

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente
Construído

Eduardo Araújo Milagres

**RETRAÇÃO E SECAGEM DO CONCRETO:
ESTUDO DA RETRAÇÃO DO CONCRETO E O
APARECIMENTO DE PATOLOGIAS**

**Belo Horizonte,
2019**

EDUARDO ARAÚJO MILAGRES

**RETRAÇÃO E SECAGEM DO CONCRETO:
ESTUDO DA RETRAÇÃO DO CONCRETO E O
APARECIMENTO DE PATOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador(a): Professor Doutor José Eduardo de Aguiar

**Belo Horizonte,
2019**

M637r Milagres, Eduardo Araújo.
Retração e secagem do concreto [recurso eletrônico] : estudo da
retração do concreto e o aparecimento de patologias / Eduardo Araújo
Milagres. – 2019.
1 recurso online (54 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: José Eduardo de Aguiar.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de
Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais” .

Bibliografia: f. 52-54.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Concreto armado. 3. Patologia de construção.
I. Aguiar, José Eduardo de. II. Universidade Federal de Minas Gerais.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: EDUARDO ARAÚJO MILAGRES

MATRÍCULA: 2016711974

RESULTADO

Aos 23 dias do mês de abril de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"RETRAÇÃO E SECAGEM DO CONCRETO - ESTUDO DA RETRAÇÃO DO CONCRETO E O APARECIMENTO DE PATOLOGIAS"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 8,5

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. José Eduardo de Aguiar

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Sidneia Eliane Campos Ribeiro

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 23 de abril de 2019

Coordenador do Curso
Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior
Especialista do Curso

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, fonte de toda sabedoria, aos familiares que sempre nos apoiam e, também, a todos os colegas de profissão e professores, que dividem os conhecimentos nessa trajetória percorrida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar e me proteger.

Agradeço aos meus pais, Hernane e Ana, por todo o apoio concedido durante toda a vida, e nessa longa trajetória. Vocês me deram a base para que tudo isso fosse possível. Essa vitória também é vitória de vocês. Obrigado por tudo.

À minha irmã Karina, pela ajuda, companheirismo e confiança que sempre me deu durante toda a minha jornada, pela força, motivação e conselhos.

A minha namorada Gabriela pelo amor, carinho e companheirismo, apoio incondicional e me incentivar a jamais desistir.

Ao meu amigo Rodrigo César (PA) pela ajuda e incentivo.

A todos os colegas de profissão e amigos que dividem os conhecimentos nessa trajetória percorrida.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial meu orientador José Eduardo. Agradeço também a minha instituição por ter me dado à chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

RESUMO

Sendo as estruturas de concreto armado o método construtivo mais utilizado no Brasil, tem-se um vasto número de edificações brasileiras que apresentam patologias. Este trabalho visa analisar as patologias mais frequentes em estruturas de concreto armado, focando na patologia ocasionada pela retração do concreto, as principais características desta patologia, e o métodos utilizados para saná-la, com bases em publicações e trabalhos científicos, além de experiências de profissionais especialistas no tema a fim de contribuir para o conhecimento técnico em relação às patologias nas estruturas de concreto armado. As manifestações patológicas trazem transtornos não só para o cliente, mas também para o construtor, pois os custos de uma eventual intervenção posterior a uma entrega de obra são maiores se comparados aos custos de uma execução bem-feita. Desta forma, este trabalho procurou identificar as patologias mais comuns em estruturas de concreto armado, passando pelas fissuras lineares provenientes de retrações do concreto, de corrosões de armaduras e de movimentações por variações térmicas.

Palavras-chaves: Concreto armado. Patologias. Retração do concreto.

ABSTRACT

Since the reinforced concrete structures are the most used constructive method in Brazil, there are a large number of Brazilian buildings that present pathologies. This work aims to analyze the most frequent pathologies in reinforced concrete structures, focusing on the pathology caused by concrete retraction, the main features of this pathology, and the methods used to cure it, based on publications and scientific works, as well as experiences of professionals specialized in the subject in order to contribute to the technical knowledge regarding the pathologies in the structures of reinforced concrete. The pathological manifestations cause inconveniences not only for the client, but also for the constructor, since the costs of an eventual intervention after a work delivery are greater compared to the costs of a well-executed execution. In this way, this work sought to identify the most common pathologies in reinforced concrete structures, passing through linear cracks arising from concrete retraction, reinforcement corrosion and thermal variations.

Keywords: Reinforced concrete. Pathologies. Retraction of concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Agregados: miúdo (areia, esq.) e graúdo (brita, dir.).....	22
Figura 2 - Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras.....	27
Figura 3 - Gráfico que relaciona as principais causas de patologias.....	29
Figura 4 - Prédio em desabamento no Rio de Janeiro, decorrente de más práticas construtivas e materiais de baixa qualidade utilizados.	32
Figura 5 - Tipos e incidência de fissuras em concreto armado.	34
Figura 6 - Fissura no concreto por retração hidráulica.	34
Figura 7 - Exemplo de caso de retração térmica do concreto.	35
Figura 8 - Trincas de flexão em elementos de concreto armado.....	36
Figura 9 - Trincas de cisalhamento em viga.....	36
Figura 10 - Trincas de compressão.....	37
Figura 11 - Fissuras por punção.....	37
Figura 12 - Trinca de cisalhamento no painel, devido recalque diferencial.	38
Figura 13 - Trincas de flexão devido ao carregamento desbalanceado em suas fundações contínuas por expansão do solo.	38
Figura 14 - Penetração do agente através da porosidade do concreto.....	39
Figura 15 - Típica forma de fissuras em viga de concreto, particularmente nas posições dos estribos. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.	39
Figura 16 - Típica forma de fissuras e lascamento em viga de concreto, paralela às armaduras inferiores. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.	39
Figura 17 - Típica forma de fissuras e lascamento em pilar de concreto paralelamente às armaduras verticais. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.	40
Figura 18 - Fissurações típicas de retração, em uma estrutura de concreto hipotética.....	42
Figura 19 - Características da retração hidráulica ou por secagem.	43
Figura 20 - Coeficiente de expansão térmica para pasta de cimento e concretos.....	44

Figura 21 - Influência da geometria da peça na retração por secagem, onde h_0 é a espessura fictícia.....	45
Figura 22 - Teor de cimento influenciando a retração.....	46
Figura 23 - Umidade relativa do ar como fator influente na retração por secagem.....	46
Figura 24 - Destacamento provocado pelo abatimento da alvenaria recém construída.....	49
Figura 25 - Fissuras de retração em concreto armado, causadas pela elevadíssima quantidade de cimento e/ou relação água/cimento do concreto.	49

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 - Quantidade de óxidos do cimento após sua elaboração Petrucci (1993).....	19
Tabela 2 - Classificação dos tipos de cimento Portland no Brasil	20
Tabela 3 - Tipos de cimento fabricados no Brasil.....	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 METODOLOGIA	15
1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	15
2. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	16
2.1 Conceituação	16
2.2 Normas técnicas	17
2.3 Constituição do concreto.....	17
2.3.1 O cimento Portland.....	17
2.3.2 Agregados	20
2.3.3 Água	23
2.3.4 A pasta	23
2.3.5 Vantagens e desvantagens do concreto armado.....	24
3. PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO	25
3.1 Vida útil de uma estrutura de concreto armado.....	26
3.2 Patologias – causas e origens.....	28
3.2.1 Falhas na concepção do projeto.....	29
3.2.2 Má qualidade dos materiais	30
3.2.3 Erros na execução.....	30
3.2.4 Utilização indevida e ausência de manutenção.....	31
4. FISSURAS	33
4.1 Conceito	33
4.2 Fissuras devido a retração hidráulica.....	34
4.3 Fissuras causadas por movimentação térmica	34
4.4 Fissuras causadas por carregamentos.....	36
4.5 Fissuras causadas por recalques de fundação	37
4.6 Fissuras causadas pela corrosão de armaduras.....	38
5 RETRAÇÃO DO CONCRETO	41
5.1 Tipos de retração do concreto.....	42
5.1.1 Retração plástica.....	42
5.1.2 Retração hidráulica ou por secagem.....	43
5.1.3 Retração autógena.....	43
5.1.4 Retração térmica	44
6 MÉTODOS PARA EVITAR A RETRAÇÃO DO CONCRETO	50

6.1	Redução através da cura	50
6.2	Redução através do tipo de cimento	51
6.3	Utilização de redutores de tensão superficial	51
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

1. INTRODUÇÃO

O homem vem utilizando materiais naturais como elementos constituintes da construção civil desde o começo da civilização. Nos modelos construtivos atuais procura-se construir com o máximo de economia, buscando novas técnicas e materiais para que ocorra uma maior produtividade na realização de edificações com um custo menor, diminuindo assim os controles de mão de obra e materiais. O aumento da produtividade ocasiona um aumento da probabilidade de ocorrência de defeitos, esses defeitos são gerados pela falta de conhecimento na utilização de determinados materiais e das diversas técnicas construtivas realizadas de maneiras equivocadas. (SOUZA e RIPPER, 1998).

A patologia construtiva é um tema que vem ganhando importância com o passar dos anos, trata-se do estudo que avalia as origens, sintomas e consequências apresentados em construções. Os estudos das patologias construtivas se iniciaram com os elementos estruturais de uma edificação, por sua importância em relação à segurança da edificação e posteriormente a preocupação se estendeu aos demais elementos construtivos como revestimentos paredes e coberturas.

A secagem do concreto é sempre acompanhada por uma retração significativa, pois o concreto tende a perder água para o ambiente. Retração por secagem nada mais é do que a diminuição do volume aparente do concreto, também é conhecida como retração hidráulica. (ANAPRE, 2009).

Este trabalho visa analisar as patologias mais frequentes em estruturas de concreto armado, focando na patologia ocasionada pela retração do concreto, as principais características desta patologia, e os métodos utilizados para saná-la, com bases em publicações e trabalhos científicos, além de experiências de profissionais especialistas no tema.

O objetivo geral deste trabalho é estudar das patologias mais ocorrentes em estruturas de concreto armado, com foco na patologia ocorrida pela retração do concreto.

Como objetivos específicos este trabalho visa descrever os tipos de patologias mais frequentes, descrevendo técnicas de reparo e os materiais empregados, a fim de contribuir para o conhecimento técnico em relação às patologias nas estruturas de concreto armado.

1.1 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em um estudo bibliográfico realizado através de pesquisas em livros, teses, dissertações sobre patologias mais frequentes causadas do concreto armado.

1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

O trabalho se divide em 7 títulos:

O título 1 – Introdução sobre o tema, os objetivos e a contextualização para o desenvolvimento do conteúdo.

O título 2 - A Fundamentação Teórica, versa sobre o Orçamento, onde são descritos conceitos e as principais normas técnicas, a constituição do concreto e as principais vantagens e desvantagens desse método construtivo.

O título 3 - Patologias das edificações de concreto armado, é apresentado as principais patologias existentes em estruturas de concreto armado, os conceitos, as causas dessas patologias.

O título 4 –Fissuras: são apresentados os conceitos e as principais formas de ocorrências nas estruturas de concreto armado.

O título 5–Retração do concreto: sãoapresentados o conceito, forma de propagação, tipos de retração do concreto.

O título 6 - Métodos para evitar a retração do concreto: são listados os métodos para prevenir a retração do concreto em estruturas de concreto armado.

E para finalizar no título 7 - Conclusões, temos a conclusão do trabalho, junto com as ponderações sobre o desenvolvimento do tema.

2. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.1 Conceituação

O concreto (uma mistura feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água) por si só, é um material que resiste às tensões de compressão de uma estrutura. Possui uma baixa resistência à tração. Para solucionar este problema, são adicionadas ao sistema as barras de aço, que compõem a armadura da estrutura, fazendo com que o conjunto concreto mais armadura suportem as duas tensões: compressão e tração. O termo “concreto armado” é, portanto, o somatório destes dois materiais (concreto e barras de aço) que, trabalhando juntos, conseguem dar estabilidade às estruturas.

Bastos(2006) define concreto armado como sendo “a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”

A NBR 6118 define o que são elementos de concreto armado: “são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Esta norma também define o conceito de armadura passiva: “qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada”. Portanto, a armadura do concreto armado é chamada “armadura passiva”, o que significa que as tensões e deformações nela aplicadas devem-se exclusivamente aos carregamentos aplicados nas peças onde está inserida.

2.2 Normas técnicas

A normatização brasileira, nos moldes que é conhecido hoje, foi criada no ano de 1940, nomeada ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) com a primeira norma NB-1. Atualmente são várias as normas existentes que regulam os mais diversos procedimentos. Tratando-se de concreto armado, podemos destacar algumas normas técnicas principais:

- a) NBR 6118 (2003): Projeto de estruturas de concreto - Procedimento;
- b) NBR 14931 (2003): Execução de estruturas de concreto –Procedimento;
- c) NBR 6120 (1980): Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- d) NBR 6122 (1988): Forças devido ao vento em edificações - Procedimento;
- e) NBR 8681 (2003): Ações e segurança nas estruturas –Procedimento;
- f) NBR 9607 (1986): Provas de carga em estruturas de concreto armado e protendido;
- g) NBR 7480 (1996): Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado;
- h) NBR 8548 (1984): Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda -Determinação da resistência à tração;
- i) NBR 12655 (1996): Concreto -Preparo, controle e recebimento;
- j) NBR 7211 (2005): Agregados para concreto –Especificação;
- k) NBR 12654 (1992): Controle tecnológico de materiais componentes do concreto;
- l) NBR 7191 (1982): Execução de desenhos para obras de concreto simples ou arma

2.3 Constituição do concreto

2.3.1 O cimento Portland

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com as

pedras de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhava na cor e na dureza das pedras de Portland, ele registrou sob esse nome sua patente (ABCP, 2002).

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer e com adição de gesso. O clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. A mistura formada atravessa então um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1450°C. O intenso calor transforma a mistura em um novo material, denominado clínquer, que se apresenta sob a forma de pelotas. Na saída do forno o clínquer, ainda incandescente, é bruscamente resfriado até a temperatura de 70°C para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó.

O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade (Petrucci, 1975).

Durante a fase de moagem são efetuadas as adições de outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer, possibilitam a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland, disponíveis hoje no mercado. Essas outras matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. O gesso tem como função básica controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer moído, quando este é misturado com água. Caso não se adicionasse o gesso à moagem do clínquer, o cimento, quando entrasse em contato com a água, endureceria quase que instantaneamente, o que inviabilizaria seu uso nas obras. Por isso, o gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento Portland. A quantidade adicionada é pequena: em geral, 3% de gesso para 97% de clínquer, em massa (PETRUCCI, 1993).

Após o processo de produção o cimento obtém os compostos químicos citados na Tabela 1.

A influência dos compostos químicos resultantes sobre as propriedades do cimento pode ser observada sob duas formas. A primeira delas, a resistência à compressão, pode ser observada nas seguintes formas:

- C3S – garante a resistência nos primeiros dias de idade;
- C2S – é responsável pelo aumento gradativo da resistência;
- C3A e C4AF – apresentam pouca influência na resistência à compressão.

A segunda, a durabilidade, que é influenciada por:

- C3A e C4AF – quanto maior o teor, menor a durabilidade perante agentes nocivos.
- C3A – quanto maior o teor, menor a resistência às águas sulfatadas e do mar.
- C2S – quanto maior o teor, maior a resistência às águas sulfatadas e do mar.
- C3A ou C3S – quanto maior, maior o aumento do calor de hidratação.

Tabela 1 - Quantidade de óxidos do cimento após sua elaboração Petrucci (1993)

Compostos químicos	Composição (%)
CaO	61 a 67
SiO ₂	20 a 23
Al ₂ O ₃	4,5 a 7,0
Fe ₂ O ₃	2 a 3,5
MgO	0,8 a 6,0
SO ₃	1,0 a 2,3
Álcalis	0,3 a 1,5

Fonte: Petrucci (1993)

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, a ABNT classifica os cimentos Portland quanto a sua composição e quanto a sua resistência à compressão, com tempo de cura aos 28 dias, conforme exposto na tabela 2:

Tabela 2 - Classificação dos tipos de cimento Portland no Brasil

Tipo de cimento Portland	Denominação	Resistência mínima aos 28 dias de cura	Norma brasileira que regulamenta
CPI – 25	Comum	25	NBR 5732
CPI – 32	Comum	32	NBR 5732
CPI – 40	Comum	40	NBR 5732
CPI – S – 25	Comum com adição	25	NBR 5732
CPI – S – 32	Comum com adição	32	NBR 5732
CPI – S – 40	Comum com adição	40	NBR 5732
CPII – E – 25	Composto com escória	25	NBR 11578
CPII – Z – 32	Composto c/ pozolana	32	NBR 11578
CPII – F – 40	Composto com filler	40	NBR 11578
CPIII – 25	De alto forno	25	NBR 5735
CPIII – 32	De alto forno	32	NBR 5735
CPIII – 40	De alto forno	40	NBR 5735
CP IV – 25	Pozolânico	25	NBR 5736
CP IV – 32	Pozolânico	32	NBR 5736
CPV – ARI	Alta resistência inicial	34	NBR 5733
CPB – 25	Branco	25	NBR 12989
CPB – 32	Branco	32	NBR 12989
CPB – 40	Branco	40	NBR 12989

Fonte: (ABCP, 2002)

Segundo Bastos (2006), são classificados os cimentos produzidos no Brasil conforme seu nome técnico e sua identificação do tipo e classe conforme tabela 3.

2.3.2 Agregados

A NBR 9935 define agregado como “material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia”.

Os agregados são materiais pétreos, obtidos pela moagem de fragmentos de pedras que possuem propriedades adequadas, possuindo dimensões que variam entre 0,075mm à 152 mm. Atuam nas argamassas e concretos como elemento inerte, pois não sofrem alterações químicas quando da cura do composto (PETRUCCI, 1975).

A granulometria é a característica das medidas e formas dos grãos dos agregados. É realizada através de uma série de peneiras de aberturas com

malhas quadradas com diferentes dimensões livres. A NBR 7211 classifica os agregados quanto ao seu diâmetro (granulometria), como agregados miúdos, as areias naturais quartzosas de diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm e como agregados graúdos, as britas de diâmetros máximos superiores a 4,8 mm conforme mostrado nas Figuras 1.

Tabela 3 - Tipos de cimento fabricados no Brasil.

Nome técnico		Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum	Cimento portland comum	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento portland composto	Cimento portland composto com escória	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento portland composto com filler	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
Cimento portland de alto-forno		CP III-25 CP III-32 CP III-40
Cimento portland pozolânico		CP IV-25 CP IV-32
Cimento portland de alta resistência inicial		CP V-ARI
Cimento portland resistente a sulfatos		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS, etc.
Cimento portland de baixo calor de hidratação		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC, etc.
Cimento portland branco	Cimento portland branco estrutural	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento portland branco não estrutural	CPB
Cimento para poços petrolíferos		CPP - classe G

Fonte: BASTOS (2006)

Figura 1- Agregados: miúdo (areia, esq.) e graúdo (brita, dir.).



Fonte: MEHTA e MONTEIRO (2008)

A NBR 5734 especifica as aberturas de peneiras para a determinação da granulometria dos agregados. O processo consiste em peneirar uma amostra de peso determinado, verificando a quantidade retida (em gramas) em cada peneira com malhas diferentes.

As características físicas dos agregados são determinantes nas propriedades das argamassas e dos concretos, tornando-as mais trabalháveis com menor quantidade de água. Os grãos mais esféricos são os mais indicados, os lamelares são inadequados, pois aumentam a permeabilidade e dificultam a trabalhabilidade da argamassa. Alves (1987) afirma que se pode verificar esta alteração realizando um pequeno ensaio comparativo entre uma argamassa de grãos de formatos esféricos e outra com grãos lamelares com mesma granulometria e mesma massa específica. A amostra de grãos lamelares apresenta menor peso unitário, decorrente do maior vazio entre os grãos.

Kloss (1991) enumera fatores tais quais: a resistência a esforços mecânicos e a durabilidade; a verificação de substâncias nocivas como os torrões de argila e materiais pulverulentos; as impurezas orgânicas; a reatividade potencial que existe em alguns agregados através de substâncias como: a opala, tridimita, cristobalita e zeólitas, que reagem com os hidróxidos alcalinos libertados pelo cimento durante a sua hidratação, causando expansão e desagregação de algumas argamassas.

2.3.3 Água

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas do cimento, chamadas reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Tem também a função de lubrificar as demais partículas para proporcionar o manuseio do concreto. Normalmente a água potável é a indicada para a confecção dos concretos.

“A água de mistura do concreto é, possivelmente, o seu componente menos dispendioso, mas também é, seguramente, um dos mais importantes” (SOUZA e RIPPER, 1998).

O item 8.1.3 da NBR 6118 (2016) especifica os teores máximos toleráveis de substâncias nocivas para a água. A água do mar não é recomendada. Pode levar a resistências iniciais mais elevadas que os concretos normais, mas as resistências finais são sempre menores, além da possibilidade de corrosão da armadura. As águas minerais também não são recomendadas.

2.3.4 A pasta

Os aglomerantes são misturados à água para formar a pasta, que ao endurecer apresenta retração excessiva, devido à evaporação da água da mistura. Quando misturamos a pasta a um agregado miúdo, obtêm-se o que se chama de argamassa, formada pela mistura de um material ativo e de um inerte. O material ativo tem como objetivo envolver os grãos do material inerte, que após a cura e a secagem do conjunto em estado fresco, forma a argamassa endurecida. Além de baratear o custo da argamassa, os agregados melhoram seu desempenho, trazendo vantagens como a diminuição da retração por secagem, o aumento da resistência mecânica e, no caso de argamassas de cal, facilitam a recarbonatação do hidróxido de cálcio, permitindo a passagem do anidrido carbônico do ar e, conseqüentemente, auxiliando na solidificação do conjunto (PETRUCCI, 1975).

2.3.5 Vantagens e desvantagens do concreto armado

Como todo procedimento ou material empregado, a utilização do concreto armado nas obras possui vantagens e desvantagens. Bastos (2006) cita as vantagens no seu uso:

- Economia: especialmente no Brasil, os seus componentes são facilmente encontrados e relativamente a baixo custo;
- Conservação: em geral, o concreto apresenta boa durabilidade, desde que seja utilizado com a dosagem correta. É muito importante a execução de cobrimentos mínimos para as armaduras;
- Adaptabilidade: favorece à arquitetura pela sua fácil modelagem;
- Rapidez de construção: a execução e o recobrimento são relativamente rápidos;
- Segurança contra o fogo: é assegurado caso haja um cobrimento mínimo adequado;
- Impermeabilidade: é assegurado desde que dosado e executado de forma correta;
- Resistência a choques e vibrações: os problemas de desgaste mecânico e fadiga são menores.

O concreto armado possui algumas sérias desvantagens, sendo as principais:

- Peso próprio elevado, relativamente à resistência;
- Reformas e adaptações são de difícil execução;
- Fissuração (existe, ocorre e deve ser controlada);
- Baixo grau de proteção térmica, transmite calor e som

3. PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO

O concreto possui a mais complexa microestrutura de todos os materiais estruturais. É um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo de aglomerante, dentro do qual são mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados (METHA e MONTEIRO, 2008)

Por volta dos anos 1900, começaram a surgir às primeiras construções em concreto armado em solo brasileiro. As primeiras aplicações que se tem notícia foi a de execução de casas de habitação em Copacabana, no Rio de Janeiro (VASCONCELOS, 1992).

O termo “patologia”, no contexto da Construção Civil, está alinhado com a definição encontrada na Medicina, na qual estudam-se as origens, os sintomas e a natureza das doenças. Patologias são todas as manifestações cuja ocorrência no ciclo de vida da edificação venha prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes (subsistemas, elementos e componentes).

Para Verçosa (1991) a patologia das edificações se resume ao estudo da identificação das causas e dos efeitos de problemas encontrados nas edificações, elaborando seu diagnóstico e correção. Helene (1993), descreve a patologia como sendo o estudo dos sintomas, dos mecanismos, das causas e das origens dos defeitos das construções civis, ou seja, como o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Por muito tempo o concreto foi considerado um material extremamente durável, devido a algumas obras muito antigas ainda encontrarem-se em bom estado, porém a deterioração precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias do concreto (BRANDÃO e PINHEIRO, 1999).

Para Piancastelli (1997), sendo o concreto armado um material não inerte ele se sujeita a alterações ao longo do tempo devido a interações entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água e aço), interações entre

esses e agentes externos (ácidos, bases, sais, gases e outros) e com materiais que lhe são adicionados (aditivos e adições minerais).

Um diagnóstico adequado de uma manifestação patológica deve indicar em que etapa do processo construtivo teve origem o fenômeno que desencadeou o problema, defende Helene (1993). A origem pode decorrer da falha de projeto (projetista), da má qualidade dos materiais empregados na construção (fabricante), da falha na etapa de construção (mão-de-obra e fiscalização), e da falha na etapa de utilização da edificação por uso inadequado ou falta de manutenção (usuários).

A causa das manifestações patológicas, de acordo com Helene (1993), está relacionada a vários fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias. Merecem destaque cargas excessivas, variação de umidades, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos entre outros.

Segundo Thomas (1992) e Helene (1993), os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, podendo até ser gerado novos problemas em decorrência dos primeiros.

Thomaz (1992), Helene (1993) e Cincotto (1988) compartilham de ideias afins no que se refere às manifestações patológicas mais comuns encontradas nos edifícios: todos afirmam ser as provocadas pelas deformações de estruturas e componentes da construção, pela ação de umidades e por agentes biológicos.

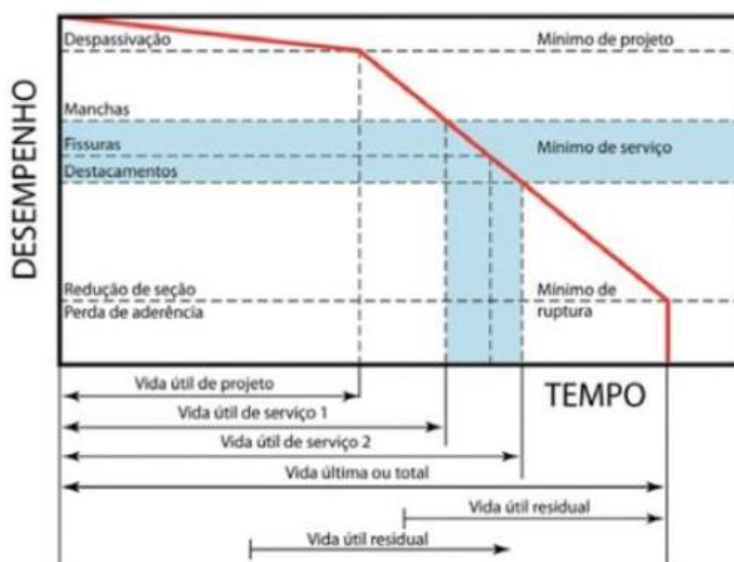
3.1 Vida útil de uma estrutura de concreto armado

Segundo a ISO 13823 entende-se por vida útil “o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”. Observe-se que essa definição engloba o conceito de desempenho formulado pela ISO 6241 e que só recentemente, em 2010, foi introduzido na normalização brasileira através da NBR 15575.

Para a NBR 6118 (2003), item 6.2, vida útil de projeto é o “período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais”.

Souza e Ripper(1998) também definem vida útil: “por vida útil de um material entende-se o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados, um exemplo mostrado na Figura 2, trata da corrosão de armadura em estruturas de concreto armado, onde mostra a curva da vida útil em função dos fatores de influência como desempenho e tempo. O conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas”.

Figura 2 - Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando por referência o fenômeno de corrosão de armaduras.



Fonte: HELENE (1997)

A questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas

em todas as etapas do processo construtivo: concepção ou planejamento; projeto; fabricação de materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso da estrutura. É nessa etapa onde serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenções preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil (HELENE, 2001).

Quanto ao ciclo da construção, o conceito de vida útil conduz a um tratamento integralizado das seguintes fases:

- Planejamento;
- Projeto;
- Materiais;
- Execução;
- Utilização (operação e manutenção).

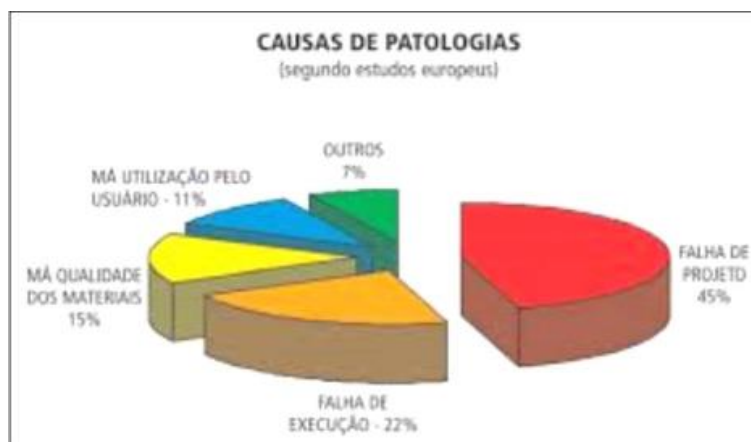
3.2 Patologias – causas e origens

As causas mais comuns de patologias em obras de edificações são por consequência de:

- Falhas na concepção do projeto;
- Má qualidade dos materiais;
- Erros na execução;
- Utilização para fins diferentes dos calculados em projeto;
- Falta de manutenção no decorrer do tempo.

Conforme pode ser observado na Figura 3 as patologias são motivadas, geralmente, por falhas no planejamento anterior à construção. Também podem ocorrer na realização de uma ou mais tarefas durante a execução da obra, ou posteriormente, quando a construção é finalizada e entregue ao proprietário.

Figura 3 - Gráfico que relaciona as principais causas de patologias.



Fonte: COUTO (2007)

3.2.1 Falhas na concepção do projeto

Couto (2007) lista alguns exemplos de problemas originados na etapa de elaboração do projeto:

- a) Má definição das ações atuantes ou combinação mais desfavorável para a estrutura;
- b) Deficiência na avaliação de resistências do solo, podendo levar, por exemplo, a recalques inesperados ao longo da construção e nos primeiros anos de vida da edificação;
- c) Adoção de peças com espessura de cobrimento e relação água/cimento incompatíveis com tempo e as condições de exposição da estrutura;
- d) Especificação inadequada de materiais;
- e) Dimensionamento que leva a grandes deformações na estrutura, levando ao surgimento de fissuras (peças esbeltas e utilização de grandes vãos);
- f) Utilização de juntas estruturais sujeitas à infiltração de água, próximas aos elementos estruturais;
- g) Falta de compatibilização entre os projetos (arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, elétrico, entre outros);
- h) Detalhes construtivos impossíveis de serem executados;

3.2.2 Má qualidade dos materiais

É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a NBR 12654.

No cimento devem ser monitorados seus aspectos físicos, como finura, início e fim de pega, resistência à compressão, expansibilidade, calor de hidratação, assim como, também, seus aspectos químicos, como perda ao fogo e resíduo insolúvel, teores de aluminato tricálcio e de álcalis.

Para os agregados faz-se necessária a análise mineralógica e química do material, para detectar a presença de contaminantes reativos no agregado, cujas reações químicas expansivas com os álcalis do cimento podem ser bastante deletérias ao concreto (ANDRADE e SILVA, 2005).

A água é um elemento do concreto de fundamental importância, logo se faz necessária à sua análise antes de sua utilização, pois aspectos como contaminação com cloretos, sulfatos, álcalis, teor do pH, entre outros fatores, podem prejudicar o desempenho do concreto ao longo do tempo.

Por último e não menos importante, como se trata de concreto armado, é imprescindível controlar a armadura, assegurando o patamar de escoamento, o limite de resistência, o alongamento mínimo, as tolerâncias de desbitolamento e dobramento.

3.2.3 Erros na execução

A ocorrência dos erros é, basicamente, devido ao processo de produção, que é bastante prejudicado, por muitas vezes refletir os problemas socioeconômicos, que provocam a baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados (SOUZA e RIPPER). Assim como, também, a falta de uma fiscalização eficiente e um fraco comando de equipes, podem, com facilidade, levar a falhas graves em determinadas atividades como, escoramentos, fôrmas,

posicionamento e qualidade das armaduras, qualidade do concreto, entre outras (COUTO, 2007).

A NBR 12655 (1996) descreve que as etapas de execução do concreto devem obedecer a seguinte sequência:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto, de acordo com a NBR 12654;
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- Preparo do concreto.

As falhas de concretagem ignoradas, ou não reparadas devidamente, podem acarretar sérias consequências à estrutura, principalmente em regiões agressivas e ou de difícil acesso à inspeção.

3.2.4 Utilização indevida e ausência de manutenção

A NBR 5674 define manutenção como o conjunto de atividades a serem desempenhadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes de forma a atender as necessidades e segurança dos usuários.

Segundo Souza e Ripper(1998), os problemas patológicos ocasionados por ausência de manutenção ou mesmo por manutenção inadequada, têm sua origem no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos. A falta de destinação de verbas para manutenção pode vir a tornar-se fator responsável pelo aparecimento de problemas estruturais de maior gravidade, implicando em grandes gastos e, dependendo da situação, pode levar até mesmo a demolição da estrutura conforme pode ser ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 - Prédio em desabamento no Rio de Janeiro, decorrente de más práticas construtivas e materiais de baixa qualidade utilizados.



Fonte: WIKIPEDIA (2015)

4. FISSURAS

4.1 Conceito

Fissuras são aberturas que afetam a superfície do elemento estrutural tornando-se um caminho rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura. O termo fissura é utilizado para designar a ruptura ocorrida no concreto sob ações mecânicas ou físico-químicas (FIGUEIREDO, 1989).

Dentre tantas manifestações patológicas que afetam as edificações, as fissuras e as trincas são de grande importância, devido principalmente a três aspectos fundamentais: o aviso de um estado perigoso para a estrutura, o desempenho da edificação durante sua vida útil e o constrangimento psicológico que as fissuras das paredes exercem sobre os usuários (THOMAZ, 1989, p. 15).

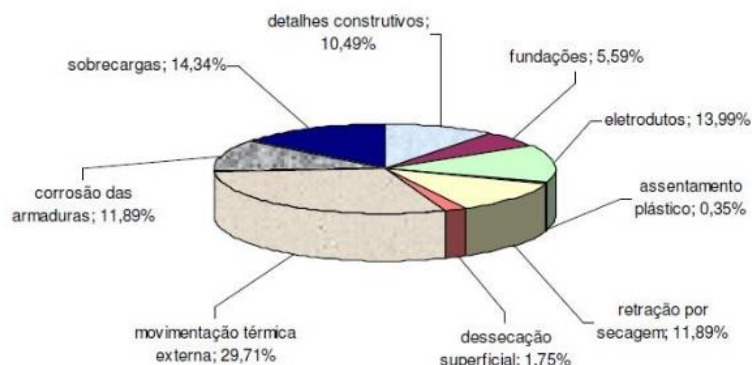
Segundo SABBATINI e BARROS (1990), pode-se definir como fissuras as aberturas com menos que 0,5 mm de espessura e como trincas aquelas com medidas iguais ou superiores a 0,5 mm. Ribas (2002), porém, defende uma divisão e conceituação diferentes. Em primeiro lugar, ele acrescenta mais uma categoria, a das microfissuras, abrangendo as aberturas inferior a 0,2 mm, além de propor a classificação como fissuras para as medidas entre 0,2 e 2 mm e como gretas as aberturas com mais de 2mm.

Segundo a NBR 6118, as fissuras são consideradas agressivas quando sua abertura na superfície do concreto armado ultrapassa os seguintes valores:

- 0,2 mm para peças expostas em meio agressivo muito forte (industrial e respingos de maré);
- 0,3 mm para peças expostas a meio agressivo moderado e forte (urbano, marinho e industrial);
- 0,4 mm para peças expostas em meio agressivo fraco (rural e submerso).

Na Figura 5, refere-se a uma pesquisa sobre as fissuras em estruturas de concreto armado, Dal Molin (1988) detectou as principais causas de fissuras, com as respectivas incidências.

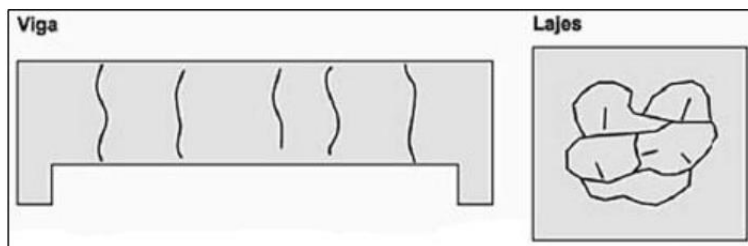
Figura 5 - Tipos e incidência de fissuras em concreto armado.



Fonte: DAL MOLIN (1988)

4.2 Fissuras devido a retração hidráulica

Figura 6 - Fissura no concreto por retração hidráulica.



Fonte: MARCELLI (2007)

A perda da água na peça, o excesso de calor de hidratação e uma ineficiente proteção térmica do elemento estrutural geram tensões internas, provocando retração que resulta em esforços de tração (HELENE, 1992). Este tipo de fissura acontece por cura malfeita do concreto. O concreto não resiste a esses esforços, e acaba por apresentar fissuras sem direção conforme pode ser ilustrado na Figura 6. As fissuras ocorridas por retração hidráulica são fissuras que ocorrem pela perda excessiva de água de amassamento do concreto no estado fresco, seja por evaporação, por absorção pelos agregados ou pelas formas. Normalmente esse tipo de fissura aparece no período de trinta minutos a seis horas após o endurecimento do concreto.

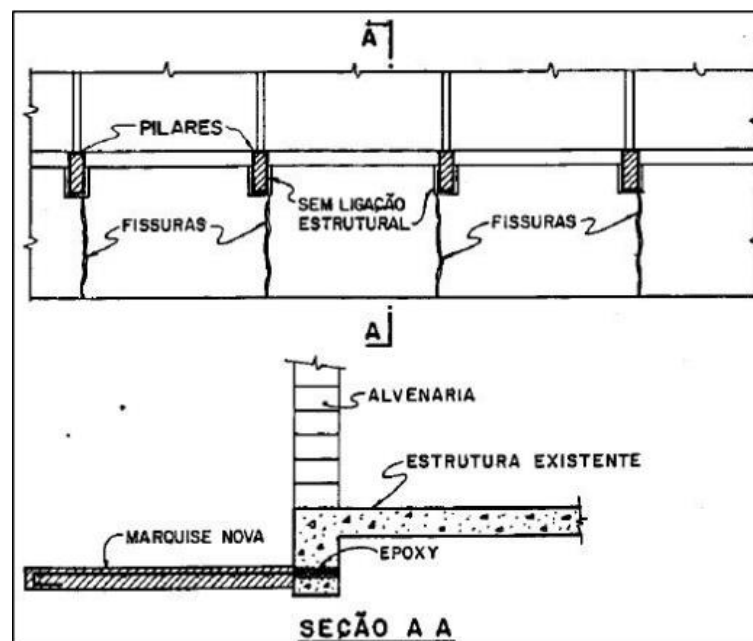
4.3 Fissuras causadas por movimentação térmica

Segundo Marcelli (2007), as peças esbeltas e longas, como vigas contínuas de vários tamanhos ou em grandes panos de lajes, são as que mais sofrem com a variação de temperatura, principalmente quando existem vínculos que impedem uma livre movimentação da peça de concreto. Ainda segundo Marcelli (2007) os elementos de concreto armado, quando submetidos à retração térmica, sofrem uma redução dos elementos estruturais gerando tensões de tração, levando ao aparecimento de trincas e/ou fissuras, dependendo do grau de deformabilidade do elemento.

Segundo Thomaz (2002) as prováveis causas do aparecimento de fissuras causadas por movimentação térmica são:

- Fissuras causadas pela junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, expostos às mesmas variações de temperatura.
- Elevada variação nas temperaturas diárias e anuais;
- Variação de temperaturas ao longo de um mesmo componente da edificação.

Figura 7 - Exemplo de caso de retração térmica do concreto.



Fonte: THOMAZ (2003).

4.4 Fissuras causadas por carregamentos

São fissuras geradas nos elementos estruturais pela incapacidade de resistência a ação de carregamentos, pode ocorrer o aparecimento de trincas nas edificações que podem ser provenientes de uma falha do cálculo estrutural, falhas na execução e por sobrecarga na estrutura (HELENE, 1992).

Segundo Marcelli (2007), algumas vigas e pilares, dependendo da atuação dos esforços, podem trabalhar num sistema duplo de sollicitação, no caso flexão e compressão que pode ser ilustrados nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

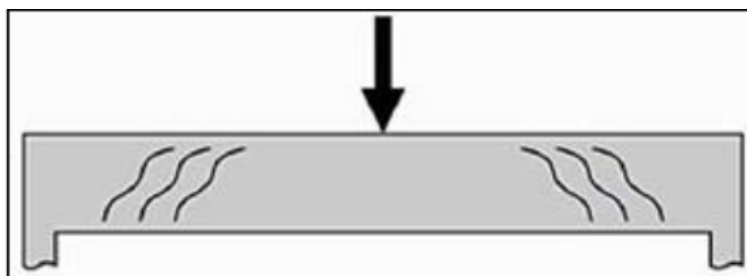
Alguns exemplos das fissuras causadas por carregamentos estão listados abaixo.

Figura 8 - Trincas de flexão em elementos de concreto armado.



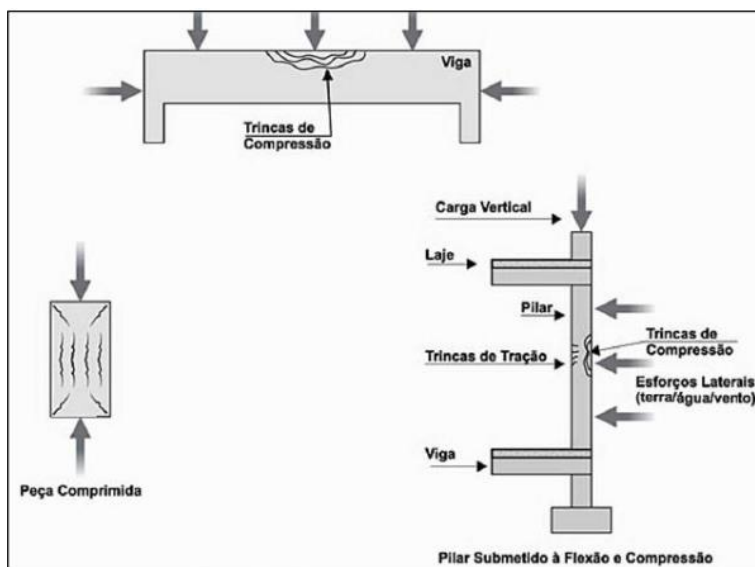
Fonte: MARCELLI (2007)

Figura 9 - Trincas de cisalhamento em viga.



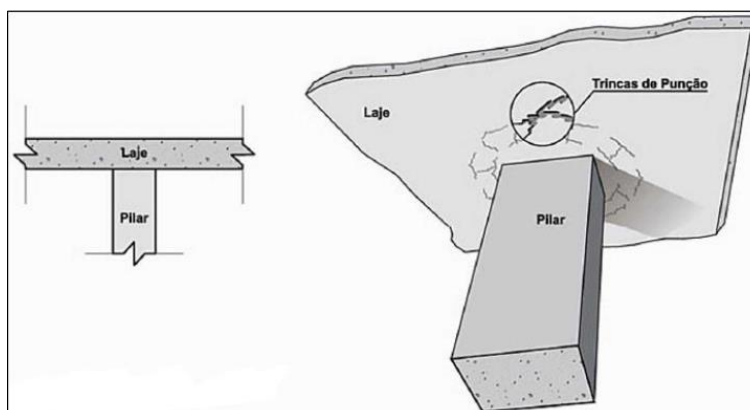
Fonte: MARCELLI (2007)

Figura 10 - Trincas de compressão.



Fonte: MARCELLI (2007)

Figura 11 - Fissuras por punção.

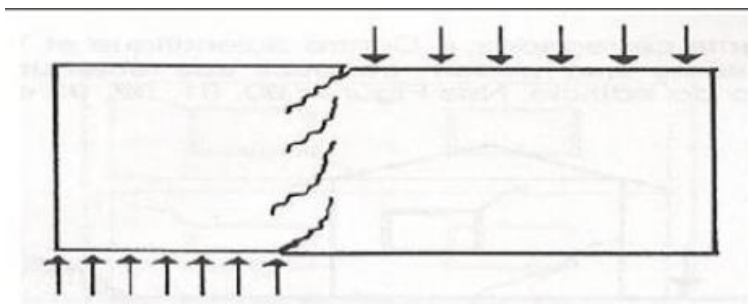


Fonte: MARCELLI (2007)

4.5 Fissuras causadas por recalques de fundação

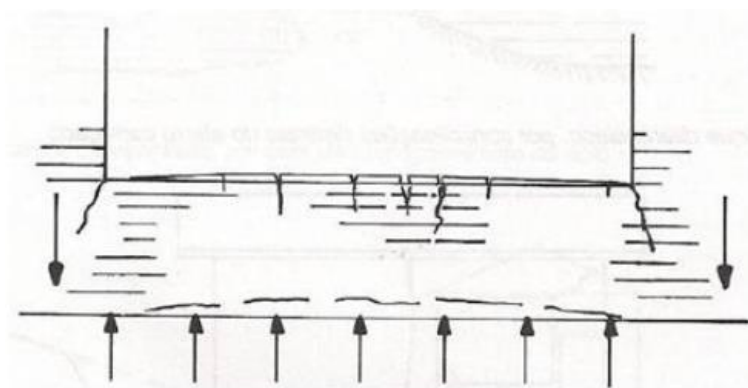
Segundo Argilés (1999), Thomaz (1992) e Helene (1992), são ocasionadas quando os esforços diferenciais atuam sobre a fundação ocasionando fissuras que possuem inclinação próxima a de 45° conhecida como recalque, elas indicam problemas nas fundações das edificações, sejam elas de alvenaria estrutural ou não conforme Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Trinca de cisalhamento no painel, devido recalque diferencial.



Fonte: THOMAZ (2002).

Figura 13 - Trincas de flexão devido ao carregamento desbalanceado em suas fundações contínuas por expansão do solo.



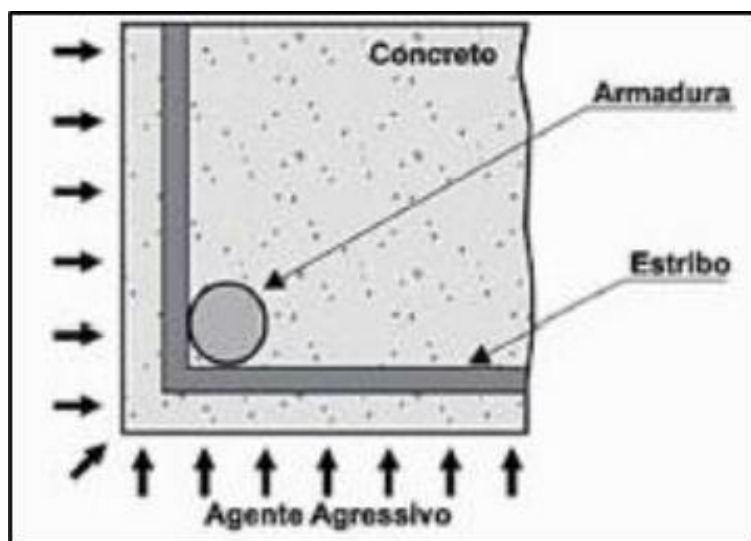
Fonte: THOMAZ (2002).

4.6 Fissuras causadas pela corrosão de armaduras

A corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado é motivo de estudos por ser um fenômeno que, além de apresentar grande ocorrência, reduz significativamente a vida útil do edifício, por ocasionar consequências negativas às estruturas. Helene (1993) comenta casos em que os problemas causados pela corrosão são tão severos que é preferível demolir a estrutura a realizar os reparos necessários, de custos normalmente muito elevados.

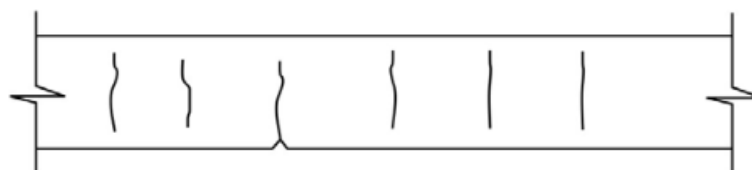
Segundo Marcelli (2007) a corrosão de armadura é muito comum em edificações e elas precisam ser tratadas adequadamente para que ocorra a suspensão da corrosão, deve-se identificar, diagnosticar e corrigir as causas causadoras do problema.

Figura 14 - Penetração do agente através da porosidade do concreto.



Fonte: MARCELLI (2007).

Figura 15 - Típica forma de fissuras em viga de concreto, particularmente nas posições dos estribos. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.



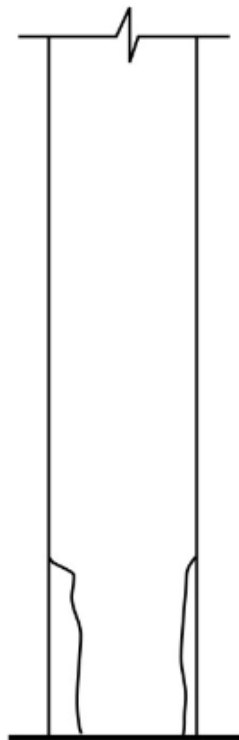
Fonte: HELENE (1993).

Figura 16 - Típica forma de fissuras e lascamento em viga de concreto, paralela às armaduras inferiores. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.



Fonte: HELENE (1993)

Figura 17 - Típica forma de fissuras e lascamento em pilar de concreto paralelamente às armaduras verticais. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.



Fonte: HELENE (1993).

5 RETRAÇÃO DO CONCRETO

O concreto está sujeito tanto a condições de secagem ambiental como a carregamentos constantes, as quais refletem em variações dimensionais, que estão ligadas a remoção da água absorvida na pasta de cimento. Este fenômeno pode ocorrer imediatamente no ato da concretagem (METHA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Meira (2009), o fenômeno chamado de retração, por ser uma propriedade complexa e com diversos fatores influentes, é pouco estudado pelo meio técnico.

A análise de estruturas de concreto armado requer considerações de diversos carregamentos em regime de utilização e de ruptura. O efeito de retração e variação de temperatura é normalmente tratado como uma carga equivalente com coeficientes empíricos.

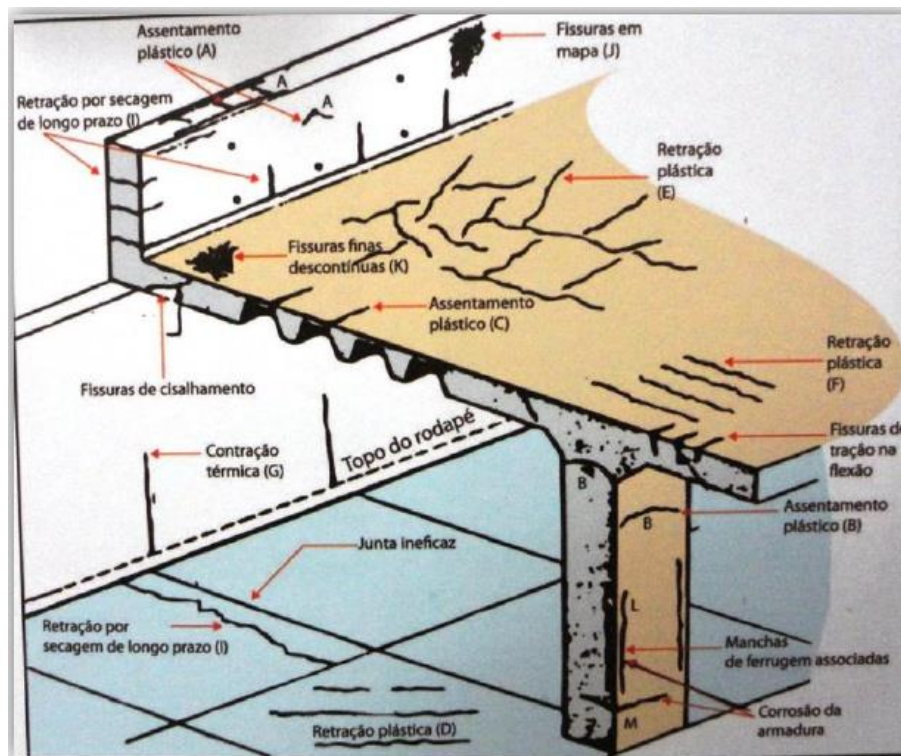
O fenômeno de retração pode ser dividido em duas categorias: a retração do concreto fresco e a retração do concreto endurecido.

A retração do concreto é a redução de volume pela perda de umidade de um elemento de concreto seja no estado fresco seja no estado endurecido. Esta perda de umidade ou evaporação fará com que o concreto se enfraqueça. Isso pode levar a fissuras, deformação interna e externa de flexão. No concreto armado, essas mudanças volumétricas da pasta são restringidas pela presença do agregado e da própria armadura, pela forma da peça estrutural e pela existência de outros elementos ligados a ela. Existem inúmeros tipos de retração do concreto, incluindo retração plástica, retração por secagem, retração autógena e por carbonatação. Já, dentre os muitos, os fatores que mais afetam a retração do concreto é a condição de secagem e a umidade na atmosfera.

O tema "retração do concreto" é complexo. Tal complexidade se deve em função dos tipos de retração existentes, suas respectivas causas e

consequências, estruturas mais suscetíveis a sofrerem os danos da retração, além dos meios de minimizá-la.

Figura 18 - Fissurações típicas de retração, em uma estrutura de concreto hipotética.



Fonte: METHA; MONTEIRO (2008, p.389).

5.1 Tipos de retração do concreto

5.1.1 Retração plástica

De maneira geral, pode-se dizer que o concreto retrai em dois momentos distintos: primeiramente no estado plástico e depois no estado endurecido. Quando o concreto ainda se encontra na fase plástica, a secagem rápida do concreto fresco provoca retração quando a taxa de perda de água da superfície, por evaporação, excede a taxa disponível de água de exsudação. Nesta fase, o concreto apresenta baixíssima resistência à tração, e as fissuras podem facilmente aparecer nestas situações. Por ocorrer no concreto ainda no estado plástico, esta retração é denominada **retração plástica**. (DENATRAN, BRASIL, 1994)

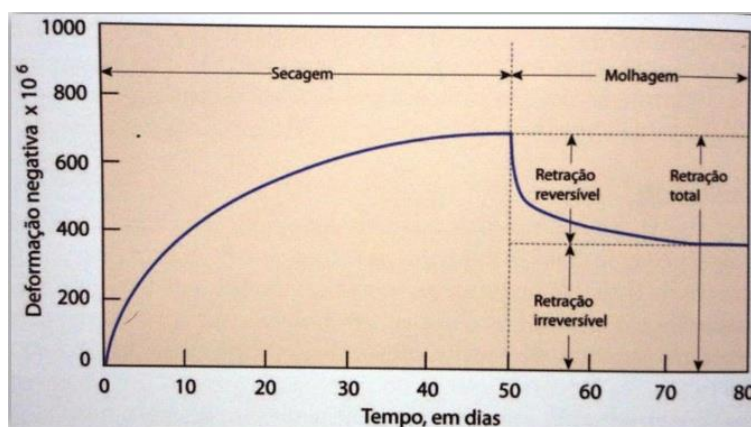
5.1.2 Retração hidráulica ou por secagem

No estado endurecido, o concreto perde água para o ambiente. A água perdida não está presa à estrutura dos produtos hidratados por ligações físico-químicas fortes e, portanto, sua retirada do concreto não causa retração significativa. No entanto, quando a maior parte desta água livre é perdida, prosseguindo a secagem, observa-se que uma perda adicional de água passa a resultar em retração considerável, que por sua vez causa fissuras e o empenamento das bordas. Esta retração é denominada de **retração por secagem**.(BALTHAR, 2004)

A fissuração por secagem poderá ser minimizada adotando-se as seguintes medidas:

- Colocação de juntas devidamente localizadas;
- Redução do fator água/cimento;
- Utilização de armadura de pele nas vigas;
- Utilização de agregados maiores;
- Utilização de agregados miúdos isentos de argila.

Figura 19 - Características da retração hidráulica ou por secagem.



Fonte: MEHTA; MONTEIRO(2008, p.100).

5.1.3 Retração autógena

Este tipo de retração é conhecida como retração por hidratação e retração química, sendo também chamado de auto secagem ou auto dessecamento.

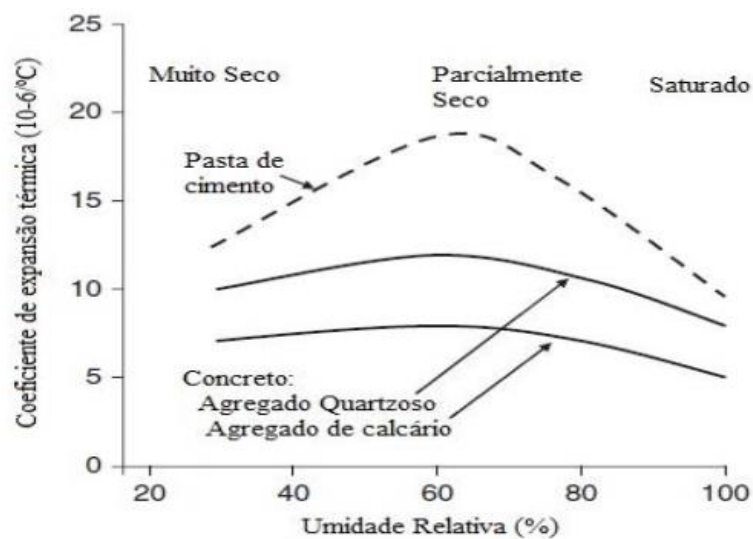
Esta, que dificilmente ocorre em concretos convencionais, pode ser definida como redução macroscópica dos materiais cimentícios após o início da pega, em condições de isolamento específicas, sem que ocorra mudança de volume devido à perda ou variação da temperatura ou aplicação de forças externas;

5.1.4 Retração térmica

A retração térmica durante o processo de endurecimento do concreto libera calor que aumenta o volume para depois diminuir durante o processo de resfriamento. (DOMOME, 2010)

É também conhecida como “retração exotérmica”, pois a transmissão de calor do interior de um objeto para o ambiente se dá por meio de uma reação química. (DOMOME, 2010)

Figura 20 - Coeficiente de expansão térmica para pasta de cimento e concretos.



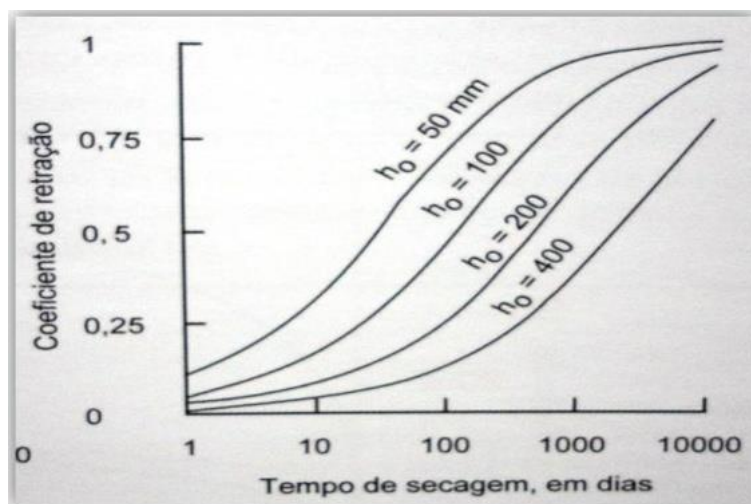
Fonte: DAMONE(2010)

Segundo METHA e MONTEIRO, (2008) três são as características que combinadas levam o concreto a retrair:

- 1) **Geometria da estrutura:** nas peças com elevada relação entre a superfície exposta e o volume total da peça, tais como pisos, pavimentos e lajes de concreto, a perda de água para o ambiente se dá de maneira muito rápida. Ora, se a retração do concreto está relacionada à perda da água e se este

tipo de estrutura está mais vulnerável a esta perda é intuitivo pensar que lajes, pisos e pavimentos de concreto naturalmente sofrem mais com a retração do concreto. As dimensões das placas (distâncias entre juntas) cada dia maiores e a execução de placas cada vez mais esbeltas tornam os pisos e pavimentos extremamente suscetíveis aos efeitos da retração do concreto conforme Figura 21;

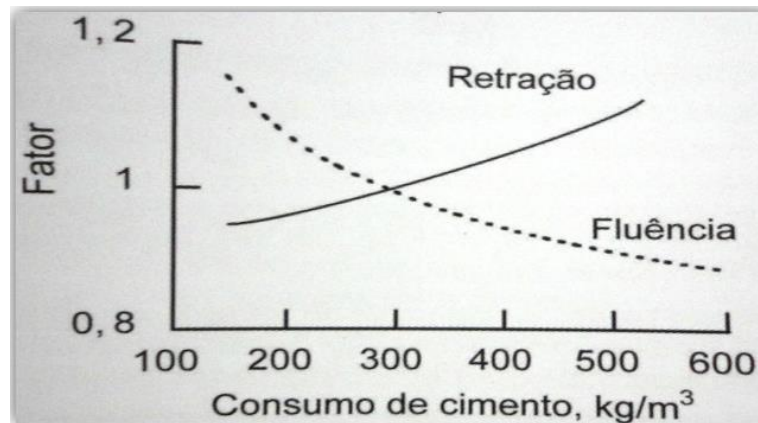
Figura 21 - Influência da geometria da peça na retração por secagem, onde h_0 é a espessura fictícia.



Fonte: MEHTA; MONTEIRO (2008, p.107).

- 2) Traço do concreto:** diversos fatores relacionados aos materiais que compõem o concreto e suas combinações podem influenciar a retração do concreto, principalmente a retração por secagem. O tipo, a granulometria e a dimensão máxima do agregado, a relação água-cimento, a quantidade de água de amassamento e o emprego de adições minerais e aditivos químicos são variáveis importantes que afetam fortemente a retração do concreto ilustrado na Figura 22. A literatura e a prática do dia-a-dia apontam que agregados com maior módulo de deformação conduzem a um menor grau de retração. Deve-se empregar a menor quantidade de água de amassamento possível, assim como deve-se evitar agregados com excesso de material pulverulento e argila. A distribuição granulométrica contínua reduz a retração do concreto quando comparada com uma combinação de agregados miúdos e graúdos inadequada;

Figura 22 - Teor de cimento influenciando a retração.

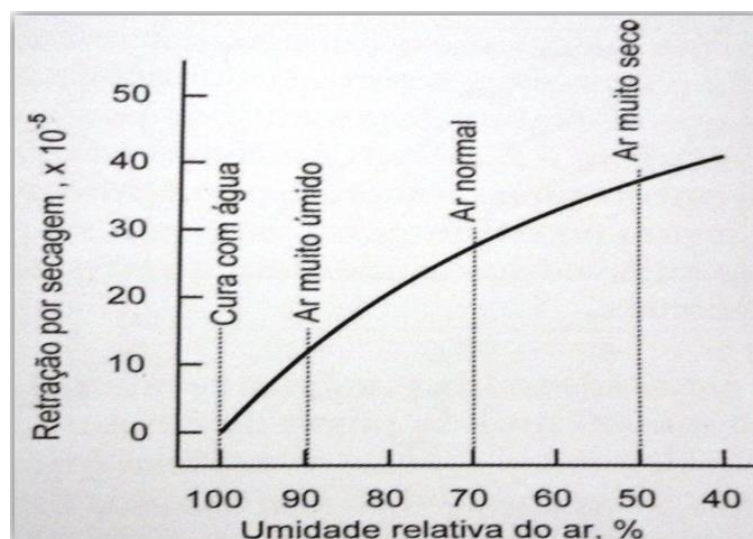


Fonte: MEHTA; MONTEIRO(2008, p.104).

3) Condições climáticas: a retração do concreto está intimamente relacionada à perda de água para o ambiente. Os principais fatores climáticos que sequestram a água do concreto são a alta temperatura, a baixa umidade relativa do ar e a velocidade do vento que incide sobre a peça recém concretada. Segundo BHATTY(1995), uma condição climática com temperatura do ar em 25°C, umidade relativa do ar de 40%, temperatura do concreto de 30°C e velocidade de vento de 15 km/h é suficiente para se atingir um nível de evaporação de 1 litro/m²/hora, capaz de provocar importante grau de retração plástica pode ser visto na Figura 23.

Basicamente, a retração do concreto leva a dois problemas principais: **fissuras** e **empenamento da placa**.

Figura 23 - Umidade relativa do ar como fator influente na retração por secagem.



Fonte: MEHTA; MONTEIRO(2008, p.106).

As fissuras ocorrem porque ao retrair o concreto encontra restrições à variação volumétrica. Os elementos de restrição podem ser o atrito com a base, a armadura e os agregados graúdos. Tais restrições geram tensões de tração no concreto em uma fase em que ele ainda não tem resistência mecânica suficiente para absorvê-las e por isso surgem as fissuras de retração. Estas fissuras causam de pronto um comprometimento estético ao piso. A médio-longo prazo pode haver comprometimento da durabilidade da placa fissurada e, até mesmo, dependendo das tensões de utilização - aquelas oriundas dos carregamentos - podem conduzir a um comprometimento estrutural do piso.

O empenamento ocorre quando a placa sofre distorção das bordas e cantos para cima, gerado por um gradiente de umidade e/ou temperatura entre as faces superior e inferior da placa. O empenamento das bordas está bastante relacionado com o fenômeno da retração do concreto. O empenamento excessivo pode conduzir à perda de aderência de revestimentos, fissuras estruturais devido à perda de contato da placa com a sub-base, piora do nivelamento do piso e mau funcionamento das juntas. De acordo com a NBR 12006 (ABNT, 1990), o calor de hidratação de um concreto é definido como sendo a quantidade de calor liberado pela unidade de massa de cimento, a partir de sua reação com a água de amassamento.

A temperatura de secagem do concreto, não acarreta nenhuma tensão, porque a estrutura é capaz de se expandir ou se contrair livremente. Por outro lado, a variação de temperatura em estruturas apoiadas de modo estaticamente indeterminado, produzirá tensões nos elementos, denominadas tensões térmicas. Define-se o coeficiente de variação térmica α como sendo a deformação correspondente a uma variação de temperatura de 1°C. O coeficiente de dilatação térmica para o concreto armado, segundo a NBR 6118, é considerado igual a $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, salvo quando determinado especificamente para o concreto a ser usado. Em peças permanentemente envolvidas por terra ou água e em edifícios que tenham, em planta, dimensão ou juntas de

dilatação não superior a 30,00 m, dispensa-se à consideração da influência da variação da temperatura.

São as fissuras ocasionadas por retrações diversas do revestimento argamassado quando fresco e em fase de endurecimento. Segundo Thomaz (1992) essas retrações são decorrentes de fatores como:

- a retração química entre o cimento e a água provocando a redução de volume ocasionando as trincas;
- a retração por secagem da água excedente empregada na preparação da argamassa, sendo que a evaporação deste excesso de água gera forças capilares equivalentes as de uma compressão, produzindo sua diminuição de volume e conseqüentemente provocando as fissuras.

Além das causas citadas acima, Josiel (1975) descreve importantes fatores que interferem diretamente nos produtos à base de cimento, entre eles merecem destaque que:

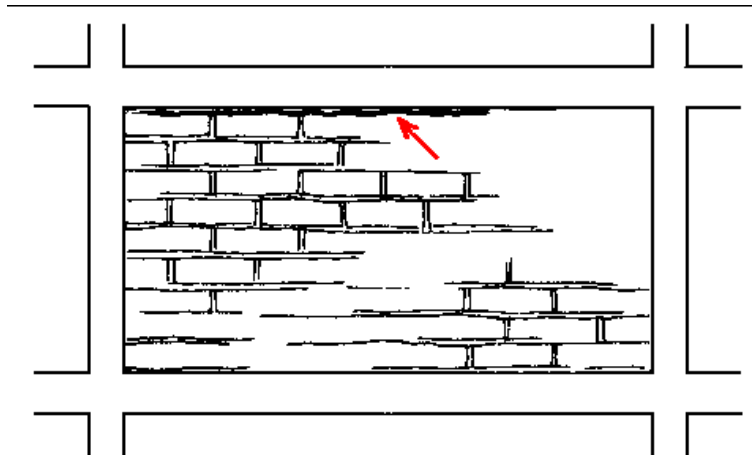
- quanto maior a finura do cimento maior a retração;
- quanto maior a quantidade de cimento na mistura, maior será a retração;
- quanto maior a finura dos agregados, maior será a retração, pois será necessária maior quantidade de pasta de cimento para cobri-los;
- quanto maior for a relação água cimento maior será a retração.

De acordo com Ribas (2002), as fissuras de retração ocorrem durante a execução da obra e se manifestam nas estruturas de concreto e nas argamassas utilizadas para assentamento, influenciando diretamente o conjunto da alvenaria, podendo desenvolver tensões que causam o surgimento de fissuras na alvenaria e, conseqüentemente, são transferidas ao revestimento argamassado em fachada.

Um dos efeitos da retração, como nos aponta Thomaz (1992), é a execução do fechamento do espaço entre o topo da parede e a face inferior da viga, que pode ser preenchido com tijolos em cunha, antes da secagem completa da argamassa de assentamento das alvenarias. O recalque plástico da argamassa

somado a retração da mesma provocará o abatimento da alvenaria recém-construída. Caso o preenchimento da parede com o componente estrutural superior tenha sido realizado antes da secagem do conjunto, ocorrerá o destacamento entre a alvenaria e a estrutura conforme ilustra a figura 24.

Figura 24 - Destacamento provocado pelo abatimento da alvenaria recém construída.



Fonte: THOMAZ (1992).

Figura 25 - Fissuras de retração em concreto armado, causadas pela elevadíssima quantidade de cimento e/ou relação água/cimento do concreto.



Fonte: THOMAZ (1992).

6 MÉTODOS PARA EVITAR A RETRAÇÃO DO CONCRETO

A retração do concreto deve ser minimizada para que seus malefícios também sejam. Como não temos condições de controlar as condições climáticas devemos saber trabalhar adequadamente os outros fatores que favorecem a retração do concreto como a geometria da peça (espaçamento das juntas, por exemplo) e o traço do concreto. Além disso, pode-se adotar práticas executivas como proceder a cura do concreto e alterar o horário das concretagens para períodos de menor temperatura, sol e vento. Medidas como o borrifamento de neblina de água, a aplicação de agentes redutores de evaporação, a adição de fibras sintéticas e o emprego de armadura de combate a retração, combinadas ou utilizadas isoladamente, são benéficas para a redução da fissuração por retração e/ou empenamento das bordas.

Alguns autores desenvolveram técnicas para a medida da retração autógena, essas técnicas se diferenciam entre si em alguns aspectos, mas trazem resultados confiáveis.

Segundo Neville (1997) e Aïctin(2000) a retração é um fenômeno que ocorre quando durante a hidratação do cimento é gerada uma porosidade muito fina nos poros de gel, e estas drenam água dos capilares de poros maiores para dar continuidade ao processo de hidratação, quando não há água suficiente dentro dos capilares maiores ocorre a formação de meniscos capilares nos poros de gel, provocando tensões capilares muito altas e resultando numa retração autógena ou auto secagem. Essa retração é devida exclusivamente às reações químicas de hidratação do cimento ao longo do tempo, sem trocas de umidade com o ambiente ou qualquer outra influência externa de temperatura ou carga.

6.1 Redução através da cura

Para Neville (1997) se o concreto for curado dentro de água ele não sofre qualquer retração. Entretanto na prática, as estruturas de concreto não podem ser curadas para sempre, aspergindo-se um pouco de água nelas. No dia

seguinte, a cura do concreto é suspensa e alguma retração autógena é desenvolvida. É necessário curar o concreto com água tão logo ele comece a se hidratar, e pelo maior tempo possível. Quanto mais rapidamente o cimento se hidrate, mais rapidamente deve ser curado e mais crítica é a cura do concreto, mas vale salientar que o método de cura para se evitar a retração especificamente não é eficaz, conforme já foi discutido anteriormente

6.2 Redução através do tipo de cimento

Conforme Aïctin(2000) a pintura do concreto com membrana impermeável reduz a retração por secagem, mas não afeta a retração autógena, portanto um dos melhores métodos de se reduzir à retração é curar o concreto com água tão cedo ele comece a se hidratar por um período de tempo longo.

6.3 Utilização de redutores de tensão superficial

A utilização de redutores de tensão superficial reduz os efeitos de retração, mas trazem a consequência de serem absorvidos pelos produtos de hidratação do cimento provocando o retardamento estas reações.

Segundo Repette (2011), alguns elementos são capazes de reduzir a retração do concreto entre elas estão:

- A utilizando a sílica na composição do concreto, podemos reduzir a retração por exsudação devido ao fato da sílica ativa não deixar que esse fenômeno ocorra.
- Cimentos expansivos dos tipos K, M e S - provocam a expansão da pasta.
- Aditivos expansivos – são aditivos a base de cal ou de sulfoaluminato de cálcio, o uso destes aditivos permite maior flexibilidade nas composições e redução de custo, eles apresentam desempenhos melhores, pois compensam a variação volumétrica causada pela retração.
- Aditivos redutores de retração – são basicamente a base de glicol e facilmente encontrados no estado líquido para facilitar sua adição no

concreto, eles diminuem a tensão superficial da água o que faz com que ocorra a diminuição da tensão capilar no interior do concreto.

- Cautela na composição da mistura: elevados teores de agregado graúdo e maior relação a/c, por exemplo, são favoráveis à menor incidência de retração
- Utilização de fibras de natureza metálica ou polimérica na mistura ajudam no combate a retração.
- Umidade e temperatura são essenciais para que a cura seja feita de forma correta de modo que a umidade da pasta não seja perdida.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresenta um levantamento sobre patologias em estruturas de concreto armado, este trabalho é fruto de estudos bibliográficos.

Os conceitos de patologia, vida útil e agressividade do meio ambiente, é de suma importância para a compreensão na elaboração de um bom projeto detalhado no qual a estrutura será instalada.

Desta forma, este trabalho procurou identificar as patologias mais comuns em estruturas de concreto armado, passando pelas fissuras lineares provenientes de retrações do concreto, de corrosões de armaduras e de movimentações por variações térmicas.

A retração do concreto é um fenômeno que causa danos às estruturas de concreto, mas pode ser evitada se com um bom conhecimento dos materiais empregados na utilização do concreto, bem como o emprego de técnicas preventivas, o uso de técnicas de medida da retração favorecem o melhor entendimento quantitativo, trazendo subsídios para uma intervenção ou modificação no processo de produção do concreto.

As fissuras lineares provenientes de retrações de alvenarias, de corrosões de armaduras e de movimentações por variações térmicas são os efeitos com maior incidência.

As empresas de construção buscam atualmente uma redução de prazos e custos, além de garantir uma melhor qualidade e durabilidade da edificação.

Pode se concluir sobre este trabalho que possui uma infinidade de patologias nas construções de concreto armado e que a cada dia surge novas técnicas e procedimentos para a recuperação da estrutura com o propósito de melhorar a qualidade das edificações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2003. 170 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 12006**: Cimento – determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langavant. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. Boletim Técnico. São Paulo: ABCP, 2002.

AÏCTIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. 1.ed. São Paulo, PINI. 2000.

ALVES, J. D. **Materiais de construção**. 6. ed. Goiânia: Editora da UFGO, 1987.

ARGILLÉS, J. M. J et GARCIA, A. A. G. **Patología y técnicas de intervención: fachadas y cobiertas**. Madrid: Munilla- Lérvia, 1999

BALTHAR, V. K. B. L. **Retração autógena e evolução de propriedades mecânicas de pastas pozolânicas**. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado** – Notas de Aula. UNESP. Bauru, São Paulo, 2006.

BHATTY, Javed I. **Role of minor elements in cement manufacture and use, research and development bulletin**. RD109, Portland Cement Association, 1995, 48p.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Cadernos de Engenharia de Estruturas. EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. In. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini/IPT, 1988. p. 549-554.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. Tese de M. Sc. – Curso de Pós Graduação em

Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Fissuras em concreto**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

DOMONE, P. L. **A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete**. 2010.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

JOSIEL, A. **Fissuras y gretas em morteros y hormigones: sus causas y remédios**. Barcelona: Ed. Barcelona, 1975.

KLOSS, C. L. **Materiais para construção civil**. Curitiba: CEFET PR, 1991.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**-São Paulo: Pini, 2007.

MEIRA, Letícia Ribeiro. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de arroz natural, sem beneficiamento de moagem**. 2009. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto** – Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

NEVILLE, Adan Matthew. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo, PINI/ABCP. 1997.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Globo, 1975

Concreto de cimento Portland. 12. ed. São Paulo: Globo, 1993.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da UFRG, Belo Horizonte, 1997.

REPETTE, W.L. **Concreto Auto adensável**. In: Geraldo Cechellaisaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011, v.2, p.1769 – 1806.

RIBAS, R. B.; CASADEMUNT, A. P. **Reconocimiento, diagnosis e intervenció n em fachadas**. Catalunya: Itec, 2002.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para produção de revestimento cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria.** São Paulo, Convênio EPUSP/CqDCC, 1990.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** – São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas e em edifícios: causas, prevenção recuperação.** São Paulo, Ed. PINI, 1992.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil.** Pini. São Paulo, 1992.

VERÇOSA, E.J. **Patologia das edificações.** Porto Alegre, Ed. Sagra, 1991.