quando as exigências fundamentais são deslocadas para características mecânicas de resistência e rigidez.

São propriedades do concreto endurecido: resistência à compressão, resistência à tração, resistência à abrasão, permeabilidade, porosidade, retração, módulo de deformação e propriedades térmicas (DAFICO, 1987).

2.3.2.1 - RESISTÊNCIA AOS ESFORÇOS MECÂNICOS

a) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O concreto é um material por excelência resistente à compressão, e esta propriedade serve como bom índice para a sua qualidade. Dentre outros, a resistência à compressão do concreto depende dos seguintes parâmetros:

- qualidade do aglomerante;
- qualidade e composição dos agregados;
- relação cimento/agregados;
- relação água/cimento;
- eficiência da mistura, lançamento e adensamento;
- cura;
- idade.

Fatores que afetam a resistência à compressão

A resistência do concreto às tensões aplicadas depende, além do tipo de solicitação, da combinação de vários fatores que afetam os diferentes componentes estruturais do concreto. Tais fatores incluem propriedades e proporções dos materiais componentes, grau de adensamento e condições de cura. Do ponto de vista da resistência, a relação água/cimento é o fator mais

importante, pois, independentemente de outros fatores, ele afeta a porosidade da matriz pasta de cimento e da zona de transição, entre a matriz e o agregado graúdo.

O primeiro passo para a obtenção de um concreto com a resistência especificada é a escolha de materiais adequados e a determinação das proporções corretas desses materiais.

b) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A resistência do concreto à tração é muito baixa em relação a sua resistência à compressão, da ordem de 10 % desta. Os resultados de ensaios são dispersos e devem ser bem analisados estatisticamente quando o projeto da estrutura necessitar desse dado. (DAFICO,1987).

c) RESISTÊNCIA À ABRASÃO

A resistência à abrasão é uma característica importante, por exemplo, nas superfícies sujeitas a intensas manobras de veículos de carga. A destruição da estrutura do material se dará quer por rompimento dos grãos dos agregados, quer por seu arrancamento. A utilização de agregados maiores e mais duros diminui o desgaste. A melhor qualidade da pasta de cimento e do acabamento superficial também diminui o desgaste.

De um modo geral, a resistência à abrasão cresce proporcionalmente com a resistência à compressão entre 20 e 40 MPa; com resistências inferiores a 20 MPa o desgaste cresce rapidamente. (BAUER, 1994).

2.3.2.2 - POROSIDADE E PERMEABILIDADE

O concreto é um material poroso. A porosidade está presente na pasta e na região de contato entre a pasta e o agregado. Os vazios presentes são de origem diversa: excesso de água na mistura, diminuição do volume absoluto pela hidratação do cimento, ar arrastado na operação de mistura, etc.

O volume de poros do concreto pode ser determinado por meio de ensaios experimentais através de suas densidades real e aparente.

Como já foi mencionado anteriormente, o concreto é um material poroso, como seus vazios são geralmente interligados, o concreto é geralmente permeável aos líquidos e gases.

A importância do conhecimento do grau de permeabilidade do concreto não é somente quando do seu uso em obras hidráulicas, mas pelo fato de que sua durabilidade pode ser ameaçada pela entrada de agentes agressivos.

A permeabilidade do concreto à água e a outros líquidos se exprime pela quantidade de líquido que atravessa uma superfície unitária, numa espessura unitária, sob pressão unitária e durante a unidade de tempo ($1 / m^2 \cdot h$) (BAUER, 1994)

2.3.2.3 - ESTABILIDADE DIMENSIONAL

O concreto apresenta deformações quando sob cargas e deformações de retração na secagem e no resfriamento.

Estas deformações podem ser elásticas ou inelásticas. Quando o concreto apresenta uma deformação associada ao resfriamento, ele está sofrendo uma contração térmica. Se a deformação está associada a uma retração por perda de umidade, ela é uma retração por secagem.

a) RETRAÇÃO POR SECAGEM

A retração por secagem está relacionada principalmente a remoção da água adsorvida. Esta remoção pode se dar quando a pasta endurecida é submetida à esforços de tensão constante e depende da intensidade e duração da tensão aplicada.

Por outro lado a pasta de cimento saturada quando submetida a umidade ambiental abaixo da saturação sofre retração. Em ambos os casos há perda da água fisicamente adsorvida do C – S – H.

A fluência do concreto é o aumento gradual da deformação ao longo do tempo, sob um certo nível de tensão constante. A diminuição gradual de tensão ao longo do tempo, sob um certo nível de deformação constante é a relaxação. A fluência básica é aquela que decorre de uma aplicação de uma tensão constante, a uma umidade relativa 100%. A fluência por secagem ocorre se a peça além de estar sob carga, também está secando. Tanto a retração por secagem quanto a fluência são constituídas de parte reversível e parte irreversível.

A retração por secagem e a fluência estão intimamente relacionadas com os materiais, dosagens utilizadas, relação água/cimento, uso de adições ou aditivos, tempo, umidade, geometria da peça, condições de cura e temperatura.

A fluência é tanto maior quanto maior for a tensão aplicada.

b) CONTRAÇÃO TÉRMICA

A deformação associada à mudança de temperatura depende do coeficiente de dilatação térmica do material e da intensidade da variação de temperatura. Em estruturas de grande porte o calor produzido pela hidratação do cimento produz um grande aumento na temperatura do concreto. O resfriamento subsequente até a temperatura ambiente pode provocar o fissuramento do concreto, já que ao aumentar sua temperatura o mesmo expandiu e ao esfriar se contrai. Dependendo da intensidade das restrições a esta retração, do módulo de deformação e da

relaxação devida à fluência, as tensões de tração resultantes podem provocar fissuração da peça. Os fatores que afetam as tensões térmicas são o grau de restrição e a variação de temperatura.

O controle da temperatura de lançamento é uma das melhores maneiras de evitar fissuras térmicas no concreto. O uso de cimentos mais grossos ou com baixos teores de C_3A e C_3S diminui os calores de hidratação dos concretos.

A importância principal das deformações causadas por tensões aplicadas, por efeitos térmicos e relacionados à umidade no concreto é se as mesmas separada ou conjuntamente vão levar à sua fissuração. A grandeza da deformação por retração é um dos fatores que poderão levar o concreto à fissuração. Os outros serão o módulo de deformação, a fluência e a resistência à tração. Para que o concreto possa sofrer grandes deformações sem fissurar é preciso que tenha um alto grau de extensibilidade.

c) MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

As características elásticas de um material são uma medida de sua rigidez. Apesar do comportamento não linear do concreto, é necessária uma estimativa do módulo de deformação para determinar as tensões induzidas pelas deformações associadas aos efeitos ambientais, para calcular as tensões de projeto sob carga e momentos de deformações em estruturas complicadas.

O módulo de deformação é a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado. Ao se determinar o módulo de deformação, são consideradas apenas as deformações elásticas, ou seja, as deformações que aparecem e desaparecem completamente no carregamento e no descarregamento, respectivamente.

Apesar de a pasta de cimento hidratado e os agregados apresentarem propriedades elásticas lineares, o concreto não apresenta. Devido à não linearidade da relação tensão-deformação do concreto, o módulo de deformação não é constante, dependendo do nível de tensão em que é avaliado e da maneira como a mesma é aplicada. Assim, o módulo de deformação à flexão é determinado pelo ensaio de flexão em uma viga carregada.

O módulo dinâmico de deformação é dado pelo módulo tangente inicial e corresponde a uma deformação instantânea muito pequena. É o módulo da tangente para uma reta traçada desde a origem.

O módulo de deformação estático pode ser calculado por três métodos:

- Módulo tangente é dado pela declividade de uma reta tangente à curva em qualquer ponto da mesma.

- Módulo secante é dado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva que corresponde a 40 por cento da tensão de ruptura.
- Módulo corda é dado pela declividade de uma reta traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação.

A Figura 2.5 mostra a caracterização do módulo de deformação dinâmico (módulo tangente inicial), do módulo tangente e do módulo secante.

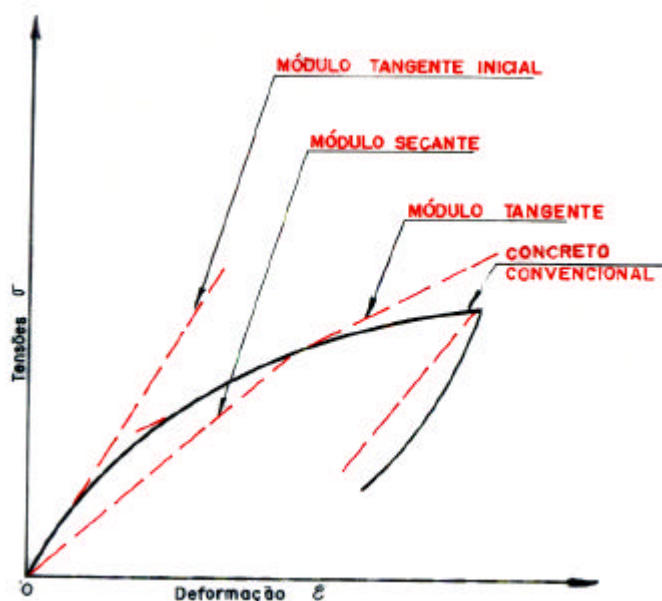


FIGURA 2.5 – Caracterização dos módulos de deformação (NBR 8522)

A metodologia de ensaio para determinação do módulo de deformação do concreto é tratada pela NBR 8522.

Os valores dos módulos de deformação usados nos cálculos para projeto de concreto são normalmente estimados à partir de expressões empíricas, que pressupõem uma relação de dependência direta entre ele, a resistência e a densidade do concreto. Na verdade sabe-se que esses valores devem ser tratados como aproximações.

Independente das dosagens ou do tempo de cura, os corpos-de-prova de concreto, testados em condições úmidas apresentam um módulo de deformação cerca de 15 % maior que os corpos-de-prova correspondentes testados em condições secas.

O que ocorre é que a secagem do concreto aumenta a microfissuração da zona de transição afetando o comportamento tensão-deformação. Além disso em uma pasta saturada de cimento, a água adsorvida ao C-S-H é capaz de suportar carga, portanto sua presença contribui para o módulo de deformação. Assim, por se tratar de um material heterogêneo vários fatores afetam o módulo de deformação do concreto.

A Figura 2.6 mostra estes fatores.

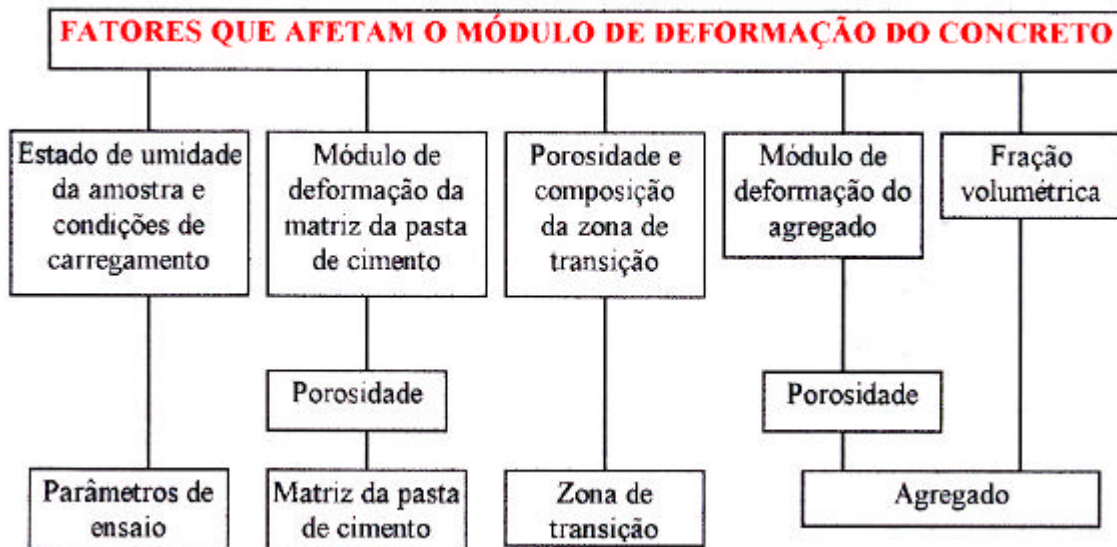


FIGURA 2.6 – Parâmetros que exercem influência sobre o módulo de deformação do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

O aparecimento e o grau de não-linearidade na curva tensão-deformação dependerá da taxa de aplicação de carga. A um dado nível de tensão, a taxa de propagação das fissuras e o módulo de deformação são dependentes da taxa que a carga é aplicada. Sob carga instantânea, somente uma pequena deformação pode ocorrer antes da fissura. Na faixa de tempo necessária para, testar as amostras, a deformação é aumentada de 15 a 20 por cento e, portanto, o módulo de deformação diminui na mesma proporção. Para taxas de carregamento muito lentas, as deformações elásticas e de fluência serão superpostas, baixando ainda mais o módulo de deformação.

2.3.2.4 - DURABILIDADE

O interesse pela durabilidade do concreto tem crescido de maneira acentuada, por parte dos calculistas, proprietários e pelos construtores. A durabilidade do concreto de cimento Portland é a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração. Assim, um concreto durável deve conservar a sua forma, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente. Quando o mesmo se tornar inseguro ou antieconômico, significa que sua vida útil chegou ao fim. Portanto ao se projetar uma estrutura de concreto há necessidade de se considerar suas propriedades mecânicas, o custo e a durabilidade.

As causas principais da deterioração são de naturezas físicas e químicas. As causas físicas da deterioração do concreto são apresentadas na Figura 2.7.

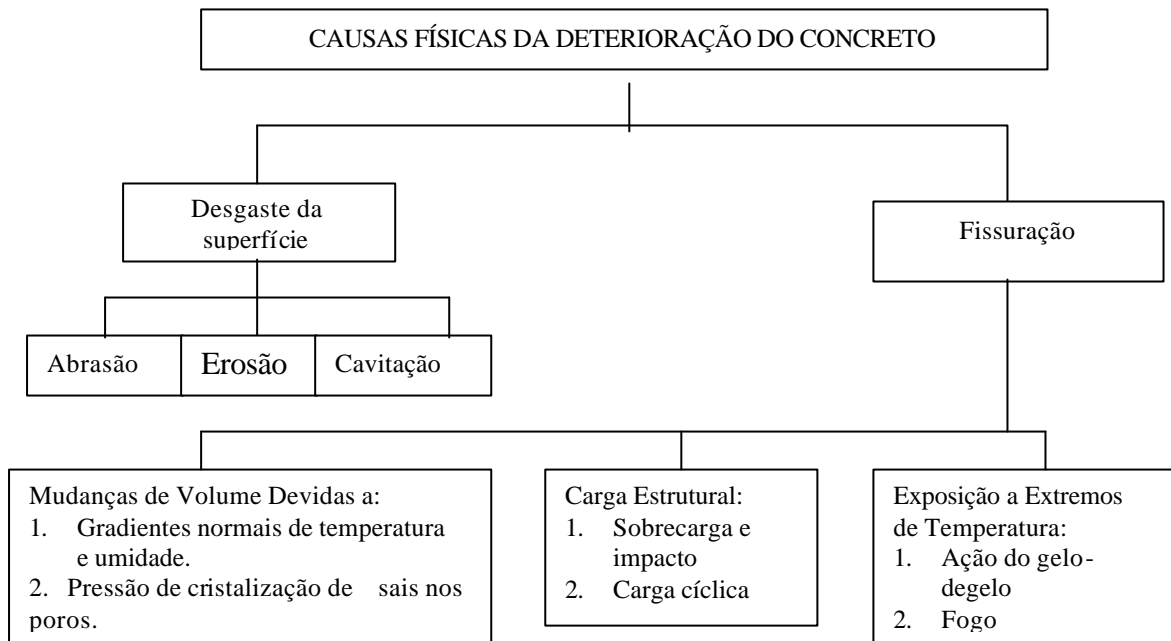


FIGURA 2.7 – Causas físicas da deterioração do concreto (MEHTA E MONTEIRO,1994)

As causas químicas da deterioração do concreto são apresentadas na Figura 2.8.

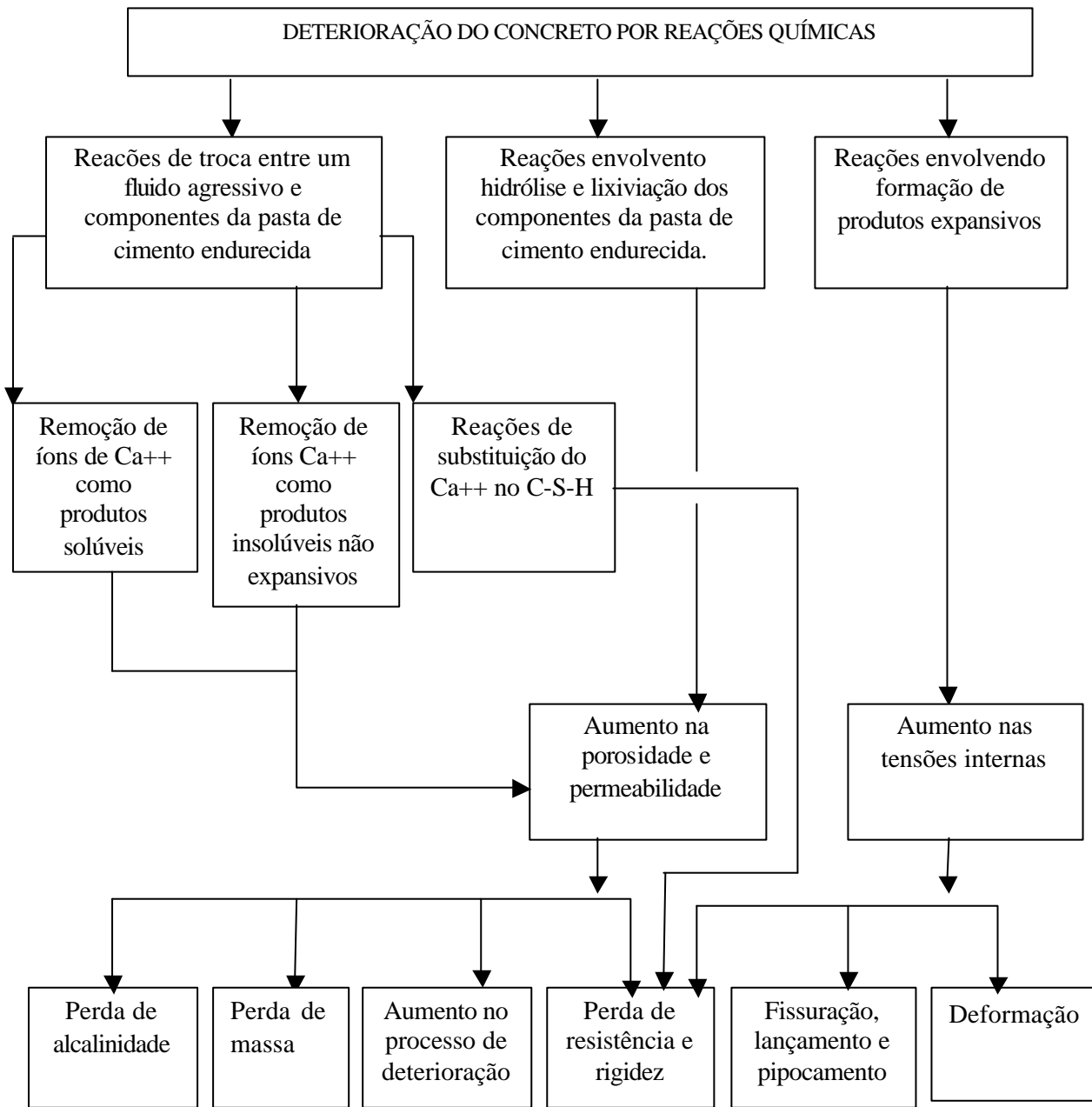


FIGURA 2.8 – Tipos de reações químicas responsáveis pela deterioração do concreto. (MEHTA e GERWICK, citados por MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Esta classificação das causas de deterioração do concreto em físicas e químicas é arbitrária e, na prática, freqüentemente se sobrepõem. Por exemplo, o desgaste superficial e a fissuração aumentam a permeabilidade do concreto, que pode se tornar causa de processos de deterioração química. Da mesma forma, a lixiviação dos componentes da pasta de cimento endurecida, por água ou fluidos, aumentará a porosidade do concreto, tornando-o mais vulnerável à abrasão e à erosão.

a) A DETERIORAÇÃO POR CAUSAS FÍSICAS

Mehta e Gerwick, citados por MEHTA e MONTEIRO, 1994, agruparam as causas físicas da deterioração do concreto em duas categorias: desgaste superficial ou perda de massa devido à abrasão, erosão e cavitação; e fissuração devida a gradientes normais de temperatura e umidade, pressão de cristalização dos sais nos poros, carregamento estrutural e exposição a extremos de temperatura tais como congelamento ou fogo.

A água é o fator principal no comprometimento da durabilidade do concreto, já que é a causa de muitos processos físicos e químicos de degradação. Assim a taxa de deterioração vai depender da permeabilidade do concreto e de seus componentes, à saber, da pasta de cimento e dos agregados. A permeabilidade do concreto à água depende principalmente da relação água/cimento, que determina o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares; e da dimensão máxima do agregado, que influencia as microfissuras da zona de transição entre o agregado graúdo e a zona de transição.

A deterioração por desgaste superficial se refere ao atrito seco (abrasão), à ação abrasiva de fluídos contendo partículas sólidas em suspensão (erosão) e a perda de massa pela ruptura devida à mudança de direção de fluxos de água em grande velocidade (cavitação).

Para se preservar o concreto de condições severas de erosão e abrasão deve-se usar agregados de alta dureza, o concreto deve ser de alta resistência à compressão (30 a 40 MPa), a cura deve ser esmerada antes da exposição ao agente agressivo, e ainda, cuidar para que o concreto não forme nata na superfície (deixar o desempenho para depois que o concreto perder a água de exsudação superficial).

Com relação à cavitação, a melhor solução no combate à mesma consiste em remover suas causas, tais como desalinhamento de superfícies ou mudanças bruscas de declividade. Com relação à fissuração por mudanças de volume há que se destacar a ação física da cristalização dos sulfatos nos poros, provocando tensões em decorrência das pressões dos sais.

A fissuração por gelo-degelo se dá devido ao aumento de volume que decorre do congelamento da água, que gera pressão hidráulica suficiente para provocar danos ao mesmo, os quais podem se manifestar sob a forma de fissuras ou descascamento. As pressões devida à cristalização dos sulfatos e ao gelo-degelo decorrem de aumentos de volume que submetem o concreto a esforços de tração, para os quais o mesmo não apresenta resistências significativas.

A capacidade do concreto de resistir à ação do congelamento depende das características da pasta de cimento e do agregado.

A incorporação de ar cria fronteiras de escape que, se bem distribuídas, ajudam no alívio das tensões. Relações água/cimento baixas produzem concretos resistentes ao congelamento, já que produzem capilares menores e em menor quantidade e terá menos água congelável e assim produzirão menos pressão.

O grau de saturação do concreto tem grande importância na determinação de sua resistência à fissuração ou ao lascamento. Abaixo de determinado grau de saturação o concreto não sofre danos pelo congelamento.

A permeabilidade do concreto também é um elemento importante na ação do congelamento já que contribui para o controle da pressão hidráulica.

b) DETERIORAÇÃO POR CAUSAS QUÍMICAS

Retornando à Figura 2.8 que procura dar maior clareza às causas químicas da deterioração dos concretos, verifica-se que as mesmas foram divididas em três subgrupos para melhor análise.

- **Formação de produtos expansivos:**

As reações que propiciam a formação dos produtos expansivos no concreto endurecido, dão origem ao aparecimento de tensões internas que podem provocar oclusão de juntas de dilatação, deformação da estrutura, fissuração, lascamento e pipocamento. Os fenômenos associados com reações químicas expansivas são o ataque por sulfato, ataque alcali-agregado, hidratação retardada de CaO e MgO livres e corrosão da armadura.

O ataque por sulfato pode se manifestar na forma de expansão do concreto que, se fissurar, aumenta a sua permeabilidade permitindo maior fluxo de água ou outros meios agressivos, acelerando o processo de deterioração. O ataque por sulfato pode provocar também a perda de resistência e de massa devido a diminuição da coesão dos produtos de hidratação do cimento. O controle do ataque por sulfatos é conseguido principalmente, executando-se um concreto, de baixa permeabilidade, com espessuras bem dimensionadas, alto consumo de cimento, baixa relação água/cimento, cura esmerada e uso de cimentos resistentes a sulfatos.

No caso da reação álcali-agregado, as matérias primas usadas na fabricação do cimento Portland são responsáveis pelo aparecimento de álcalis no mesmo. Combinações de cimentos de alta alcalinidade e agregados reativos aos mesmos, provocam reações álcali-agregados, que propiciam grandes expansões nas peças de concreto. Os cimentos de alta alcalinidade são os que possuem mais de 0,6% de Na₂O equivalente. Os granitos, gnaisses, xistos, arenitos e basaltos são considerados minerais não reativos e, portanto dão origem à agregados não reativos. O emprego de materiais pozolânicos ou de escória de alto forno inibem as reações álcali-agregados. No

preparo do concreto deve-se evitar adição de íons alcalinos de outras fontes (aditivos) e agregados contaminados com sais, como medidas preventivas das reações álcali-agregados.

A hidratação retardada de CaO e MgO livres também constitui reações químicas que dão origem a produtos expansivos causadores de tensões que podem provocar danos ao concreto.

A deterioração do concreto contendo metais embutidos (eletrodutos, canos, armadura), se dá pela combinação de mais de uma causa, no entanto a corrosão do metal é sempre uma delas. A corrosão da armadura provoca a expansão, fissuração e o lascamento do revestimento da mesma. Além disso pode ocorrer a perda de aderência entre o concreto e o aço e a redução da área de seção da armadura que pode provocar o colapso da estrutura.

A água, o oxigênio e os íons cloreto desempenham papel fundamental na corrosão das armaduras. Assim fica evidente que o controle desta corrosão passa pelo controle da permeabilidade do concreto, do uso de cimento adequado, e do uso de adições.

O uso de revestimentos maiores também contribui substancialmente para a proteção das armaduras contra a corrosão.

- **Hidrólise e lixiviação:**

As águas da condensação de neblina e vapor, as águas da chuva ou da fusão de neve ou gelo podem conter pouco ou nenhum íon de cálcio e quando entram em contato com a pasta de cimento Portland tendem a dissolver os produtos, contendo cálcio. No caso de água corrente ou infiltração sob pressão, a hidrólise da pasta de cimento não interrompe ao atingir o equilíbrio químico e continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio é retirada por lixiviação, que acabam por expor outros constituintes cimentícios à decomposição química.

Além de perda de resistência a lixiviação do hidróxido de cálcio provoca o aparecimento de eflorescências, que é uma consequência de efeito estético indesejável.

- **Reações por trocas de cátions:**

Estas reações se referem a trocas iônicas entre fluidos agressivos a pasta de cimento, dando causa a ações deletéreas já que provocam o aumento da porosidade e da permeabilidade do concreto e, por consequência, a perda de alcalinidade, perda de massa, aumento da deterioração e a perda de resistência e rigidez. As três reações que podem ocorrer são a formação de sais solúveis de cálcio, formação de sais de cálcio insolúveis e não expansivos e o ataque químico por sais magnésio.

3 - PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental da presente monografia foi dividida em cinco partes:

- Caracterização dos agregados (3.1);
- Definição dos traços (3.2);
- Confeção dos corpos-de-prova (3.3);
- Realização e apresentação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação (3.4);
- Análise dos resultados (3.5).

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Foram utilizados para este estudo brita de granito e areia natural, com as características mostradas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - Características dos agregados

CARACTERÍSTICAS	AGREGADOS	
	AREIA NATURAL	BRITA
Massa unitária (kg/dm ³) NBR – 07251	1.52	1.42
Massa específica (kg/dm ³) NBR – 09776	2.62	2.66
Módulo de finura NBR – 07217	2.18	6.90
Tamanho máximo (mm) NBR – 07217	4.8	19

3.2 - DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

Na definição dos traços foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- Relações água/cimento: 0,45; 0,50; 0,55; 0,60 e 0,65;
- Abatimento (slump test): 7 ± 1 cm.

De acordo com as relações água/cimento e abatimentos estipulados, foram encontrados os seguintes traços de concreto (em massa):

- Traço 1 - 1,00 : 1,16 : 2,10 : 0,45
- Traço 2 - 1,00 : 1,40 : 2,32 : 0,50
- Traço 3 - 1,00 : 1,66 : 2,52 : 0,55
- Traço 4 - 1,00 : 1,84 : 2,79 : 0,60
- Traço 5 - 1,00 : 2,02 : 3,08 : 0,65

Os consumos de cimento por metro cúbico de concreto, para os traços definidos, são mostrados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - Consumo de cimento por metro cúbico de concreto.

TRAÇOS	CONSUMOS (kg/m ³)
1	489
2	440
3	400
4	367
5	338

3.3 - CONFEÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Foram moldados 50 corpos-de-prova de 150 x 300 (mm), sendo 10 unidades para cada relação água/cimento. A moldagem dos corpos-de-prova foi executada de acordo com a NBR-5738.

3.4 - REALIZAÇÃO DE ENSAIOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os ensaios de resistência à compressão e de determinação dos módulos de deformação foram executados de acordo com as normas, NBR 5739 e NBR- 8522, nas idades de 3, 7, 14, 28, e 56 dias.

Nos ensaios de determinação do módulo de deformação foi utilizado o Plano de Carga III (NBR-8522) e calculado o Módulo de Deformação.

Os resultados obtidos estão mostrados nas Tabelas 3.3 e 3.4 e nas Figuras 3.1 à 3.18.

TABELA 3.3 - Resistências à compressão (MPa) nas diversas idades e nas diferentes relações a/c

RELAÇÕES A/c	IDADE (dias)				
	03	07	14	28	56
0,45	25,1	30,6	34,5	35,9	41,0
0,50	21,3	26,9	28,6	34,5	35,4
0,55	19,1	24,9	26,0	30,0	31,3
0,60	16,7	20,9	23,8	26,0	27,6
0,65	13,6	17,0	19,0	20,7	23,5

TABELA 3.4 - Módulos de Deformação (GPa) nas diversas idades e nas diferentes relações a/c

RELAÇÕES A/c	IDADE (dias)				
	03	07	14	28	56
0,45	14,2	16,8	21,8	20,6	26,9
0,50	13,2	15,4	18,1	19,3	21,8
0,55	12,8	15,5	17,6	18,2	19,2
0,60	12,0	14,8	17,0	18,3	19,2
0,65	8,1	13,4	16,0	16,8	16,5

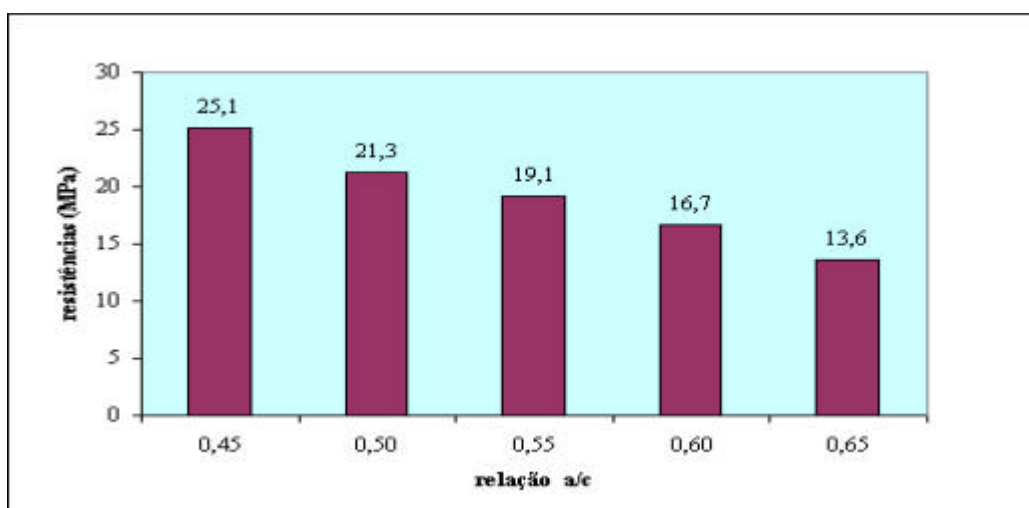


FIGURA 3.1 – Resistências à Compressão (MPa) aos 3 dias de idade, com diferentes relações a/c.

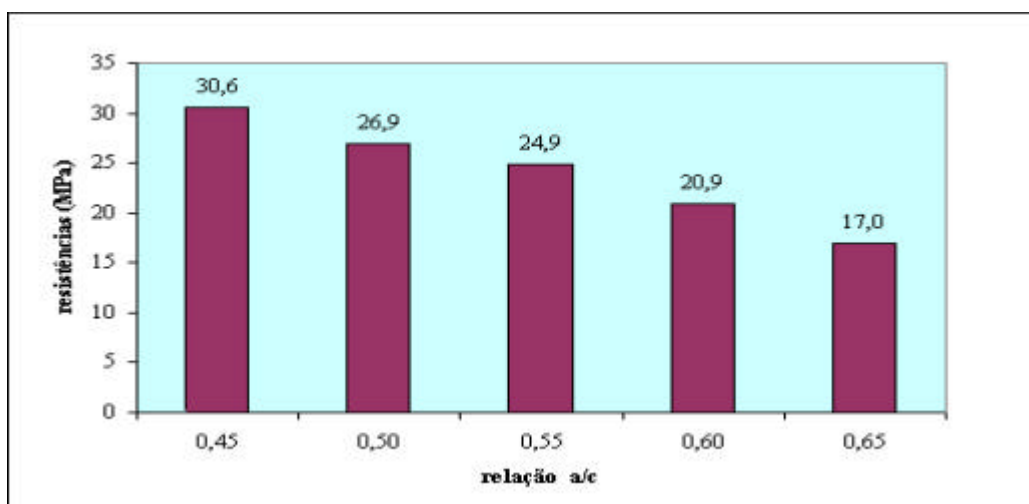


FIGURA 3.2 – Resistências à Compressão (MPa) aos 7 dias de idade, com diferentes relações a/c.

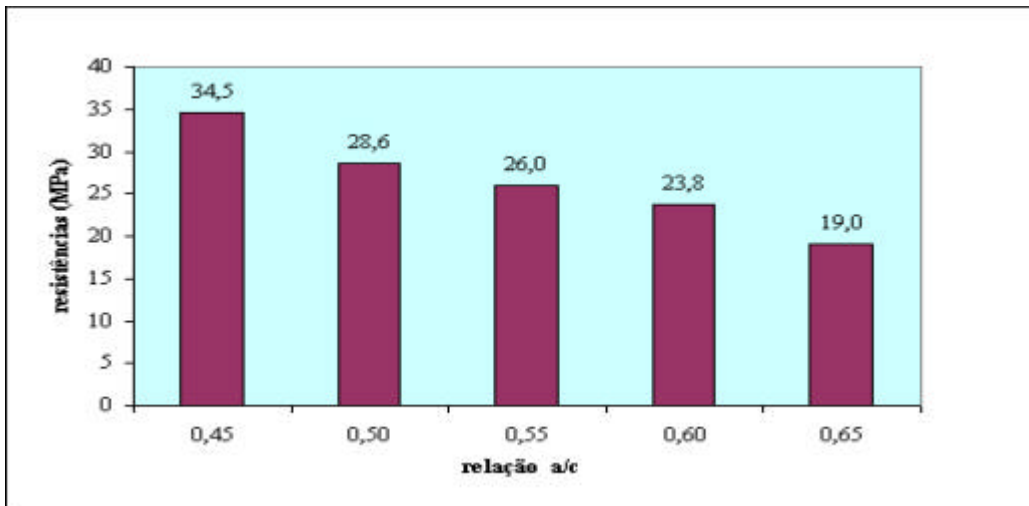


FIGURA 3.3 – Resistências à Compressão (MPa) aos 14 dias de idade, com diferentes relações a/c.

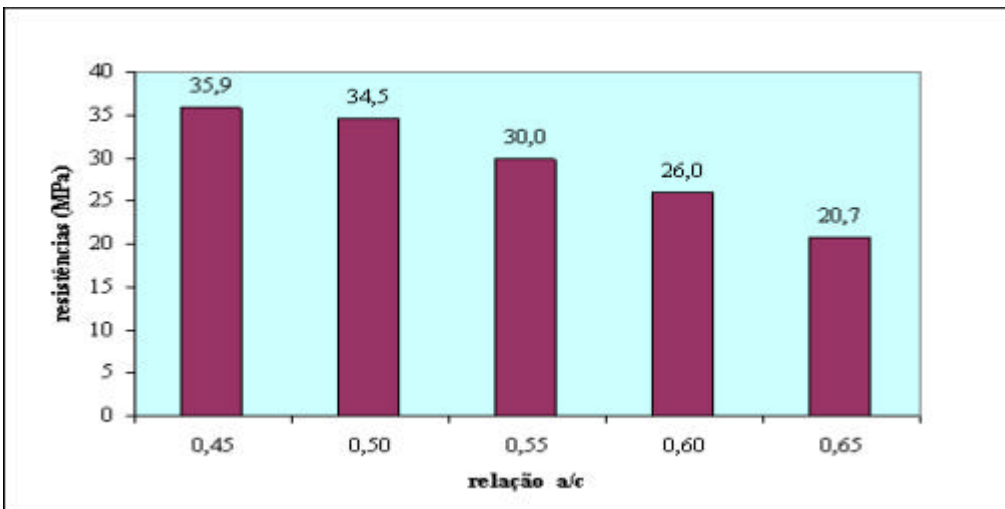


FIGURA 3.4 – Resistências à Compressão (MPa) aos 28 dias de idade, com diferentes relações a/c.

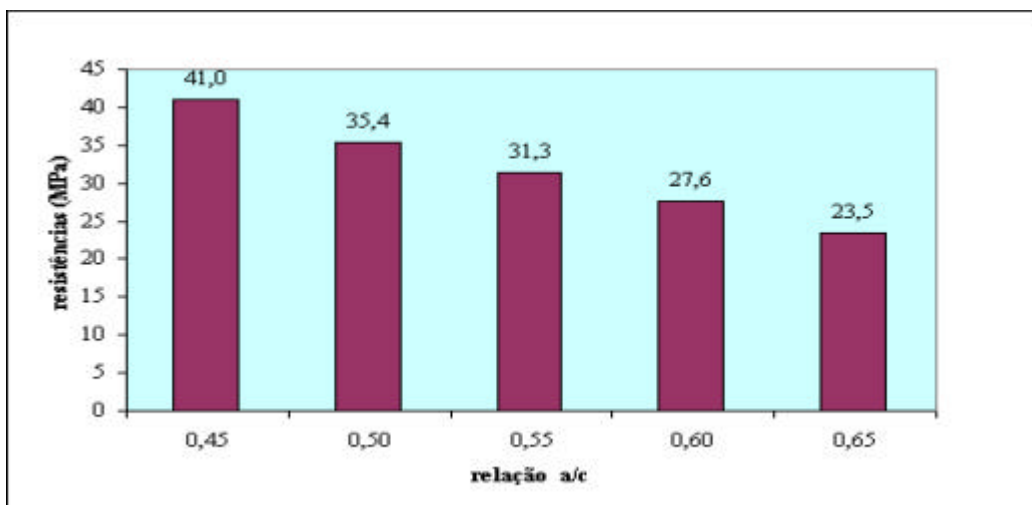


FIGURA 3.5 – Resistências à Compressão (MPa) aos 56 dias de idade, com diferentes relações a/c.

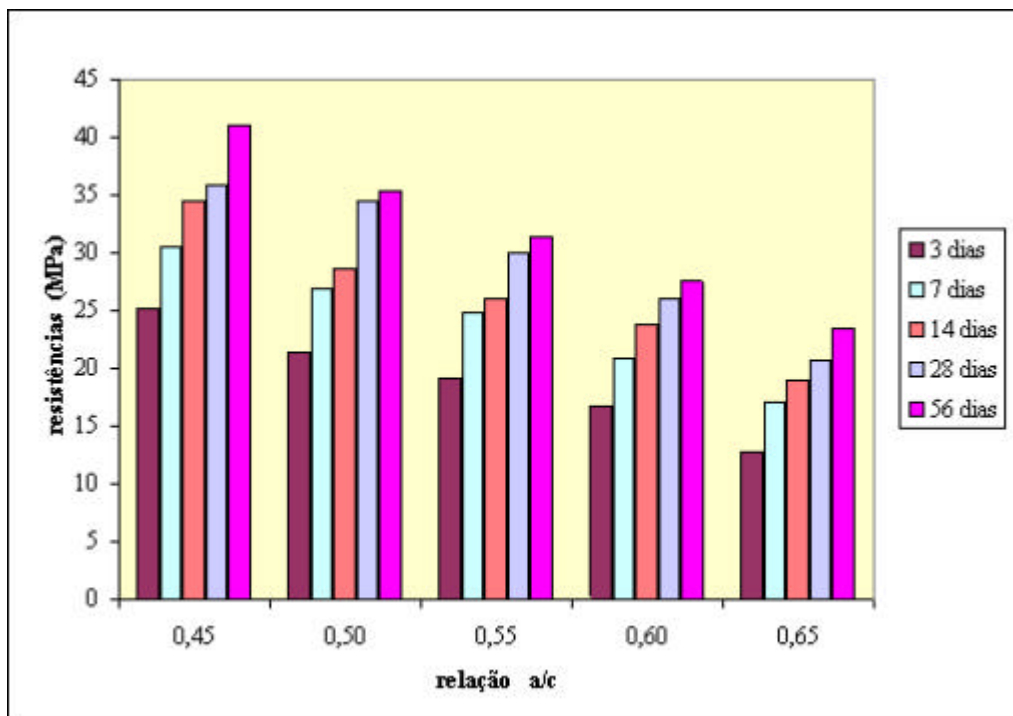


FIGURA 3.6 – Resistências à Compressão (MPa) nas diversas idades e com diferentes relações a/c.

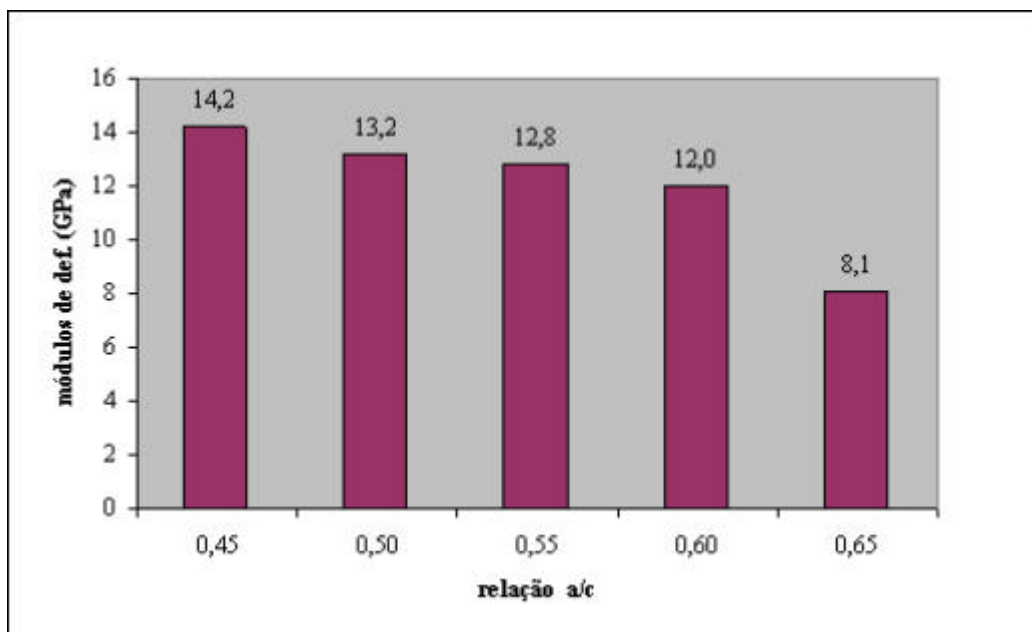


FIGURA 3.7 – Módulos de Deformação (GPa) aos 3 dias de idade, com diferentes relações a/c.

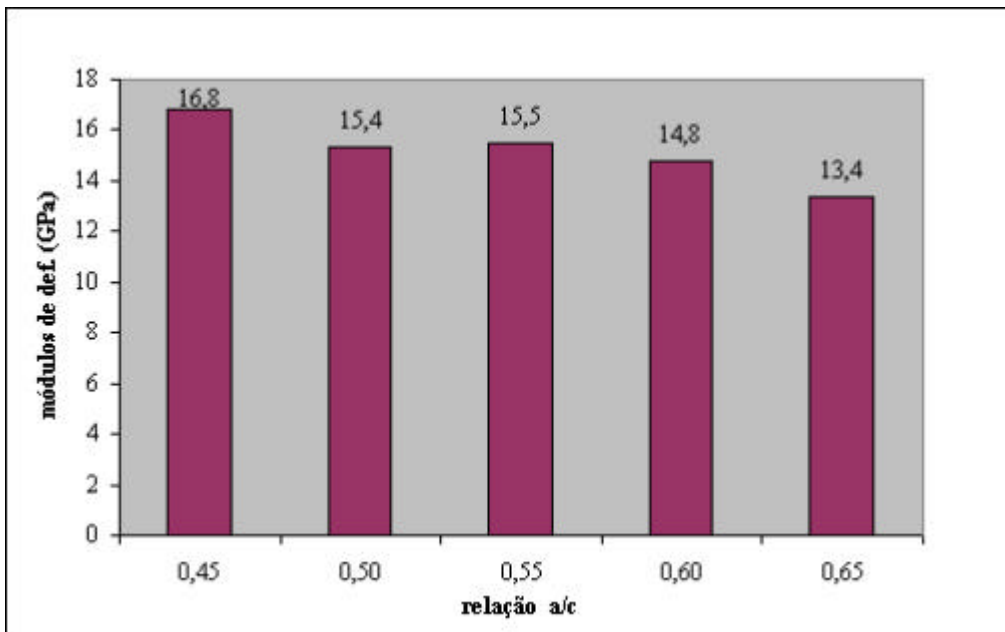


FIGURA 3.8 – Módulos de Deformação (GPa) aos 7 dias de idade, com diferentes relações a/c.

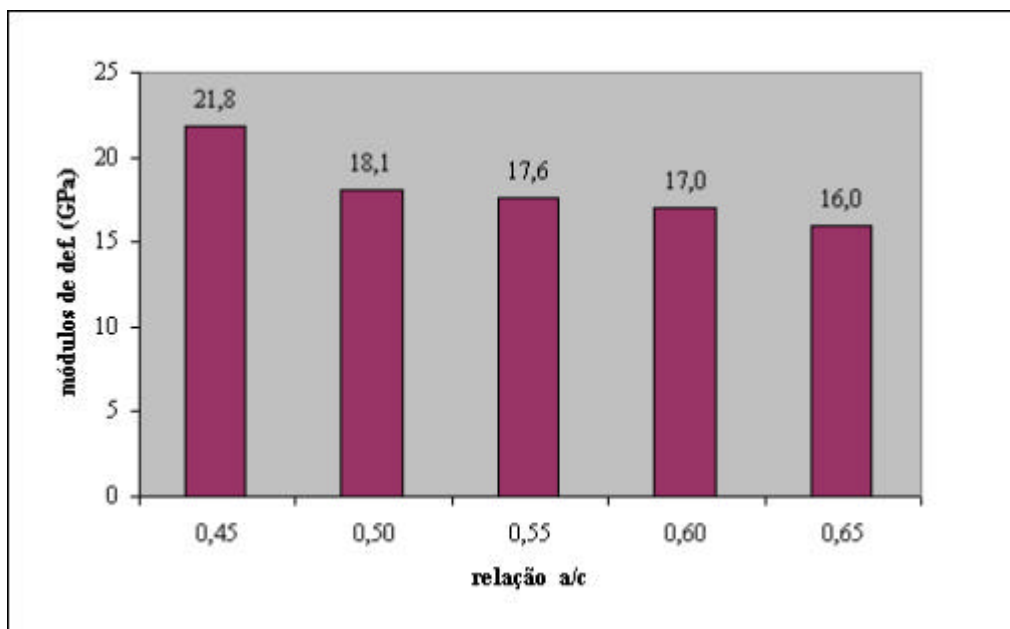


FIGURA 3.9 - Módulos de Deformação (GPa) aos 14 dias de idade, com diferentes relações a/c.

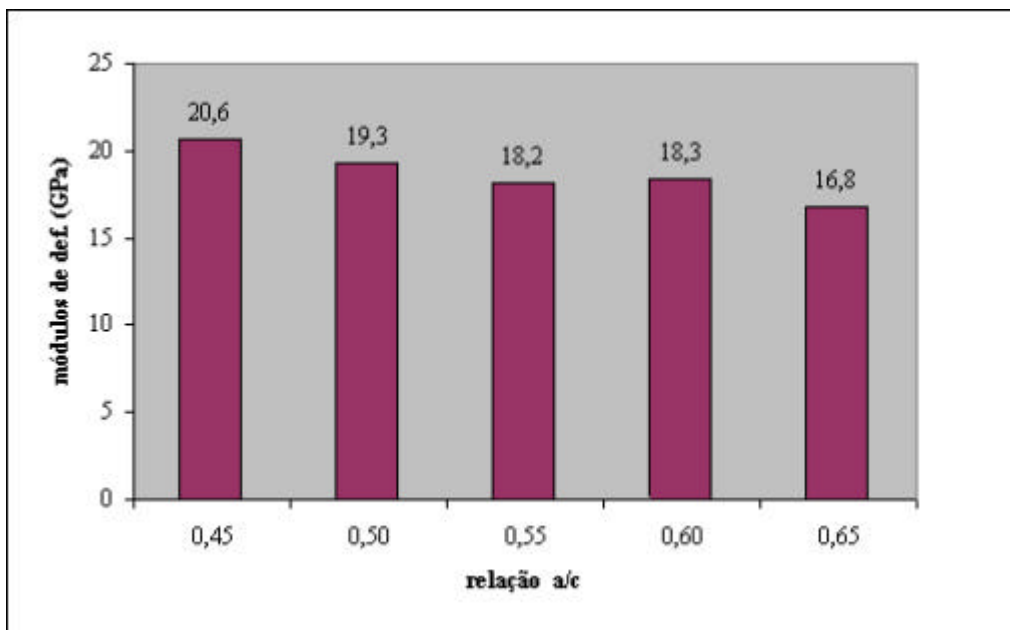


FIGURA 3.10 - Módulos de Deformação (GPa) aos 28 dias de idade, nas diferentes relações a/c.

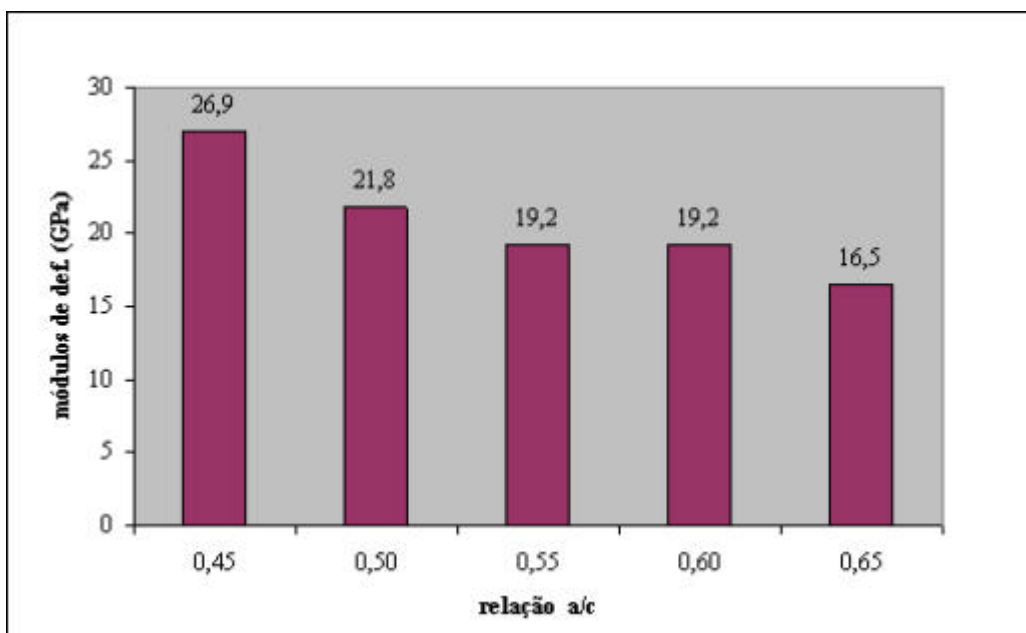


FIGURA 3.11 - Módulos de Deformação (GPa) aos 56 dias de idade, com diferentes relações a/c.

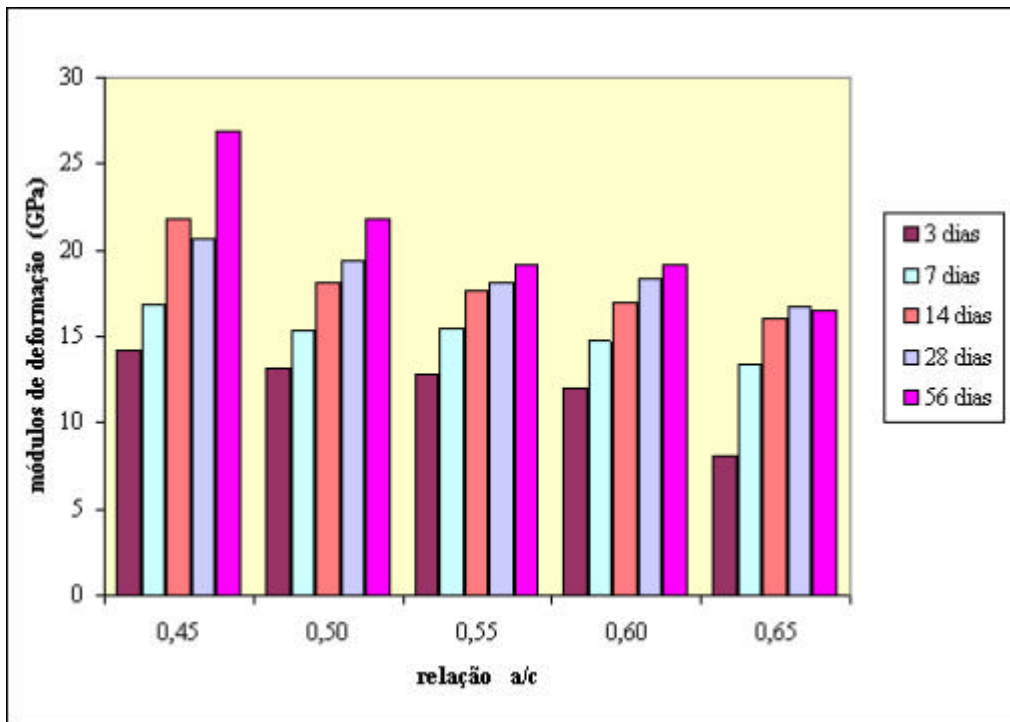
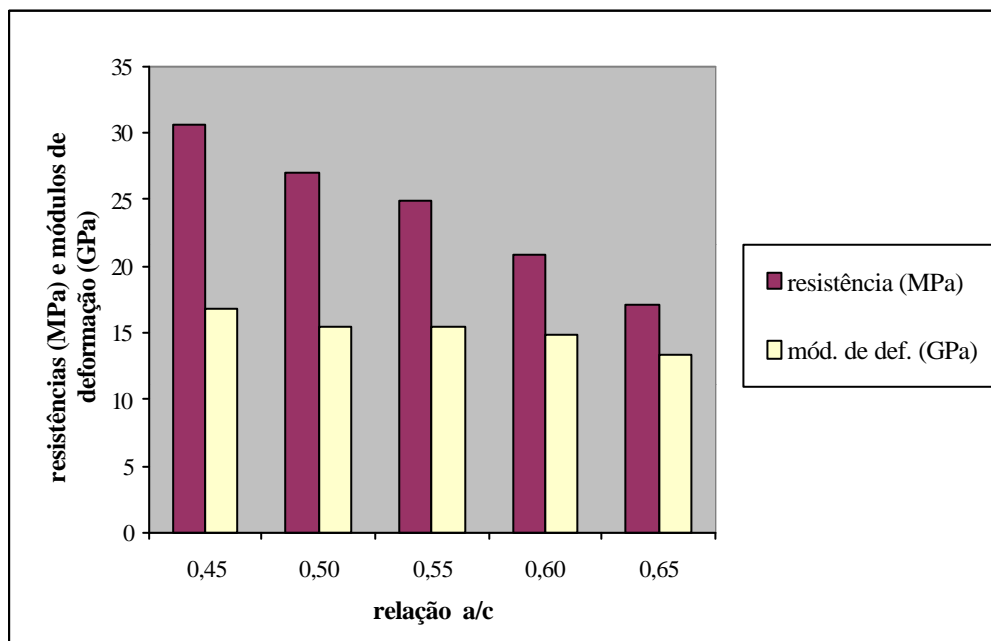


FIGURA 3.12 – Módulos de Deformação (GPa) nas diversas idades e com diferentes



relações a/c.

FIGURA 3.13 – Resistências à Compressão (MPa) e Módulos de Deformação (GPa), aos 3 dias de idade e com diferentes relações a/c.

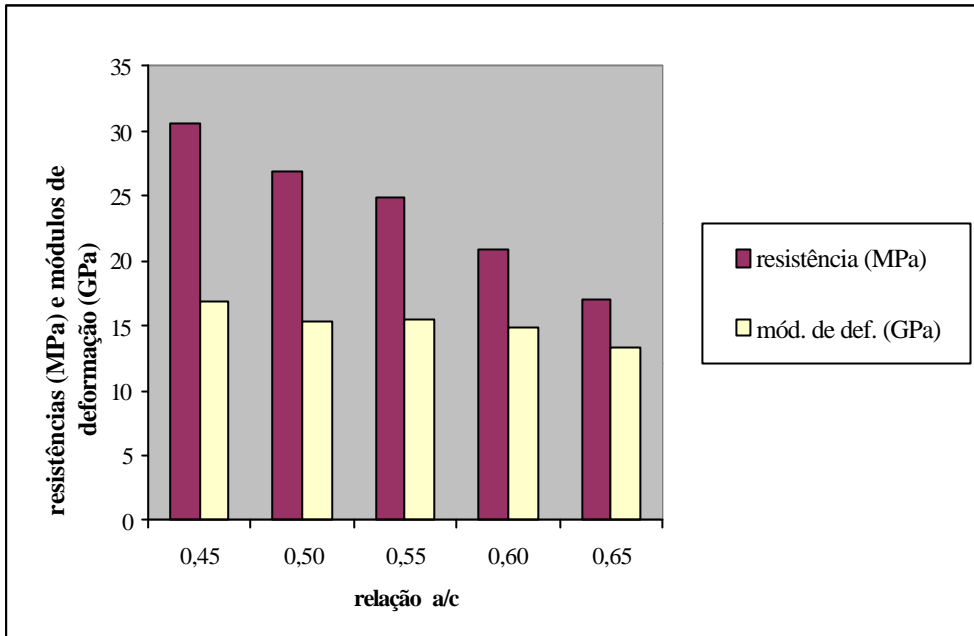


FIGURA 3.14 – Resistências à Compressão (MPa) e Módulos de Deformação (GPa), aos 7 dias de idade e com diferentes relações a/c.

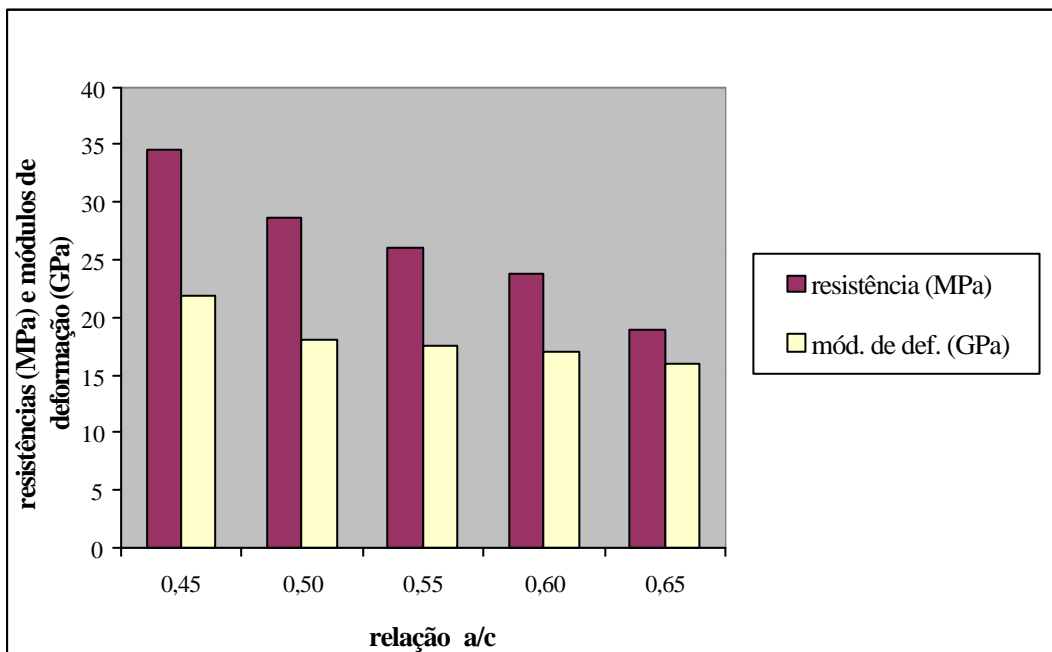


FIGURA 3.15 – Resistências à Compressão (MPa) e Módulos de Deformação (GPa), aos 14 dias de idade e com diferentes relações a/c.

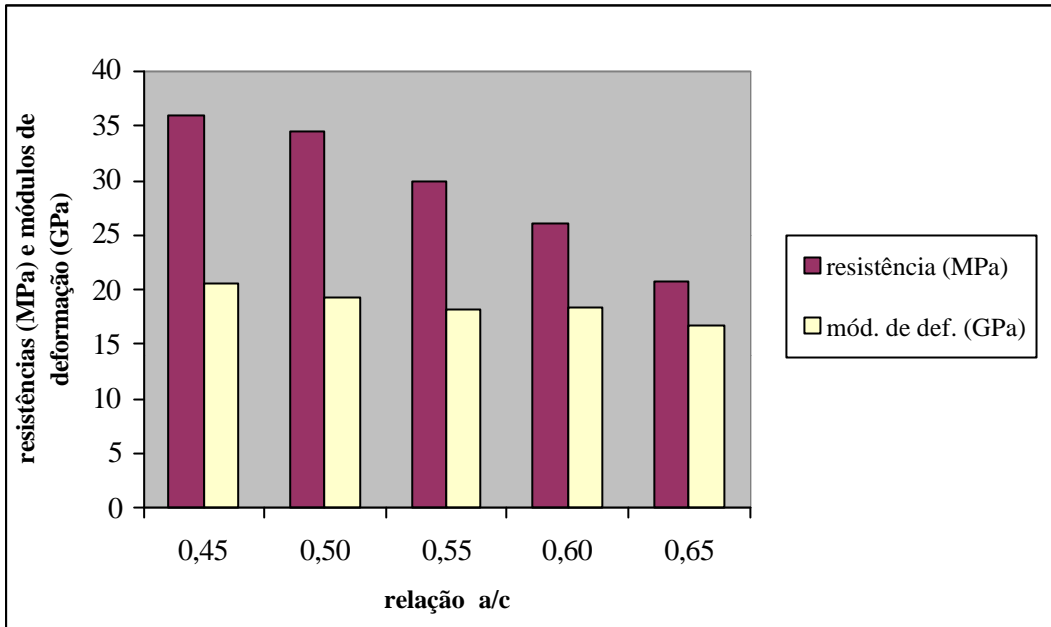


FIGURA 3.16 – Resistências à Compressão (MPa) e Módulos de Deformação (GPa), aos 28 dias de idade com diferentes relações a/c.

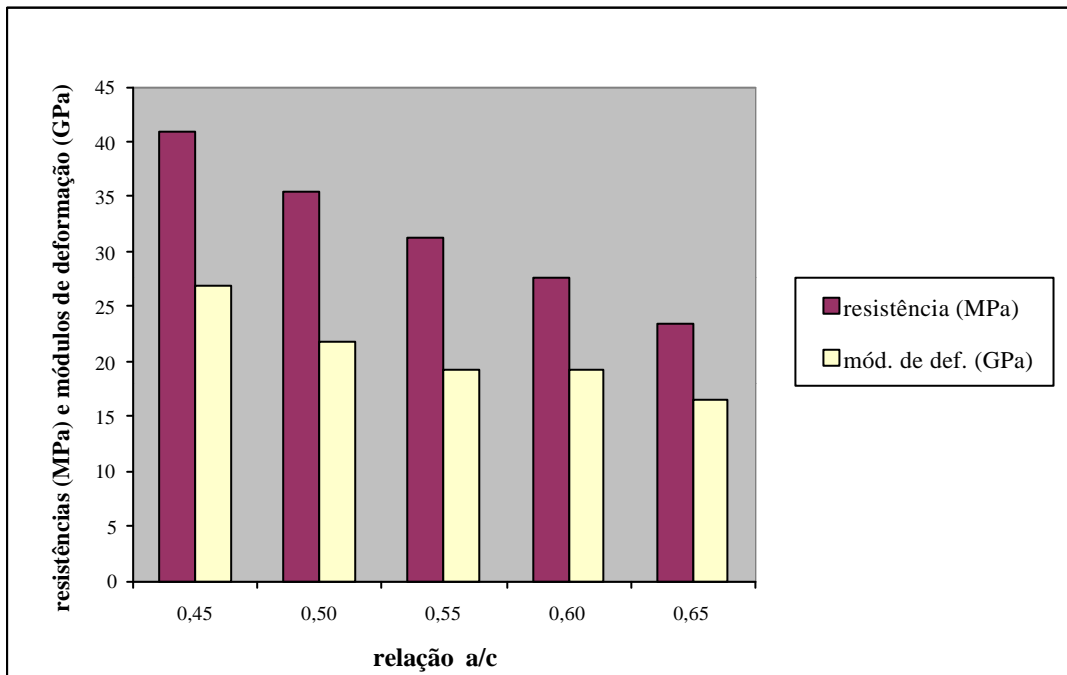


FIGURA 3.17 – Resistências à Compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa), aos 56 dias de idade e com diferentes relações a/c.

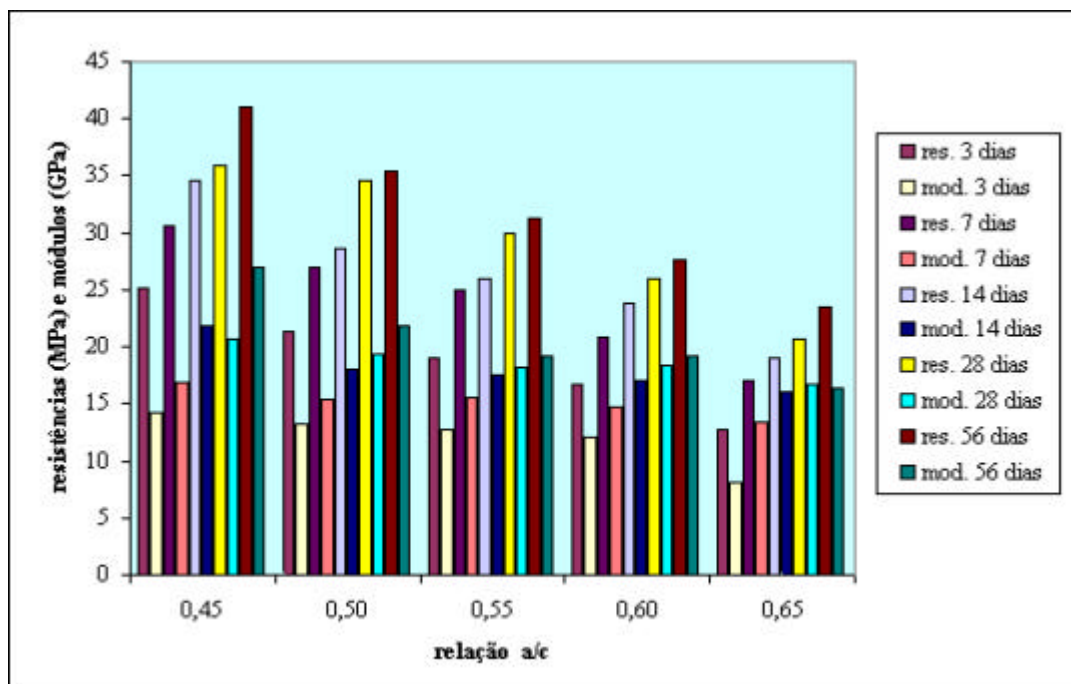


FIGURA 3.18 – Resistências à Compressão (MPa) e Módulos de deformação (GPa), Nas diversas idades e com diferentes relações a/c.

3.5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os procedimentos adotados neste estudo foram no sentido de determinar o módulo de deformação estático, tendo sido os corpos-de-prova submetidos a carregamento de compressão uniaxial. Assim obteve-se a medida das deformações instantâneas e ao se relaciona-las às tensões aplicadas obteve-se o módulo de deformação.

Analisando a Fig. 3.19 verifica-se um crescimento das resistências à compressão com o aumento das idades e ainda um decréscimo, à medida que se aumenta a relação água/cimento.

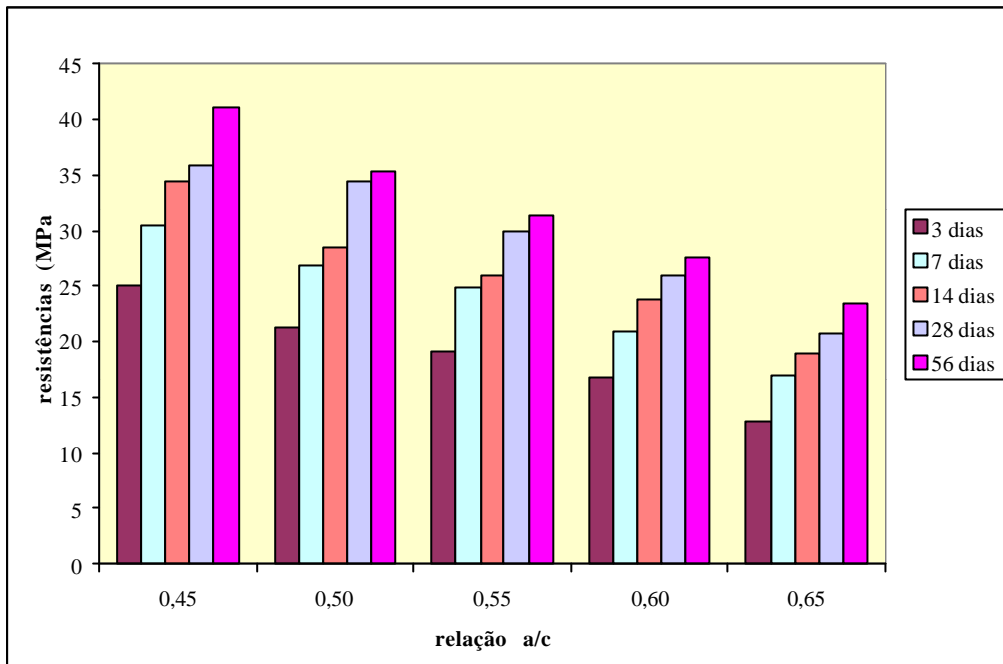


FIGURA 3.19 – Resistências à compressão (MPa) nas diversas idades e com diferentes relações a/c.

A Fig. 3.20 mostra o crescimento do módulo de deformação com o aumento das idades, mais acentuadamente nas relações água/cimento menores. Nas relações a/c maiores nota-se um crescimento menor, nas maiores idades, na mesma relação água/cimento.

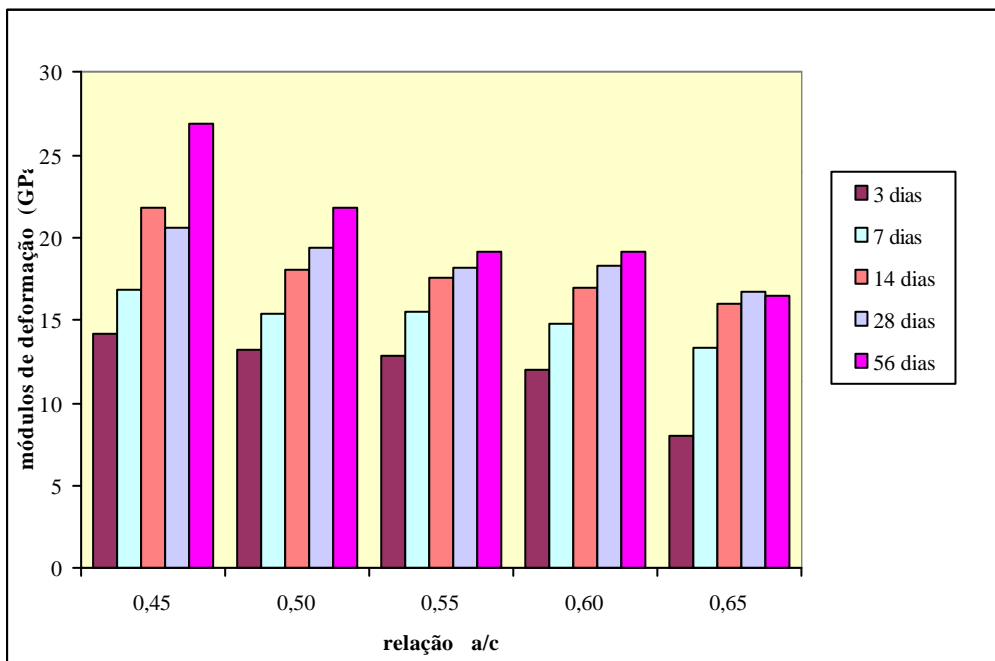


FIGURA 3.20 – Módulos de deformação (GPa) nas diversas idades e com diferentes relações a/c.

Pela análise das figuras que relacionam resistências à compressão e módulos de deformação (Fig. 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17) verifica-se que à medida que a resistência à compressão diminui, o módulo de deformação também diminui, com o aumento das relações a/c, embora em termos percentuais a diminuição seja menos acentuada.

A Fig. 3.21 relaciona as resistências à compressão com os módulos de deformação nas diversas idades e diferentes relações água/cimento. Avaliando os resultados mostrados pode-se visualizar de maneira global as considerações feitas anteriormente.

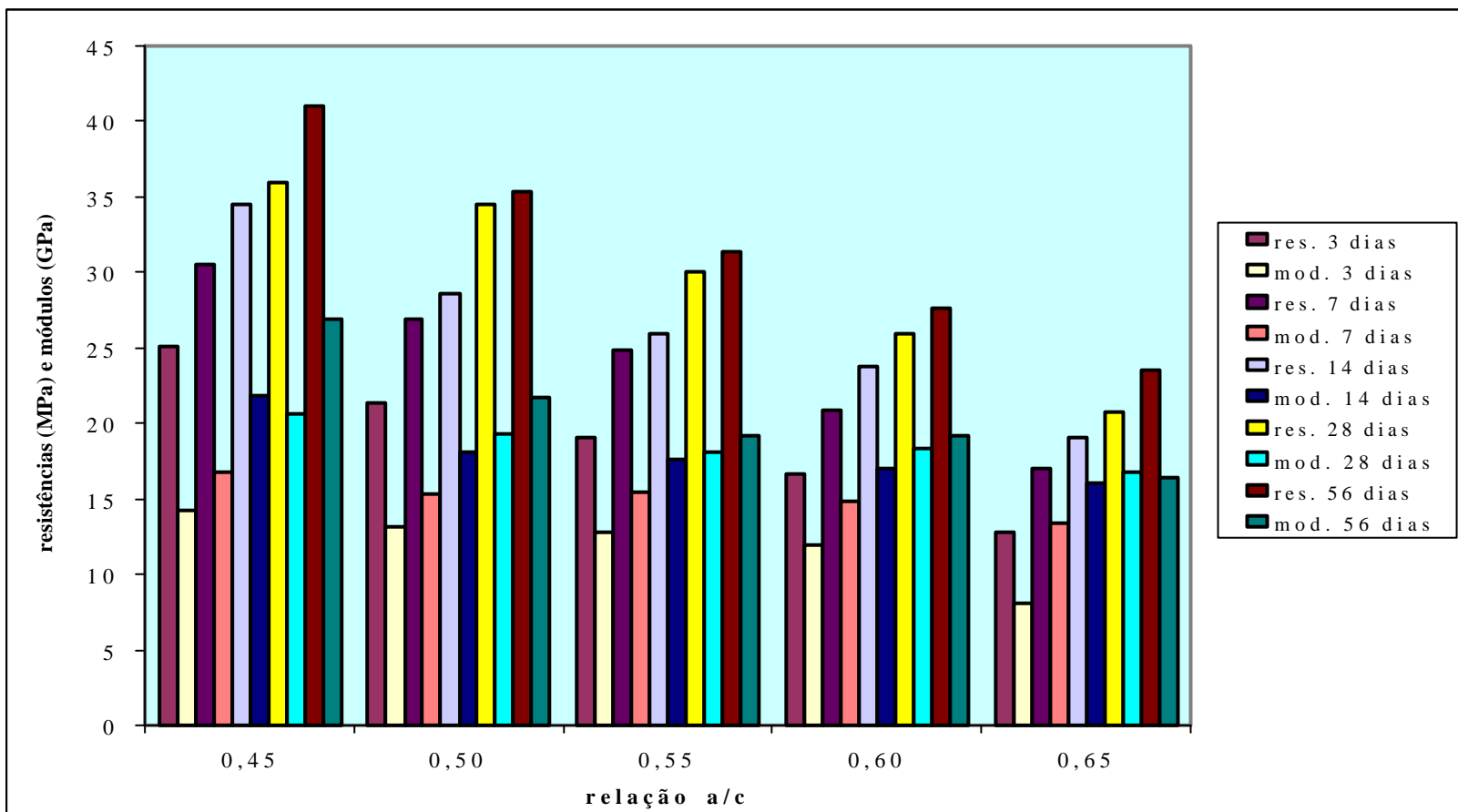


FIGURA 3.21 – Resistências (MPa) e Módulos de deformação (GPa), nas diversas idades e nas diferentes relações a/c.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores dos módulos de deformações usados nos cálculos para projetos de estruturas de concreto, são estimados à partir de expressões empíricas, que pressupõem dependência direta entre os mesmos e a resistência e densidade do concreto. Este pressuposto faz sentido já que o comportamento tensão-deformação do agregado, da matriz da pasta de cimento e da zona de transição, são determinados por suas resistências individuais, que por sua vez estão relacionados à resistência final do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Neste trabalho, para as resistências à compressão obteve-se um comportamento bastante homogêneo quanto ao crescimento das mesmas em relação às idades, podendo assim fazer uma projeção da sua evolução com a idade. Para os módulos de deformação têm-se valores menos homogêneos, mas que, mesmo assim, permitem projetar-se suas evoluções com as idades. Para as menores idades e relações água/cimento maiores os resultados obtidos, apesar de sistemáticos e consistentes, estão muito baixos. Desta forma conclui-se que apesar de as resistências à compressão apresentarem valores que podem satisfazer as condições do cálculo estrutural nos ensaios realizados, o mesmo não acontece com os resultados dos módulos de deformação.

Pela avaliação dos resultados constantes nos gráficos de resistências à compressão e de módulos de deformação nas diversas idades e nas diferentes relações água-cimento, conclui-se que os mesmos devem ser considerados como critérios inter-relacionados e complementares, para procedimentos a serem adotados no descimbramento de peças de concreto.

Cuidados especiais devem ser reservados também para as variáveis que podem controlar a resistência à compressão e o módulo de deformação do concreto de forma diferente, tais como, a porosidade do agregado graúdo, da matriz da pasta de cimento e da zona de transição, estado de umidade das peças e as condições de carregamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. D. **Manual de tecnologia do concreto**. 5^a ed. Goiânia, Editora da UFG, 1993.
- ALVES, J. D. **Materiais de construção**. 7^a ed. Goiânia, Editora da UFG, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-05732-1991- **Cimento Portland comum**. São Paulo, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11578-1991-**Cimento Portland composto**. São Paulo, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-05736-1991-**Cimento Portland pozolânico**. São Paulo, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-6118-1982-**Projeto e execução de concreto armado**. São Paulo, 1982
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-8522-1984-**Módulo de deformação e coeficiente de Poisson**. São Paulo, 1984.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. 1^a ed. São Paulo, Editora Pini, 1994.
- NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. 2^a ed. Londres, Pitman Publishing, 1973.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 11^a ed. Porto Alegre, Editora Globo, 1987.
- SOBRAL, H. S. **Resistência mecânica e deformações no concreto**. São Paulo, ABCP, 1983.
- TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto de cimento Portland**. 1^a ed. São Paulo, Editora Pini: IBRACON, 1990.
- VASCONCELOS, A. G. **O concreto no Brasil**, 2^a ed. São Paulo, Pini, 1992. V. 1.