

DEDICATÓRIA

---

À minha mãe Yonne, aos meus irmãos Rogério e Beto e à Giselle.

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço à minha mãe, à todos os meus amigos e parentes que sempre torceram por mim durante estes anos. Agradeço ao Prof<sup>o</sup>. José Celso da Cunha pela orientação durante o período desta pesquisa.

Agradeço ao Coordenador no Curso de Mestrado do DEES Prof<sup>o</sup>. Gabriel de Oliveira Ribeiro pelo acesso direto aos recursos do departamento.

O desenvolvimento desta pesquisa contou com a preciosa colaboração de várias pessoas, laboratórios, empresas e instituições :

CNPq,

CCE - Centro de Cálculo Eletrónico / E.E.UFMG,

LAMEC - Laboratório Mecânica Computacional Eletrónico / E.E.UFMG,

CIMINAS - Cimento Nacional de Minas S.A,

HOLDERCHEM,

Sólida Avaliação e Recuperação de Estruturas Ltda,

Tecton Engenharia de Projetos Ltda.



Resumo da dissertação apresentada ao Departamento de Estruturas / UFMG como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Estruturas

**ANÁLISE SISTEMÁTICA DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS  
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO  
EM AMBIENTE WINDOWS**

Renato Martins Grossi

Outubro, 1996

Orientador : Prof. José Celso da Cunha

**RESUMO**

Este projeto de pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento de um software na área de análise de Patologia de Estruturas em Concreto Armado, em ambiente Windows, possibilitando ao usuário interagir com o software na busca da patognomonía<sup>1</sup> nas estruturas em questão. Isso será possível graças a um elaborado sistema de pesquisa - ordenado de casos catalogados por meio de fotos, figuras, gráficos e textos, dentre outros - em que o usuário fornece os dados observados ou conhecidos por ele, interagindo com o programa por meio de questões de múltipla escolha.

Nas estruturas, os problemas patológicos se manifestam por um conjunto de sinais muito variados tais como deformações, fissuras, mudanças na coloração do concreto, expansões, esfoliações, trincas, etc, tornando o diagnóstico dessas patologias,

---

<sup>1</sup> Parte da Patologia que trata dos diagnósticos das doenças.

geralmente árduo e intrincado. Esse software surge como uma ferramenta contra tais adjetivos, além de poder ser considerado, também, como um trabalho pioneiro de dissertação, nesse assunto, no âmbito do curso de mestrado em Engenharia de Estruturas da E.E.U.F.M.G<sup>2</sup>.

A importância desse aplicativo em ambiente Windows está baseada também na criação de melhor compreensão e retenção do assunto *Patologia em Estruturas de Concreto Armado* em comparação com os tradicionais métodos de análise.

---

<sup>2</sup> Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

Abstract of the dissertation presented to the Structure Department / UFMG as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Structure.

**SISTEMATIC ANALYSIS OF PATHOLOGIES  
IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES  
AT WINDOWS ENVIRONMENT**

Renato Martins Grossi

October, 1996

Supervisor : Prof. José Celso da Cunha

**ABSTRACT**

The aim of this work was to develop a software in the field of Structure Patology to Analyse Reinforced Concrete Structures, at Windows environment, enabling the user to interact with the software in the search of the pathognomy<sup>1</sup> of the structures in analysis. This will be possible due an elaborated research system - arranged by means of pictures, photographs, texts, graphics, etc - in wich the user give the data, obseved or known, interacting with the program asnwering multiple answer questions.

The Structural pathologies are manifested by a group of signs - as deformations, fissures, reinforced concrete colour changes, expansions, cracks, exfoliation, etc - making the diagnosis, of the pathologies, difficult and intrincated. This software is a counterpart

---

<sup>1</sup> Pathology topic that studies disease diagnosis

to these adjectives, besides being considered also a inedited dissertation work, in this subject, at the master degree course in Structure Engeniering of E.E..U.F.M.G<sup>2</sup>.

The role of this program at Windows environment is based also in the creation of a better understanding and knowledge of the subject, Patology in Reinforced Concrete Structures, in comparison with the traditional analysis means.

---

<sup>2</sup> Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais



## ÍNDICE

---

	<b>Página</b>
<b>1 - Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 - Revisão bibliográfica</b>	<b>7</b>
2.1 - Patologia do concreto armado	7
2.2 - O material concreto	10
2.2.1 - Considerações preliminares	10
2.2.2 - Componentes do concreto	11
2.2.3 - Estrutura do concreto	11
2.2.4 - Aglomerantes hidráulicos	13
2.2.4.1 - Cimento portland	13
2.2.4.2 - Clínqueres	13
2.2.4.3 - Composição química do cimento portland	14
2.2.5 - Estrutura da pasta endurecida	16
2.2.5.1 - Hidratação do cimento portland	16
2.2.5.2 - Principais Compostos formados devido à Hidratação do Cimento	17
2.2.5.3 - Vazios na Pasta Endurecida	18
2.2.5.4 - A água na Pasta Endurecida	20
2.2.6 - Estrutura da Zona de Transição	22
2.2.7 - Estrutura da Fase Agregados	23
2.3 - Durabilidade do concreto versus agressividade do meio	24
2.4 - Durabilidade	26
2.5 - Principais meios agressivos ao concreto	27
2.5.1 - A água como um agente de deterioração	27
2.5.1.1 - Considerações preliminares	27
2.5.1.2 - Permeabilidade	28
2.5.2 - A atmosfera como um agente de deterioração	29
2.6 - Resistência	32
2.6.1 - Considerações preliminares	32
2.6.2 - Porosidade x Resistência	32
2.6.3 - Principais fatores que afetam a resistência à compressão	33
2.6.3.1 - Fator água/cimento	33
2.6.3.2 - Grau de hidratação	35
2.6.3.3 - Ar incorporado	39
2.6.3.4 - Diâmetro máximo do agregado	40
2.6.3.5 - Teor de cimento	41

2.7 - Diagnóstico de causas de patologias em estruturas de concreto	42
2.7.1 - Considerações preliminares	42
2.7.2 - Sintomas	43
2.7.3 - Mecanismo de Formação	44
2.7.4 - Origem	44
2.7.5 - Causas	46
2.7.6 - Conseqüências	46
2.8 - Principais causas da deterioração do concreto estrutural	49
2.8.1 - Considerações preliminares	49
2.8.2 - Causas e efeitos da fissuração em concreto estrutural	50
2.8.2.1 - Considerações preliminares	50
2.8.2.2 - Principais causas da fissuração em estruturas de concreto armado	52
2.8.2.3 - Conseqüências da fissuração nas estruturas de concreto armado	81
2.8.2.4 - Durabilidade e vida útil das Estruturas	84
2.8.3 - Corrosão da armadura no concreto	87
2.8.3.1 - Considerações preliminares	87
2.8.3.2 - Mecanismos envolvidos na deterioração do concreto pela corrosão da armadura	88
2.8.3.3 - Sintomas do processo de corrosão das armaduras	92
2.8.3.4 - Controle da corrosão	93
2.8.4 - Deterioração das estruturas de concreto por ação do congelamento	95
2.8.4.1 - Considerações preliminares	95
2.8.4.2 - Mecanismos de deterioração do concreto pela ação de ciclos de gelo-degelo	96
2.8.4.3 - Fatores que controlam a resistência do concreto ao congelamento	97
2.8.4.4 - Efeitos dos sais descongelantes	97
2.8.5 - Deterioração devida ao fogo	98
2.8.5.1 - Considerações preliminares	98
2.8.5.2 - Mecanismo de deterioração devido ao fogo	99
2.8.6 - Patologias devidas ao material concreto	102
2.8.6.1 - Eflorescência	102
2.8.6.2 - Reação álcali-agregado	110
2.8.6.3 - Segregação e Exsudação	111
2.8.6.4 - Ataque por sulfato	113



<b>3 - Aplicativo Patologia</b>	<b>115</b>
3.1 - Objetivos do aplicativo <i>Patologia</i>	115
3.2 - Justificativa da escolha do aplicativo utilizado para a elaboração do software <i>Patologia</i>	117
3.3 - Borland Delphi para <i>Windows</i>	120
3.4 - Considerações preliminares	121
3.5 - Convenções Adotadas	123
3.6 - Observação	123
3.7 - Esquema	123
3.7.1 - Telas	124
3.7.2 - Banco de dados	128
3.7.3 - Relação dos Bancos de dados presentes no Programa <i>Patologia</i>	129
3.8 - Instalação do aplicativo <i>Patologia</i> ( versão demonstrativa )	132
3.8.1 - Considerações preliminares	132
3.8.2 - Procedimentos de instalação do aplicativo	133
3.9 - Telas iniciais do aplicativo	135
3.10 - Pesquisa	142
3.10.1 - Considerações preliminares	142
3.10.2 - Escolha do caso a ser pesquisado	144
3.10.2.1 - Procedimento	144
3.10.2.2 - Bancos de dados	146
3.10.2.3 - Exemplo	147
3.10.3 - Visualização do item selecionado	149
3.10.3.1 - Procedimento	149
3.10.3.2 - Bancos de dados	153
3.10.3.3 - Exemplo	154
3.11 - Diagnóstico	161
3.11.1 - Introdução	161
3.11.2 - Introdução dos dados referente ao usuário	163
3.11.3 - Identificação do elemento estrutural com problemas patológicos	165
3.11.3.1 - Bancos de dados	168
3.11.3.2 - Exemplo	169
3.11.4 - Diagnóstico	172
3.11.4.1 - Procedimento	172
3.11.4.2 - Bancos de dados	174
3.11.4.3 - Exemplo	175



3.11.5 - Visualização da análise do diagnóstico	186
3.11.5.1 - Procedimentos	186
3.11.5.2 - Bancos de dados	188
3.11.5.3 - Exemplo	189
3.11.6 - Visualização do relatório final	193
3.12 - Impressão dos resultados	198
3.13 - Salvar	200
3.14 - Abrir	201
3.15 - Ajuda	203
<b>4 - Conclusão e sugestões para prosseguimento do trabalho</b>	<b>204</b>
4.1 - Conclusão	204
4.2 - Sugestões para o prosseguimento do trabalho	205
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>206</b>
<b>BIBLIOGRAFIAS</b>	<b>209</b>
<b>APÊNDICE A - Fissuras típicas em alvenarias devido ao carregamento</b>	<b>214</b>
<b>APÊNDICE B - Fissuras causadas por movimentações térmicas em muros</b>	<b>217</b>
<b>APÊNDICE C - Fissuras provocadas por recalques diferenciais das fundações</b>	<b>218</b>
<b>APÊNDICE D - Fissuras causadas por movimentações higroscópicas</b>	<b>223</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

	<b>Página</b>
Figura 1.1 - Avaliação dos erros mais comuns na construção civil.	2
Figura 1.2 - Erros relacionados com estruturas de concreto armado ou protendido em alguns tipos de obras.	4
Figura 2.1 - Seção polida de um corpo de prova de concreto.	12
Figura 2.2 - Tipos de água associados ao silicato de cálcio hidratado.	20
Figura 2.3 - Representação diagramática da zona de transição e da matriz de pasta de cimento no concreto.	22
Figura 2.4 - Relação entre a permeabilidade e relação sólido/espaco.	29
Figura 2.5 - Defeitos na estrutura provocados pela atmosfera agressiva em ambientes industriais.	30
Figura 2.6 - Deterioração acentuada da parte superior de galerias de esgoto.	31
Figura 2.7 - Relação porosidade - resistência de cimentos curados normalmente.	33
Figura 2.8 - Influência do fator água/cimento e do período de cura úmida sobre a resistência do concreto, ( Curvas típicas ).	34
Figura 2.9 - Variação da porosidade capilar devido a combinação do fator água/cimento e grau de hidratação.	35
Figura 2.10 - Relação entre o inverso da porosidade ( relação sólido/espaco ) e a resistência do material.	36
Figura 2.11 - Influência da cura úmida sobre a resistência do concreto com um fator água/cimento igual a 0,5.	37
Figura 2.12 - Influência do fator água/cimento e ar incorporado sobre a resistência à compressão do concreto.	39
Figura 2.13 - Influência do tamanho do agregado e do fator água/cimento sobre a resistência à compressão do concreto.	40
Figura 2.14 - Influência do teor de cimento sobre a resistência à compressão do concreto, para um dado fator água/cimento.	41
Figura 2.15 - Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente.	43
Figura 2.16 - Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.	45
Figura 2.17 - "Law of Fives" ( Sitter ).	47
Figura 2.18 - Fissuras causadas por várias formas de carregamento.	53
Figura 2.19 - Tensões em uma viga biapoiada resultante de um carregamento uniformemente distribuído.	55
Figura 2.20 - Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão.	56
Figura 2.21 - Fissura de cisalhamento em viga solicitada à flexão.	57
Figura 2.22 - Fissura de cisalhamento em viga alta.	57
Figura 2.23 - Fissura devida ao esmagamento do concreto.	58
Figura 2.24 - Fissuras de flexão na parte superior da viga.	59



Figura 2.25 -	Fissuramento de uma viga devido ao esforço de torção.	60
Figura 2.26 -	Fissuras de torção numa viga de concreto armado.	60
Figura 2.27 -	Fissuramento típico de lajes simplesmente apoiadas, parte superior.	61
Figura 2.28 -	Fissuramento típico de lajes simplesmente apoiadas, parte inferior.	62
Figura 2.29 -	Fissuras na face superior da laje devidas à ausência de armadura negativa.	62
Figura 2.30 -	Fissuras inclinadas devidas à torção da laje.	63
Figura 2.31 -	Fissuras típicas em pilares de concreto armado.	64
Figura 2.32 -	Fissuras típicas em pilares de concreto armado devidas à rotação em torno do seu eixo.	65
Figura 2.33 -	Movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação da temperatura.	67
Figura 2.34 -	Fissura típica presente no topo da alvenaria paralela ao comprimento da laje.	68
Figura 2.35 -	Alvenaria com fissuras inclinadas, em forma de escama, evidenciando a dilatação térmica da laje de cobertura.	68
Figura 2.36 -	Fissura típica presente no topo da alvenaria, paralela à largura da laje.	69
Figura 2.37 -	Fissura com abertura regular no topo da alvenaria, resultante do abaulamento e da dilatação plana da laje de cobertura.	69
Figura 2.38 -	Fissuras de cisalhamento provocadas por expansão térmica da laje de cobertura.	70
Figura 2.39 -	Destacamento entre alvenaria e estrutura, provocado por movimentações térmicas diferenciais.	71
Figura 2.40 -	Fissuras de cisalhamento nas alvenarias, provocadas por movimentação térmica da estrutura.	72
Figura 2.41 -	Fissuras inclinadas no topo da parede ( em ambas as extremidades ) e destacamento da platibanda causados por movimentação térmica.	73
Figura 2.42 -	Fissuras em alvenarias de vedação.	75
Figura 2.43 -	Fissuras na alvenaria, provocadas por deflexão da região em balanço da viga.	76
Figura 2.44 -	Fissura horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje.	76
Figura 2.45 -	Fissura horizontal na base da alvenaria, provocada pela flexão da laje da garagem na direção perpendicular à alvenaria.	77
Figura 2.46 -	Fissuras devidas à retração dos materiais constituintes.	78
Figura 2.47 -	Fissuras em alvenaria externa.	79
Figura 2.48 -	Fissuras na laje devidas à retração do concreto.	80
Figura 2.49 -	Salto de Tensão.	83
Figura 2.50 -	Importância do cobrimento da armadura.	86
Figura 2.51 -	Corrosão das barras de uma peça de concreto armado.	87



Figura 2.52 -	Processo eletroquímico da corrosão do aço no concreto úmido e permeável.	89
Figura 2.53 -	Aumento do volume do aço metálico de acordo com o estado de oxidação.	89
Figura 2.54 -	Carbonatação do concreto em função da umidade.	91
Figura 2.55 -	Aplicação de fenolftaleína em um pilar carbonatado.	93
Figura 2.56 -	Tipos de danos no concreto pela ação do congelamento.	95
Figura 2.57 -	Resistência, módulo de elasticidade e coloração do concreto frente ao fogo.	101
Figura 2.58 -	Medida da espessura de carbonatação.	103
Figura 2.59 -	Aplicação de fenolftaleína em um corpo de prova carbonatado.	104
Figura 2.60 -	Formação de estalactites devida a infiltração da água no concreto.	106
Figura 2.61 -	Eflorescência de carbonato de cálcio em superfície de concreto, devida à percolação de água através de junta de concretagem.	107
Figura 2.62 -	Eflorescência de carbonato de cálcio de uma laje de cobertura.	108
Figura 2.63 -	Representação esquemática da exsudação em concreto recém lançado.	112
Figura 3.1 -	Esquema do Esqueleto do aplicativo <i>Patologia</i> .	124
Figura 3.2 -	Configuração da placa de vídeo e do monitor.	132
Figura 3.3 -	Grupo e ícone criados pelo aplicativo.	134
Figura 3.4 -	Tela 1 do aplicativo <i>Patologia</i> .	135
Figura 3.5 -	Tela 4 - informativo sobre o aplicativo.	136
Figura 3.6 -	Tela 2 do aplicativo <i>Patologia</i> .	138
Figura 3.7 -	Barra de ferramenta do aplicativo <i>Patologia</i> .	139
Figura 3.8 -	Botão < <b>Escolha</b> > presente na barra de tarefa.	144
Figura 3.9 -	Tela 10 - Estudo - Categoria <i>Estrutural</i> selecionada.	144
Figura 3.10 -	Parte do banco de dados <i>Lest</i> .	147
Figura 3.11 -	Exemplo da primeira página da tela 11.	149
Figura 3.12 -	Botão < <b>Estudo</b> > presente na barra de tarefa.	150
Figura 3.13 -	Exemplo da configuração das demais páginas na tela 11.	152
Figura 3.14 -	Parte do banco de dados <i>Test</i> - item “ <i>Danos causados por Eflorescência</i> ”.	155
Figura 3.15 -	Página 1 da Faixa 1 do item “ <i>Danos causados por Eflorescência</i> ”.	156
Figura 3.16 -	Página 1 da Faixa 2 do item “ <i>Danos causados por Eflorescência</i> ”.	157
Figura 3.17 -	Página 1 da Faixa 20 do item “ <i>Danos causados por Eflorescência</i> ”.	158
Figura 3.18 -	Página 2 da Faixa 20 do item “ <i>Danos causados por Eflorescência</i> ”.	159



Figura 3.19 -	Página 1 da <b>Faixa 26</b> do item “ <i>Danos causados por Eflorescência</i> ”.	160
Figura 3.20 -	Tela 5 - Dados.	163
Figura 3.21 -	Botão < <b>Dados</b> > presente na barra de tarefa.	164
Figura 3.22-	Botão < <b>Identificação</b> > presente na barra de tarefa.	165
Figura 3.23-	Página 1 da tela 3.	166
Figura 3.24-	Página 2 da tela 3.	167
Figura 3.25-	Parte do banco de dados <i>Caso</i> .	170
Figura 3.26-	Parte do banco de dados <i>Slist</i> .	171
Figura 3.27-	Tela 6 - Diagnóstico do problema patológico.	172
Figura 3.28-	Botão < <b>Diagnóstico</b> > presente na barra de tarefa.	173
Figura 3.29-	Parte do banco de dados <i>Plist</i> .	177
Figura 3.30-	Fluxograma do processo de elaboração das perguntas ( tela 6 ).	181
Figura 3.31-	Botão < <b>Resultados</b> > presente na barra de tarefa.	186
Figura 3.32-	Tela 7 - Resultados do diagnóstico.	187
Figura 3.33-	Parte do banco de dados <i>Clist</i> .	190
Figura 3.34-	Parte do banco de dados <i>Dlist</i> .	192
Figura 3.35-	Tela 8 - Relatório final do aplicativo.	193
Figura 3.36-	Botão < <b>Relatório</b> > presente na barra de tarefa.	194
Figura 3.37-	Botão < <b>Imprimir</b> > presente na barra de tarefa.	198
Figura 3.38-	Tela de impressão.	198
Figura 3.39-	Botão < <b>Salvar</b> > presente na barra de tarefa.	200
Figura 3.40-	Caixa de dialogo - Salvar diagnóstico.	200
Figura 3.41-	Botão < <b>Abrir</b> > presente na barra de tarefa.	201
Figura 3.42-	Caixa de dialogo - Abrir arquivo.	202
Figura 3.43-	Botão < <b>Ajuda</b> > presente na barra de tarefa.	203
Figura A.1 -	Fissuração típica da alvenaria causada por sobrecarga vertical.	214
Figura A.2 -	Fissuras horizontais na alvenaria provenientes de sobrecarga.	215
Figura A.3 -	Ruptura localizada da alvenaria sob o ponto de aplicação da carga e propagação de fissuras a partir desse ponto.	215
Figura A.4 -	Fissuração típica nos cantos das aberturas, sob a atuação de sobrecargas.	216
Figura B.1 -	Fissuras verticais causadas por movimentações térmicas : a) destacamento entre alvenaria e pilar, b) fissura no corpo da alvenaria.	217
Figura B.2 -	Fissuras típicas nos componentes da alvenaria.	217
Figura C.1 -	Fissuras devidas a carregamentos desbalanceados.	219
Figura C.2 -	Recalques diferenciados entre pilares.	220
Figura C.3 -	Recalques diferenciados entre os diferentes sistemas de fundação.	221
Figura C.4 -	Principais causas de surgimento do recalque de fundações.	222

Figura D.1 -	Fissuras em alvenarias devidas às movimentações higroscópicas.	224
Figura D.2 -	Fissuras nas peças estruturais devidas a expansão da alvenaria.	224
Figura D.3 -	Configurações típicas de fissuração devidas a absorção de umidade dos tijolos.	225
Figura D.4 -	Fissura horizontal na base da alvenaria por efeito da umidade do solo.	226
Figura D.5 -	Destacamento da argamassa no topo do muro.	226



## ÍNDICE DE TABELAS

---

	<b>Página</b>
Tabela 2.1 - Óxidos presentes no cimento Portland.	14
Tabela 2.2 - Principais compostos do cimento Portland.	15
Tabela 2.3 - Abreviações dos óxidos.	15
Tabela 3.1 - Resumo dos bancos de dados presentes no programa <i>Patologia</i> .	128
Tabela 3.2 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Lest</i> e <i>Lmat</i> .	129
Tabela 3.3 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Test</i> e <i>Tmat</i> .	129
Tabela 3.4 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Caso</i> .	130
Tabela 3.5 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Slist</i> .	130
Tabela 3.6 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Plist</i> .	130
Tabela 3.7 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Clist</i> .	131
Tabela 3.8 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Dlist</i> .	131
Tabela 3.9 - Descrição dos tipos da variáveis utilizadas pelos bancos de dados.	131
Tabela 3.10 - Função dos botões presentes na barra de tarefa.	140
Tabela 3.11 - Relação dos assuntos catalogados e armazenados no aplicativo <i>Patologia</i> .	143
Tabela 3.12 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Lest</i> e <i>Lmat</i> .	146
Tabela 3.13 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Test</i> e <i>Tmat</i> .	153
Tabela 3.14 - Tipo de estruturas e elementos estruturais analisados pelo aplicativo <i>Patologia</i> .	162
Tabela 3.15 - Exemplo do preenchimento dos quadros da <b>tela 5</b> .	164
Tabela 3.16 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Caso</i> .	168
Tabela 3.17 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Slist</i> .	168
Tabela 3.18 - Resumo dos itens selecionados na página 1 da <b>tela 3</b> .	169
Tabela 3.19 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Plist</i> .	174
Tabela 3.20 - Valores correspondentes para cada resposta dada pelo usuário.	176
Tabela 3.21 - Valores armazenados nos componentes da variável <b>DIAGRESP</b> após a <b>tela 6</b> ter sido ativada pela primeira vez.	178
Tabela 3.22 - Lista das perguntas feitas pelo aplicativo e as suas respectivas respostas.	184
Tabela 3.23 - Valores armazenados nos componentes da variável <b>DIAGRESP</b> após ter sido respondido as perguntas.	185
Tabela 3.24 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Clist</i> .	188
Tabela 3.25 - Estrutura de dados do banco de dados <i>Dlist</i> .	188
Tabela 3.26 - Valores armazenados na variável <i>P</i> .	190
Tabela 3.27 - Valores armazenados na variável <b>DIAGNOSTICOS</b> .	191



# CAPÍTULO 1

---

## 1 - INTRODUÇÃO

A recuperação de estruturas de concreto armado é uma das atividades da Engenharia Civil que mais tem crescido no mundo nos últimos anos. Isso tem ocorrido em consequência do uso indiscriminado do concreto armado sem a preocupação com a durabilidade das estruturas. Estas, aparentemente novas, encontram-se em estado avançado de degradação, suscitando reparos urgentes, de elevado custo, com base muitas vezes, em diagnósticos precipitados e sem embasamento técnico apropriado.

A magnitude dos danos é especialmente grande em estruturas expostas a ambientes marinhos e a elementos químicos degelantes. Segundo o Prof.º Paulo J. M. Monteiro [15] em recente palestra proferida no auditório da EE.UFMG<sup>1</sup>, cerca de 200 bilhões de dólares estão sendo gastos, atualmente, apenas nos Estados Unidos, na recuperação de mais de 500 mil pontes e viadutos. Muitas dessas obras foram interditadas por oferecer riscos ao usuário. Dessas 500 mil pontes, 100 mil foram feitas utilizando concreto de alta resistência. No Japão os gastos em estruturas com problemas semelhantes chegam a 100 bilhões de dólares.

O grande mercado de recuperação de médias e grandes estruturas, que foram projetadas e construídas com concreto de baixa qualidade, reflete, de certo modo, nossa história recente do mau emprego do concreto armado em nosso meio.

Até recentemente os engenheiros calculistas estavam mais preocupados, ao projetar uma estrutura de concreto armado, na sua concepção e em garantir o sistema estrutural idealizado. O único dado, relativo ao concreto, que era levado em conta ao se

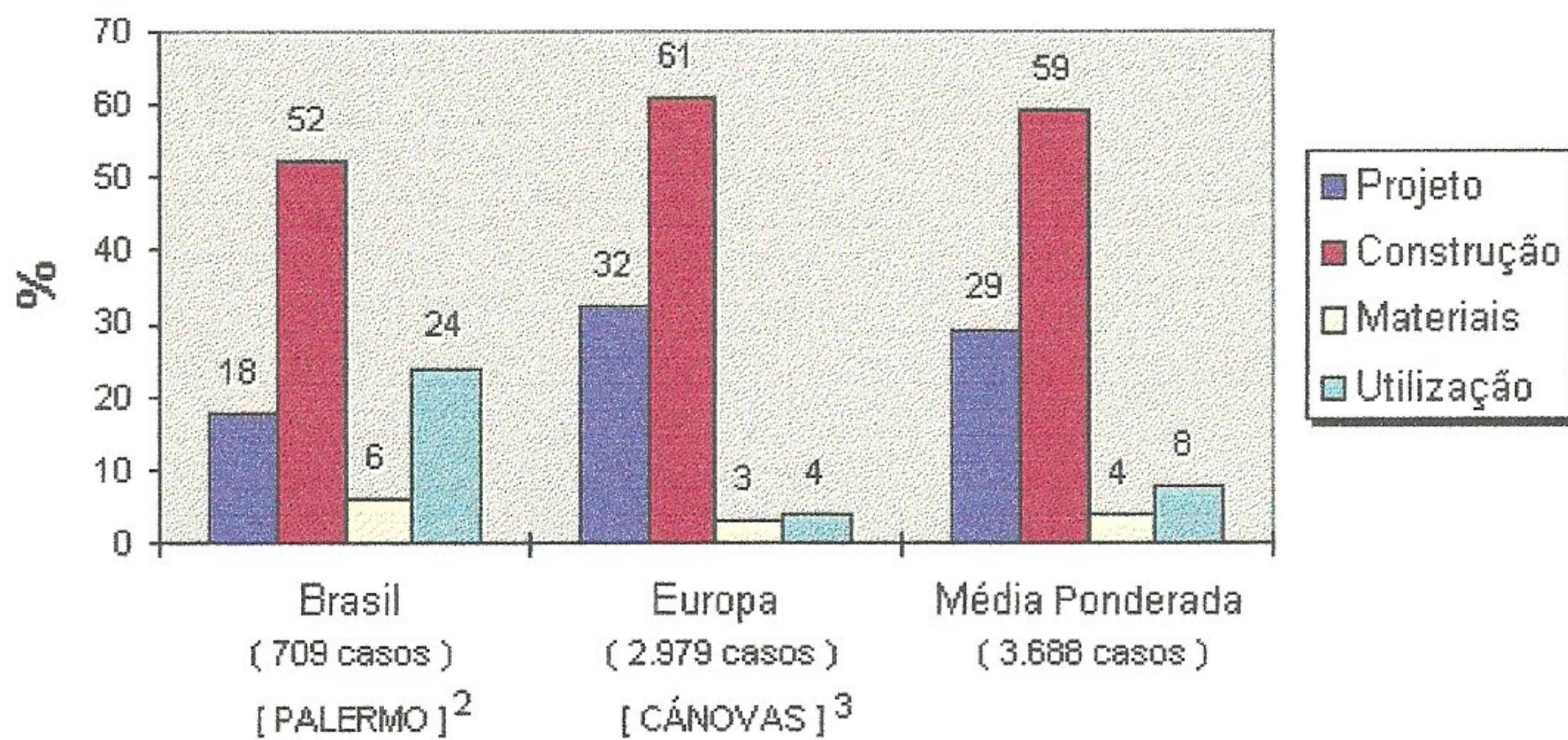
---

<sup>1</sup> Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais



projetar uma estrutura era a resistência característica do concreto à compressão,  $f_{ck}$ . Cabia ao engenheiro responsável pela obra em preocupar-se apenas em definir uma dosagem que atendesse a essa única exigência ditada pelo cálculo estrutural.

Da análise dos erros ou anomalias encontrados na construção civil na Europa e no Brasil, verifica-se uma nítida distribuição, em percentagem (%), de quatro causas relacionadas diretamente com as obras de concreto armado : erro de projeto, erro de construção, erro na escolha e utilização de materiais e o uso da estrutura, figura 1.1. Os dados contidos na figura 1.1 abrangem as décadas de 50 a 70.



**Figura 1.1 - Avaliação dos erros mais comuns na construção civil. [11]**

De uma forma geral, essa distribuição apresentada na figura 1.1 reflete uma certa identidade ou tendência entre o Brasil e os demais países pesquisados nas causas representativas do erro na construção civil. Há, entretanto, uma diferença acentuada no que diz respeito à utilização da obra : 24% no Brasil para apenas 4% na Europa. O uso indevido das edificações no Brasil, com mudanças na sua função básica definida no projeto, sem planejamento ou acompanhamento de técnicos especializados, por parte do usuário, explica essa diferença apresentada na figura 1.1.

<sup>2</sup> Referência Bibliográfica [17]

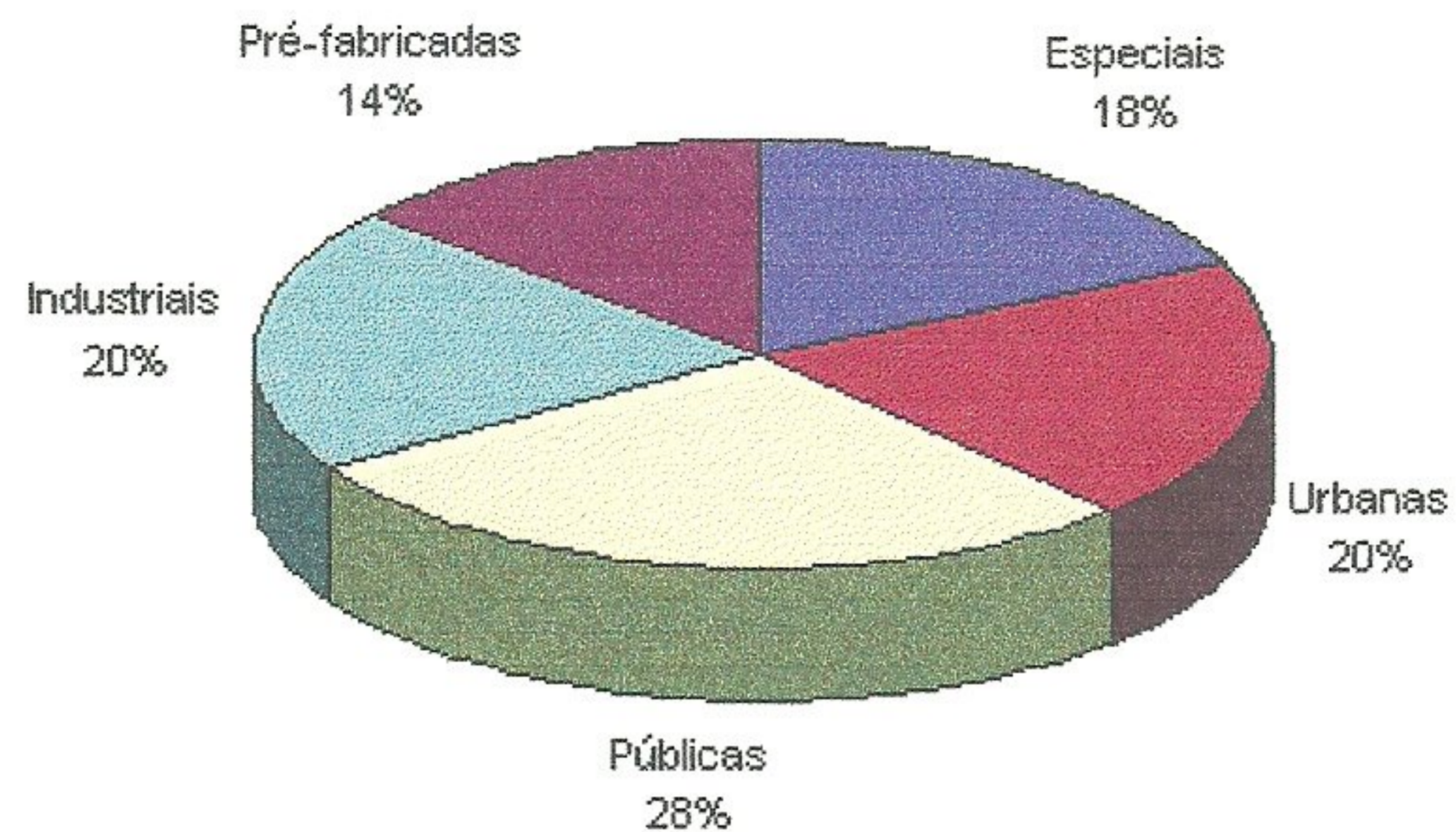
<sup>3</sup> Referência Bibliográfica [ 4]



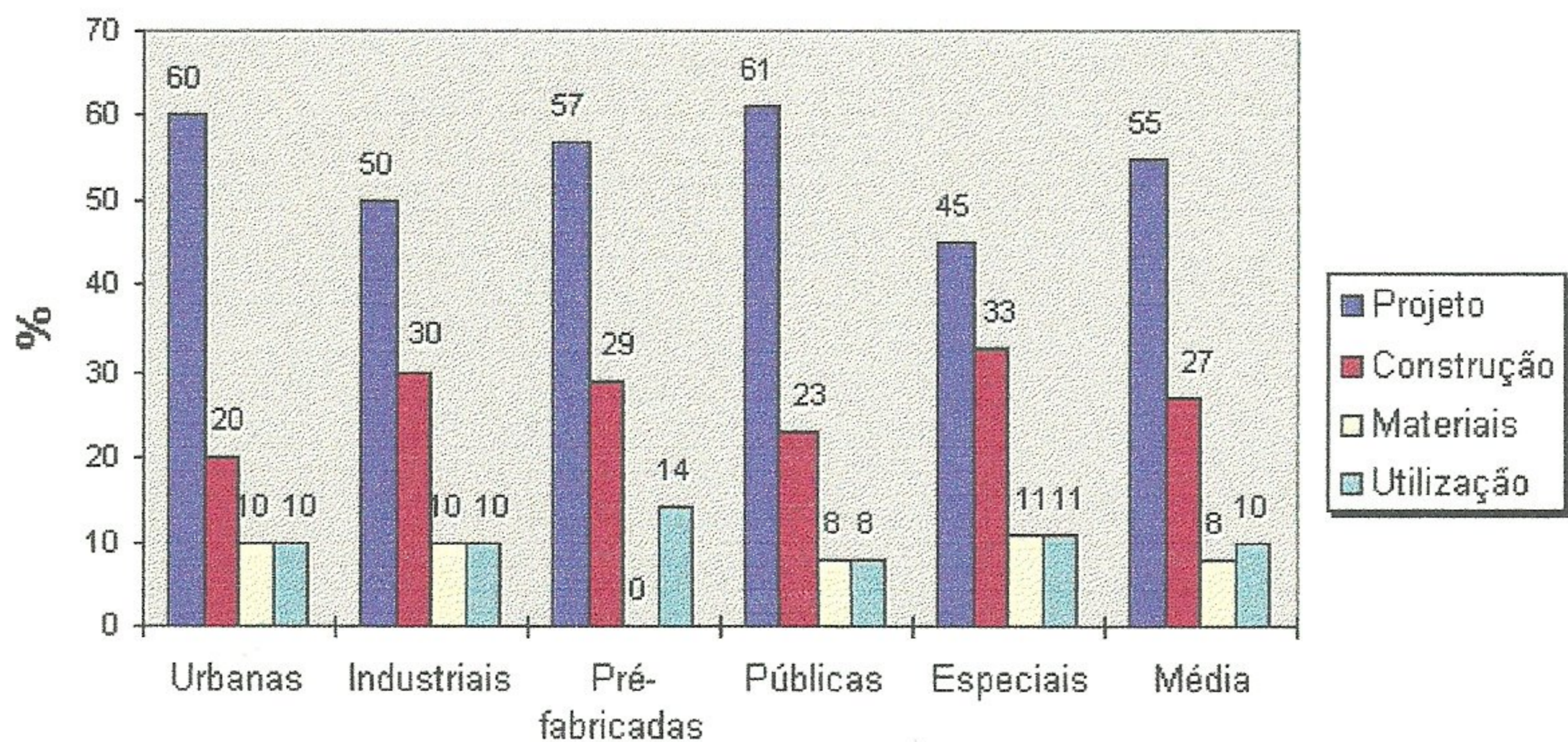
Como consultor em Engenharia de Estruturas, o Prof.º José Celso da Cunha [11], tem trabalhado nos últimos anos na iniciativa privada e sobretudo no Departamento de Engenharia de Estruturas da EE.UFMG, na solução de problemas relacionados à recuperação, reforços, modificações ou adaptações de estruturas de diversos tipos e graus de dificuldade. Um levantamento, feito a partir de trabalhos de consultoria de que já participou, revela que existe uma distribuição percentual diferente daquelas da figura 1.1, quando o erro da construção está relacionado com a estrutura de concreto armado ou protendido. A Figura 1.2 mostra esse levantamento.



**Universo Analisado e Solucionado  
em 49 casos de 1986 a 1993**



**Causa ou Origem dos Erros ou Anomalias**



**Figura 1.2 - Erros relacionados com estruturas de concreto armado ou protendido em alguns tipos de obras. [11]**

Comparando-se as médias obtidas nos gráficos das figuras 1.1 e 1.2, observa-se, uma nítida inversão de valores entre os erros originados na fase do projeto com aqueles ocorridos na fase de construção.



Ao contrário do que possa parecer, essa diferença não reflete melhorias nos processos construtivos que possam justificá-la, ao baixar da média de 59 % na figura 1.1, para a de 27% na figura 1.2. O que é significativo nessa avaliação é sobretudo o aumento na perda de qualidade do projeto estrutural, muitas vezes executado por profissionais sem experiência e despreparados que, dentro de um quadro nacional recessivo tendem a proliferar, por não serem exigidos maiores investimentos financeiros para o exercício da profissão.

As anomalias de grande intensidade são aquelas que deixam a construção muitas vezes sem condições de serem reaproveitadas ou recuperadas economicamente. Aquelas de menor intensidade podem, por sua vez, conduzir a soluções paliativas que resultam em retrabalho, em várias épocas, com valor final elevado, podendo, além disso, não satisfazer plenamente como solução definitiva ao problema apresentado.

Diante disso, essa dissertação visa a agilizar o diagnóstico dos problemas que ocorrem em estruturas de concreto armado, com base em uma sistematização ordenada das causas possíveis que contribuem com o surgimento das patologias nessas estruturas.

Para isto montou-se com um acervo técnico de projetos, estudos, detalhes técnicos, fotografias de obras com problemas e desenhos de diversas estruturas que tiveram problemas em sua construção originadas por erros ocorridos em qualquer uma das etapas do seu processo de produção e uso. Paralelamente foi feito a sistematização dos diagnósticos técnicos que serviram para resolver os problemas das estruturas analisadas, cuja principal função é o de automatizar e agilizar a identificação das causas desses problemas.

Para o processamento desse acervo foi desenvolvido um *software*, com base na programação em ambiente *Windows* denominado **Patologia**. No *software Patologia* foram armazenados mais de 200 recursos gráficos entre eles fotos, figuras e gráficos sobre estruturas com problemas patológicos, com as finalidades de orientar o usuário na obtenção de um diagnóstico para um problema ocorrido em sua obra e auxiliar os

futuros profissionais, na área de recuperação de estruturas, na compreensão do assunto desenvolvido.

Para a obtenção de um diagnóstico de um problema patológico ocorrido em uma estrutura de concreto armado, o usuário irá interagir junto ao aplicativo, indicando ao *software*, o componente estrutural com problema, respondendo as perguntas feitas por ele para que no final possa obter uma lista de prováveis diagnósticos para o problema. Com o objetivo de auxiliar os futuros profissionais, nessa área de conhecimento, o aplicativo **Patologia**, apresenta um banco de dados com informações variadas sobre os principais problemas patológicos e seus sintomas característicos, bem como alguns aspectos importantes sobre o material concreto.



## CAPÍTULO 2

---

### 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - Patologia do concreto armado

Segundo CANOVAS [4] *“Patologia das estruturas pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.”*

As estruturas, hoje projetadas e executadas, exigem muito mais cuidado do que as de tempos atrás. Antigamente as estruturas de concreto armado eram robustas e pesadas. As seções de vigas, pilares e demais componentes das estruturas eram pouco solicitadas, o cobrimento das armaduras era maior e a quantidade de cimento utilizada por metro cúbico de concreto era superior à utilizada hoje em dia.

Tais fatores contribuíram para que as estruturas projetadas antigamente aguentassem, durante anos, agressões importantes sem colocar em perigo sua integridade. Podemos citar por exemplo, em Belo Horizonte, o viaduto de Santa Tereza construído, na década de 30, que mesmo situado em um meio relativamente agressivo preserva de certa forma sua integridade estrutural.

Com o passar do tempo o engenheiro evoluiu seu conhecimento, avançou e descobriu novas tecnologias a respeito do comportamento dos materiais componentes do concreto armado e melhorou o controle tecnológico para a obtenção de melhores resultados.



Com o aumento obtido na resistência do concreto nos últimos tempos, as estruturas projetadas e construídas em concreto estrutural tornaram-se mais esbeltas e menos robustas. A partir da década de 40 em alguns países as estruturas passaram a ser projetadas utilizando-se o método dos estados limites. A patologia da construção está intimamente ligada às qualidades do projeto e da construção. Embora esta última tenha avançado muito e continue progredindo cada vez mais, os casos patológicos não diminuíram na mesma proporção.

Antes desses avanços tecnológicos, as estruturas projetadas e executadas possuíam menos problemas e maior durabilidade. Estruturas mais recentes, mesmo com a evolução tecnológica, apresentam uma baixa durabilidade, necessitando gastos adicionais na recuperação das mesmas.

A preocupação com a durabilidade das estruturas passa a ocupar um papel importante no projeto e na execução das estruturas de concreto armado em todo o mundo.

Observar a qualidade dos materiais componentes do concreto, fazer um concreto pouco permeável, obedecer ao cobrimento mínimo exigido por norma, prever uma drenagem eficiente e outras condições, passam a ser medidas importantes para se obter uma maior durabilidade da estrutura, dentre outras coisas.

O problema da durabilidade em estruturas de concreto armado e protendido, é um tema atual, presente nas revisões das principais normas internacionais de concreto estrutural.

As estruturas de concreto armado devem ser projetadas, construídas e utilizadas com vistas à sua durabilidade, ou seja, de tal modo que sob as condições ambientais esperadas, conservem sua segurança, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período prefixado de tempo, sem exigir altos custos imprevistos de manutenção e

reparo. A este período prefixado de tempo, assim definido, designa-se, vida útil da estrutura.

As decisões de projeto, visando a assegurar a vida útil prevista, são determinadas a partir do conhecimento da agressividade do meio, ou seja, das condições ambientais e de exposição da estrutura.

As medidas mínimas de inspeção, monitoramento e manutenção preventiva, necessárias para assegurar a vida útil da estrutura devem fazer parte integrante nos projetos.

O conhecimento dos materiais empregados na construção é de vital importância para o projeto e a construção na Engenharia Civil. Tanto os materiais da estrutura como aqueles usados para o seu acabamento têm essa importância vital.

O colapso de uma estrutura é, na verdade, colapso do material constituinte dessa estrutura, porque ou ele foi incorretamente especificado ou não apresentou as propriedades previstas. O primeiro caso é devido ao desconhecimento, por parte das pessoas envolvidas com a estrutura, do comportamento do material utilizado face às ações mecânicas, físicas e químicas a que será submetido.



## **2.2 - O material concreto [3] [15] [16]**

### **2.2.1 - Considerações preliminares**

A aplicação dos conhecimentos da Ciência dos Materiais está sendo gradativamente introduzida no estudo dos materiais de construção civil com a finalidade de aprimorá-los.

As propriedades macroscópicas do material dependem da sua estrutura interna. Assim, pelo conhecimento dessa estrutura, é possível compreender as características dos materiais e, conseqüentemente, há a possibilidade de aprimorá-las [15].

O estudo convencional dos materiais de construção, no nível macroscópico, é geralmente realizado através de ensaios mecânicos, consistindo na determinação das suas características. No nível microscópico, através de ensaios físicos e de microscopia, estudam-se as fases, as partículas e os grãos dos materiais, avaliando-se as suas características.

Segundo Metha [15], conhecendo a microestrutura de um dado material e a relação da sua estrutura com as propriedades macroscópicas, através da Ciência dos Materiais, pode-se otimizar essa estrutura e, assim, obter melhores propriedades do material. Esse raciocínio já é aplicado às pastas de aglomerantes, e algumas teorias já estão estabelecidas quanto a hidratação do cimento e à formação da pasta endurecida; com isso, obtiveram-se cimentos ( e, conseqüentemente, concretos ) com maior resistência mecânica e durabilidade.

### **2.2.2 - Componentes do Concreto**

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.

O agregado é o material granular, tal como a areia, o pedregulho, a pedra britada ou escória de alto forno. O agregado pode ser classificado em agregado graúdo e agregado miúdo.

O agregado graúdo refere-se à partículas maiores de 4.8 mm. O agregado miúdo, a partículas menores que esse valor.

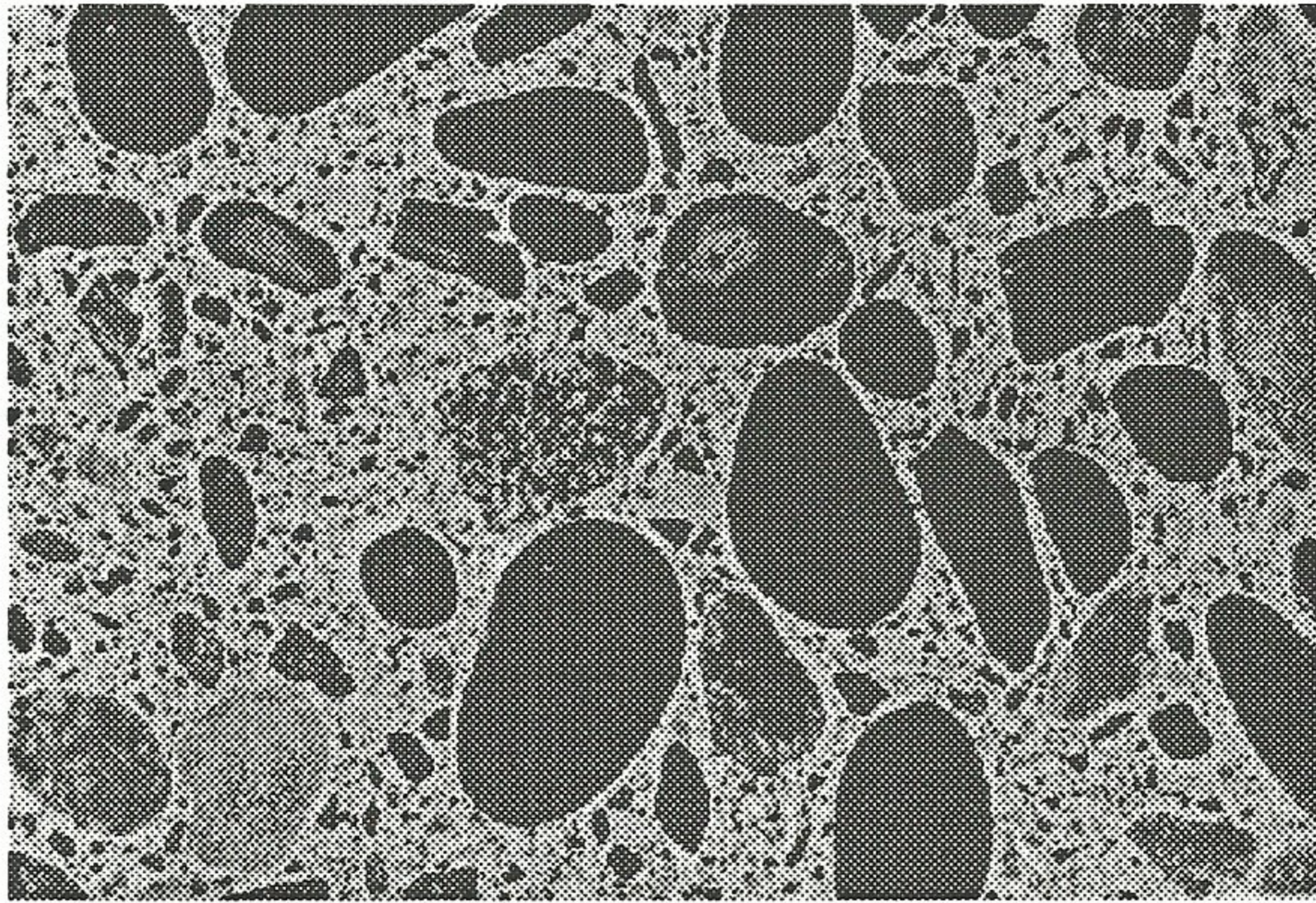
O cimento é um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas que desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação, ou seja, de reações químicas entre os minerais do cimento e água.

### **2.2.3 - Estrutura do Concreto**

O tipo, a quantidade, o tamanho, a forma, e a distribuição das fases presentes em um sólido constituem a sua estrutura. As propriedades de um material podem ser alteradas por mudanças adequadas na estrutura do material. Embora o concreto seja o material estrutural mais amplamente empregado, a sua estrutura é heterogênea, altamente complexa e desconhecida da maioria das pessoas na construção civil.

A nível macroscópico, figura 2.1, o concreto pode ser considerado como um material bifásico, consistindo de partículas de agregado dispersas em uma matriz de cimento.





**Figura 2.1 - Seção polida de um corpo de prova de concreto. [15]**

A nível microscópico, começam a aparecer as complexidades da estrutura do concreto. Essas duas fases não estão distribuídas homogeneamente, uma em relação à outra, nem são em si mesmas homogêneas. Em algumas áreas, a massa da pasta aparece tão densa quanto o agregado enquanto em outras é altamente porosa.

Na presença de agregados, a estrutura da pasta, na vizinhança de partículas grandes de agregados, é comumente muito diferente da estrutura da matriz.

Muitos aspectos do comportamento do concreto sob tensão podem ser explicados somente quando a interface pasta cimento e agregado é tratada como uma terceira fase da estrutura do concreto. Essa região interfacial entre as partículas de agregado graúdo e a pasta é denominada de Zona de Transição [15].

De uma maneira sucinta podemos dizer que a estrutura do concreto é formada por três fases, e que cada uma delas é de natureza multifásica. Cada partícula de agregado pode conter vários minerais, além de microfissuras e vazios. E tanto a matriz



de cimento como a zona de transição contém geralmente uma distribuição heterogênea, de diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, poros e microfissuras.

A zona de transição, geralmente o elo mais fraco da estrutura do concreto, é considerada a fase de resistência limite no concreto. A estrutura do concreto não permanece estável. Isto porque a matriz de cimento e a zona de transição estão sujeitas à modificações com o tempo, umidade ambiente e temperatura.

#### **2.2.4 - Aglomerantes Hidráulicos**

Os aglomerantes hidráulicos consistem essencialmente de cimento Portland e suas diversas modificações. Os cimentos hidráulicos são aglomerantes que não só endurecem através de reações com água, como também formam um produto resistente à água.

##### **2.2.4.1 - Cimento Portland**

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

##### **2.2.4.2 - Clínqueres**

São nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sintetizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.

### 2.2.4.3 - Composição Química do cimento Portland

Embora o cimento Portland consista essencialmente de vários compostos de cálcio, os resultados de análises químicas de rotina são expressos em termos de óxidos dos elementos presentes. Os principais óxidos constituintes do cimento portland estão relacionados na tabela 2.1.

Óxido	Nome
CaO	Cal
SiO <sub>2</sub>	Sílica
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de ferro
MgO	Óxido de Magnésio
SO <sub>3</sub>	Anidrido Sulfúrico
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sódio
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potássio

**Tabela 2.1 - Óxidos presentes no cimento Portland.**

Os quatro primeiros óxidos da tabela 2.1 são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente, 93 a 96 % do total na análise dos óxidos.

Os óxidos de potássio e de sódio constituem os denominados álcalis do cimento. São principalmente provenientes dos compostos da argila presentes na mistura da matéria prima ou no carvão.

O anidrido sulfúrico e o óxido de magnésio são adicionados após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto.

A mistura de matérias que contenha, em proporções convenientes, os constituintes da tabela 2.1, finamente pulverizada e homogeneizada, é submetida à ação



do calor no forno produtor de cimento, até a temperatura de fusão incipiente, que resulta na obtenção do clínquer.

Nesse processo ocorrem combinações químicas, que conduzem à formação de compostos. Os principais compostos, suas abreviações e nomes estão relacionados na tabela 2.2.

Compostos	Abreviação	Nome
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	silicato tricálcico
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	silicato bicálcico
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	aluminato tricálcico
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	ferro aluminato tetracálcico

**Tabela 2.2 - Principais compostos do cimento Portland.**

Na tabela 2.3 estão indicadas as abreviações empregadas em química do cimento.

Óxido	Abreviação
CaO	C
SiO <sub>2</sub>	S
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F
SO <sub>3</sub>	$\bar{S}$
H <sub>2</sub> O	H

**Tabela 2.3 - Abreviações dos óxidos.**

No clínquer do cimento Portland, ocorrem a presença de MgO e CaO cristalinos. A hidratação desses dois compostos é lenta e expansiva. Sob certas condições podem causar fissuras e expansão no concreto endurecido.



A moagem do clínquer misturado ao gesso é uma das últimas etapas da fabricação do cimento. Uma vez que a hidratação começa na superfície das partículas de cimento, é a área total da superfície do cimento que representa o material disponível para hidratação.

A finura do cimento está relacionada com o tamanho dos grão do produto. É usualmente definida de duas maneiras distintas : pelo tamanho máximo do grão e pelo valor da superfície específica ( soma das superfícies dos grãos contidos em um grama de cimento ).

A finura, mais precisamente a superfície específica do produto, é o fator que governa a velocidade da reação de hidratação do mesmo. Para uma dada composição, a taxa de reatividade e, portanto, de desenvolvimento da resistência, pode aumentar através de uma moagem mais fina do cimento.

### **2.2.5 - Estrutura da Pasta Endurecida**

O termo pasta endurecida refere-se à pastas de cimento, resultantes das reações químicas entre os minerais do cimento Portland e a água. Esse processo é denominado hidratação do cimento.

#### **2.2.5.1 - Hidratação do cimento Portland**

A resistência mecânica do cimento endurecido é a propriedade do material talvez mais necessária para o uso estrutural

O cimento Portland por si só não aglomera a areia e o agregado graúdo, ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água. Isso ocorre porque a reação



química do cimento com a água, chamada de hidratação do cimento, gera produtos que possuem características de pega e endurecimento.

O silicato tricálcio é o maior responsável pela resistência em todas as idades do concreto, especialmente até o fim do primeiro mês de cura. O silicato bicálcio adquire maior importância no processo de endurecimento em idades mais avançadas, sendo largamente responsável pelo ganho de resistência a um ano ou mais. Já tanto o aluminato tricálcio como o ferro aluminato de cálcio pouco contribui para a resistência.

#### **2.2.5.2 - Principais compostos formados devido à hidratação do cimento**

- **Silicatos de cálcio hidratados**

A hidratação do  $C_3S$  e do  $C_2S$  produz uma família de silicatos de cálcio hidratados estruturalmente similares.

Tornou-se mais comum referir-se a essa família de silicatos de cálcio hidratados simplesmente como **C-S-H**.

A hidratação do  $C_3S$  produz 61% de C-S-H e 39% de hidróxido de cálcio  $Ca(OH)_2$ . Já a hidratação do  $C_2S$  produz 82% de C-S-H e 18% de hidróxido de cálcio.

É um material pouco cristalino e forma um sólido poroso que apresenta características de um gel rígido. O **C-S-H** constitui de 50 a 60% do volume total de sólidos de uma pasta de cimento Portland completamente hidratado e é, conseqüentemente, o composto mais importante na determinação das propriedades da pasta.



- **Hidróxido de Cálcio**

Os cristais de hidróxido de cálcio, também conhecidos como portlandita, constituem 20 a 25% do volume total dos sólidos na pasta hidratada. A sua formação deve-se à reação de hidratação do  $C_3S$  e do  $C_2S$ .

O  $Ca(OH)_2$  apresenta-se como cristais grandes, sob a forma de prismas hexagonais distintos.

- **Sulfoaluminatos de cálcio**

Os sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 15 a 20% do volume total de sólidos na pasta de cimento endurecida. Ele se apresenta como cristais sob a forma de placas hexagonais.

- **Grão de Clínquer não hidratados**

Dependendo da distribuição do tamanho das partículas de cimento anidro e do grau de hidratação, alguns grãos de clínquer não hidratados podem ser encontrados na microestrutura de pasta de cimento hidratado, mesmo após longo período de hidratação.

### **2.2.5.3 - Vazios na pasta endurecida**

Além dos sólidos descritos anteriormente, a pasta contém diferentes tipos de vazios, os quais têm uma influência importante em suas propriedades.



- **Espaço interlamelar no C-S-H**

Estima-se que a largura do espaço interlamelar na estrutura do C-S-H pode variar de 5 a 25 Å. Este tamanho de vazio é muito pequeno para ter um efeito desfavorável sobre a resistência e a permeabilidade da pasta.

- **Vazios Capilares**

A hidratação do cimento deve ser considerada como um processo durante o qual o espaço inicialmente ocupado pelo cimento e a água vai sendo gradativamente substituído pelo espaço preenchido pelos produtos de hidratação. O espaço não ocupado pelo cimento e produtos de hidratação consiste de vazios capilares, sendo o volume e o tamanho dos capilares determinados pela distância inicial entre as partículas de cimento anidro na pasta de cimento recém misturada, ou seja, relação água/cimento e o grau de hidratação do cimento.

O volume total de vazios capilares, conhecido como porosidade, em pasta de cimento Portland, tendo diferentes relações água/cimento, diferentes graus de hidratação e sua influência nas propriedades do concreto, será descrito no item 2.6 deste capítulo.

- **Ar Incorporado**

Enquanto os vazios capilares têm forma irregular, os vazios de ar incorporado são geralmente esféricos. O ar pode ser adicionado à pasta de cimento propositadamente através de aditivos ou ser aprisionado na pasta fresca de cimento durante a operação de mistura.



Os efeitos do ar incorporado nas propriedades do concreto serão discutidos no item 2.6 deste capítulo.

#### 2.2.5.4 - A água na pasta endurecida

Na pasta de cimento hidratado, a água pode estar presente sob muitas formas. Estas podem ser classificadas, de forma diferente, dependendo do grau de facilidade com que podem ser removidas. Esta classificação é útil na compreensão das variações de volume da pasta de cimento que estão associadas à água retida nos poros pequenos.

Os diferentes tipos de água associados ao C-S-H estão ilustrados na figura 2.2.

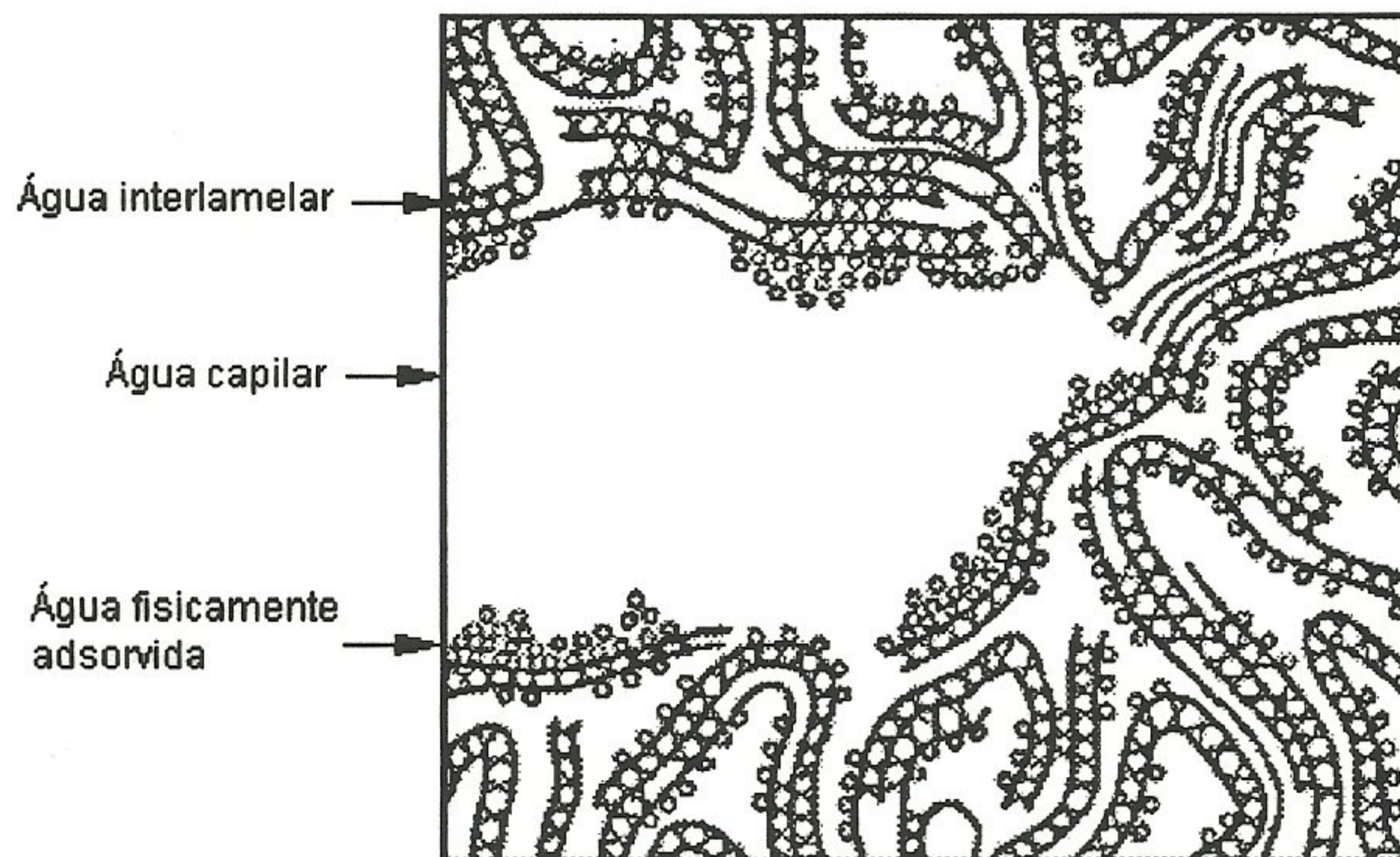


Figura 2.2 - Tipos de água associados ao silicato de cálcio hidratado. [15]



- **Água Capilar**

Esta é a água presente nos vazios, cujos diâmetros sejam maiores do que 50 Å. Ela pode ser descrita como o volume de água livre da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida.

- **Água Adsorvida**

É a água que está próxima à superfície do sólido, ou seja, sob a influência de forças de atração, as moléculas de água estão fisicamente adsorvidas na superfície dos sólidos da pasta.

- **Água Interlamelar**

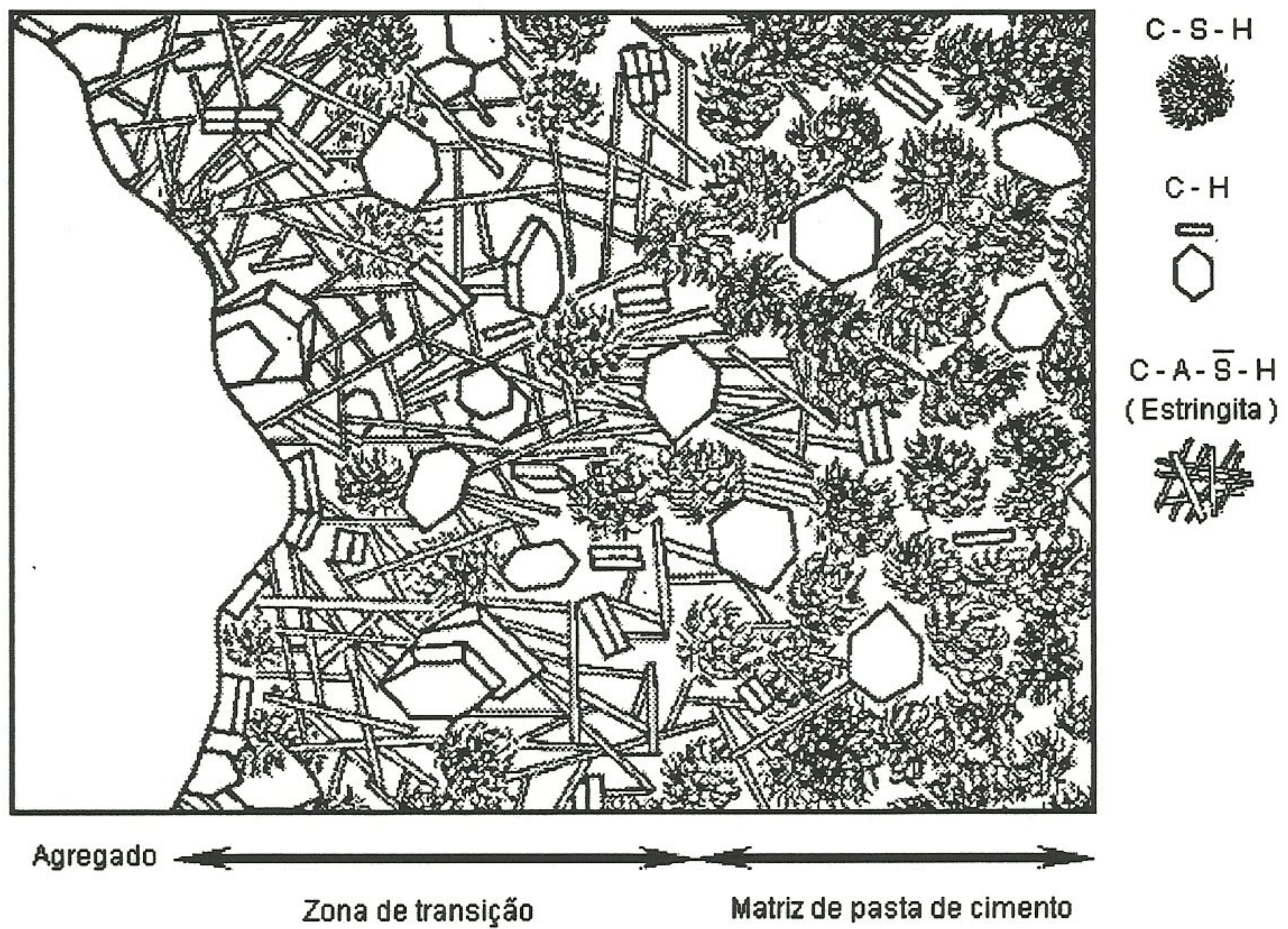
Esta é a água associada à estrutura do **C-S-H**. Ela está presente entre as camadas de **C-S-H** fortemente ligada por pontes de hidrogênio. É também conhecida por água de gel.

- **Água quimicamente combinada**

É a água que é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento.



### 2.2.6 - Estrutura da Zona de Transição



**Figura 2.3 - Representação diagramática da zona de transição e da matriz de pasta de cimento no concreto. [15]**

Na figura 2.3, estão mostrados, através de uma representação esquemática da zona de transição e da matriz de pasta de cimento no concreto, os principais compostos resultantes da hidratação do cimento e suas respectivas localizações na pasta de cimento.



### **2.2.7 - Estrutura da Fase Agregados**

A fase agregado é predominantemente responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade, e estabilidade dimensional do concreto. Além da porosidade, a forma e a textura do agregado graúdo também afetam as propriedades do concreto.

Sendo geralmente mais resistente do que as duas outras fases do concreto, para os concretos de resistência normais a fase agregado não tem influência direta sobre a resistência do concreto, exceto no caso de alguns agregados altamente porosos e fracos, como o agregado de pedra pomes.



### **2.3 - Durabilidade do concreto versus agressividade do meio [14]**

A cada dia o concreto é solicitado a desempenhar funções de maior responsabilidade nas construções em concreto armado e protendido.

Isto se deve, por um lado, à necessidade de responder à evolução dos critérios de dimensionamento mais afinados que possibilitam obter peças mais esbeltas, vão maiores, tensões e deformações mais elevadas. Por outro lado, existe sempre a limitação imposta pelos custos e prazos que forçam o emprego de processos construtivos onde o concreto é submetido à ação de agentes agressivos a baixas idades.

As estruturas de concreto armado devem ser projetadas, construídas e utilizadas com vistas à sua durabilidade. É essencial que o concreto resista às condições para as quais foi projetada, com um mínimo de manutenção, por muitos anos.

Nenhum material é inerentemente durável; como um resultado de interações ambientais, a microestrutura e conseqüentemente, as propriedades dos materiais mudam com o passar do tempo. Admite-se que um material atingiu o fim de sua vida útil quando as suas propriedades, sob dadas condições de uso, deterioram a um tal ponto que a continuação do uso deste material é considerada, como insegura, ou antieconômica.

A deterioração do concreto raramente é devida a uma causa isolada. Por isso, às vezes, é difícil atribuir o problema a um fator determinado. A perda de massa por desgaste superficial e a fissuração aumentam a permeabilidade do concreto, que então se torna causa principal de um ou mais processos de deterioração química, como a corrosão da armadura ou o ataque dos sulfatos no concreto.

A presença de água ou de umidade é o fator isolado mais importante nos mecanismos de transporte e de deterioração.



As medidas mínimas de inspeção, monitoramento e manutenção preventiva, necessárias à assegurar a vida útil da estrutura, devem fazer parte integrante do projeto.

Podemos agrupar as causas da deterioração do concreto armado em três grandes grupos :

- a) solicitações mecânicas intensas para as quais não estava projetado,
- b) ações físicas especiais, tais como : abrasão, cavitação, ação do calor e do frio e outras,
- c) processos químicos e físico-químicos de deterioração por ação de agentes agressivos que entrem em contato com o concreto, tais como : gases, líquidos e sólidos.

Porém, na prática, as três causas assinaladas frequentemente se sobrepõem. À exceção do primeiro, que resulta de uma imprevisão do projeto ou ação excepcional sobre a estrutura, os outros dois **b** e **c**, podem ser prevenidos, a partir da escolha adequada dos materiais.

Evidentemente essa escolha deve levar em conta a agressividade, de um meio específico. Logo conclui-se que o conhecimento do material concreto, seus componentes e o comportamento da estrutura são de extrema importância para obtenção de um diagnóstico preciso das causas dos problemas patológicos envolvidos.



## 2.4 - Durabilidade

Como já mencionado, durante muitos anos, o valor da resistência à compressão do concreto,  $f_{ck}$  foi a única propriedade do concreto exigida pelos Engenheiros Calculistas ao projetar uma estrutura de Concreto Armado.

Entretanto, as demais propriedades do concreto não podem ser esquecidas ou ignoradas, nem dissociadas do comportamento das estruturas. Elas devem ser uma preocupação constante do calculista, desde a fase de concepção do projeto até a sua correta especificação e aplicação na estrutura durante a construção.

A durabilidade do material concreto é definida como sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente.

Nas normas na década de 90, como o CEB / 90 e a nova NB-1 [7], a durabilidade das estruturas em concreto estrutural passa a ocupar um papel importante no projeto e execução das estruturas de concreto armado.

Hoje em dia é usualmente aceito que, ao projetarem-se estruturas, as características de durabilidade dos materiais em questão devam ser avaliadas com o mesmo cuidado que os outros aspectos, tais como propriedades mecânicas e custo.



## **2.5 - Principais meios agressivos ao concreto [14] [15]**

### **2.5.1 - A água como um agente de deterioração**

#### **2.5.1.1 - Considerações preliminares**

A água é sem dúvida causa de muitos tipos de processos físicos de degradação nas estruturas de concreto armado. E como veículo de íons agressivos é também considerada como fonte de processos químicos de degradação do concreto.

Ela apresenta a habilidade de dissolver mais substâncias do que qualquer outro líquido conhecido, devido à sua capacidade de penetrar em cavidades ou poros extremamente finos. A presença de muitos íons e gases prejudiciais dissolvidos na água são capazes de causar decomposição química de materiais sólidos.

O concreto não é o único material vulnerável aos processos físicos e químicos de deterioração associados à água.

A água que é o agente primário, tanto da criação quanto da destruição de muitos materiais da natureza, é o fator central causador da maioria dos problemas de durabilidade do concreto.

Na prática, a deterioração do concreto raramente é devida a uma causa única; geralmente, em estágios avançados da degradação do material, mais de um fenômeno deletério está em ação.

A matriz de cimento do concreto é alcalina, conseqüentemente, a sua exposição à águas ácidas é prejudicial ao material.



A facilidade com que o concreto se satura com água tem papel importante na vulnerabilidade do concreto ao congelamento.

A entrada de umidade e ar pode provocar a corrosão da armadura. A fissuração e a desagregação do concreto são algumas das consequências do aumento do volume da armadura causado pela corrosão.

Diante disso a impermeabilidade do material, e a estanqueidade da estrutura, tornam-se os principais fatores determinantes da durabilidade. A impermeabilidade da pasta é uma característica altamente apreciada porque se admite que uma pasta impermeável resultaria num concreto impermeável.

#### 2.5.1.2 - Permeabilidade [15]

A permeabilidade é definida como a facilidade com que um fluido pode escoar através de um sólido. Para o fluxo contínuo, o coeficiente de permeabilidade,  $K$  é determinado pela expressão de Darcy :

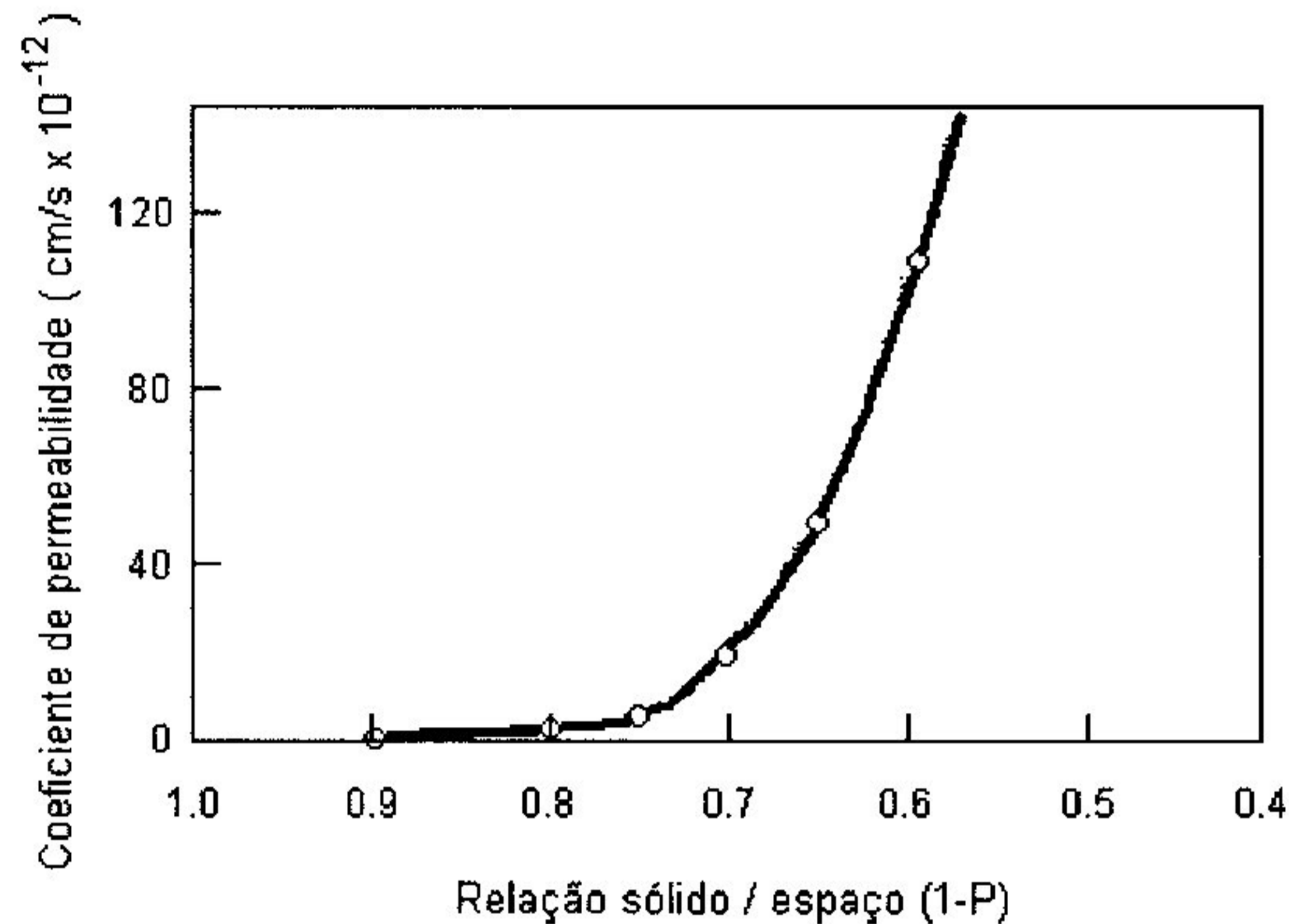
$$\frac{dq}{dt} = K \cdot \frac{\Delta H \cdot A}{L \cdot \mu} \quad (2.1)$$

onde  $\frac{dq}{dt}$  é a taxa do fluxo de fluido;  $\mu$ , a viscosidade do fluido;  $\Delta H$ , o gradiente de pressão;  $A$ , a área de superfície e  $L$  a espessura do sólido.

Para um concreto, quanto maior for esse coeficiente maior será a facilidade de percolação da água e de entrada de umidade e ar no interior do mesmo, podendo conseqüentemente causar problemas patológicos, diminuindo assim a durabilidade da estrutura, quando exposta em meios considerados agressivos.



A permeabilidade da pasta está intimamente relacionada à porosidade capilar e a relação sólido-espaço. Para ilustrar essa afirmativa Mehta [15] apresenta, na figura 2.4 a relação entre a permeabilidade e a relação sólido/espaço baseada em valores de permeabilidade determinados experimentalmente por Powers [19].



**Figura 2.4 - Relação entre a permeabilidade e relação sólido/espaço. [15]**

### 2.5.2 - A atmosfera como um agente de deterioração [14]

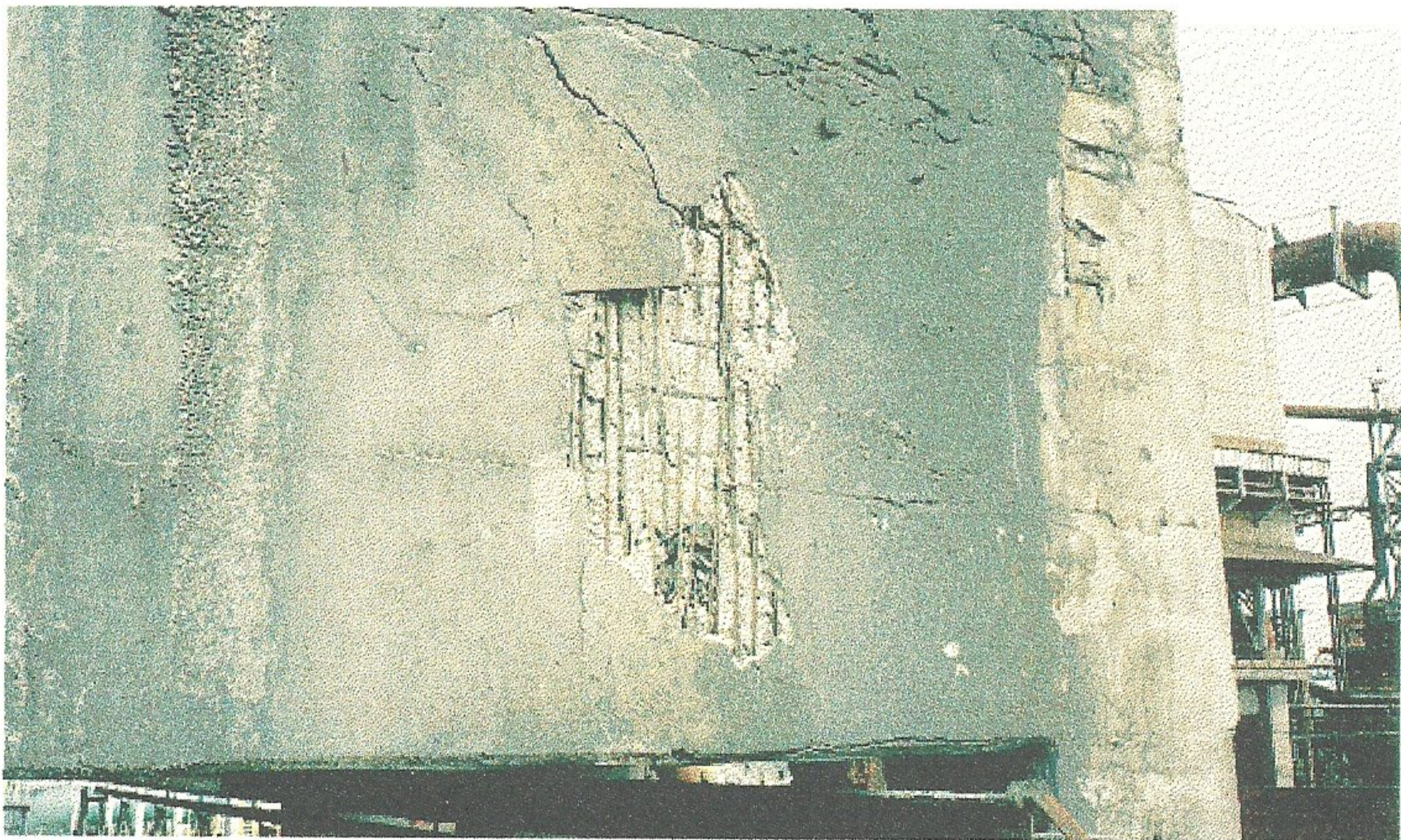
As atmosferas em centros urbanos e industriais contêm ( entre outras substâncias agressivas ao concreto ) principalmente compostos gasosos de enxofre tais com o ácido sulfídrico (  $H_2S$  ) e o dióxido de enxofre (  $SO_2$  ). Esses compostos transformam-se em contato com o vapor de água e oxigênio, por oxidação, em ácido sulfúrico que ataca o concreto.

O pH de águas de chuvas em centros urbanos e industriais pode ser de 3,5 a 4,0 ou seja, fortemente ácidas se compararmos com o pH de chuvas de regiões no interior ( atmosferas rurais ) nas quais o pH natural da água de chuva varia de 6,5 a 7,0.



Outro fator agressivo que deve ser considerado nesses locais é o teor de partículas em suspensão que podem depositar-se, na superfície das estruturas de concreto, agredindo-as.

Na figura 2.5 é mostrado o efeito da atmosfera agressiva em uma estrutura localizada em um ambiente industrial. A atmosfera agressiva presente nesses locais é uma das causas para o surgimento de outros problemas na estrutura como por exemplo a corrosão das armaduras e conseqüentemente o destacamento do cobrimento.



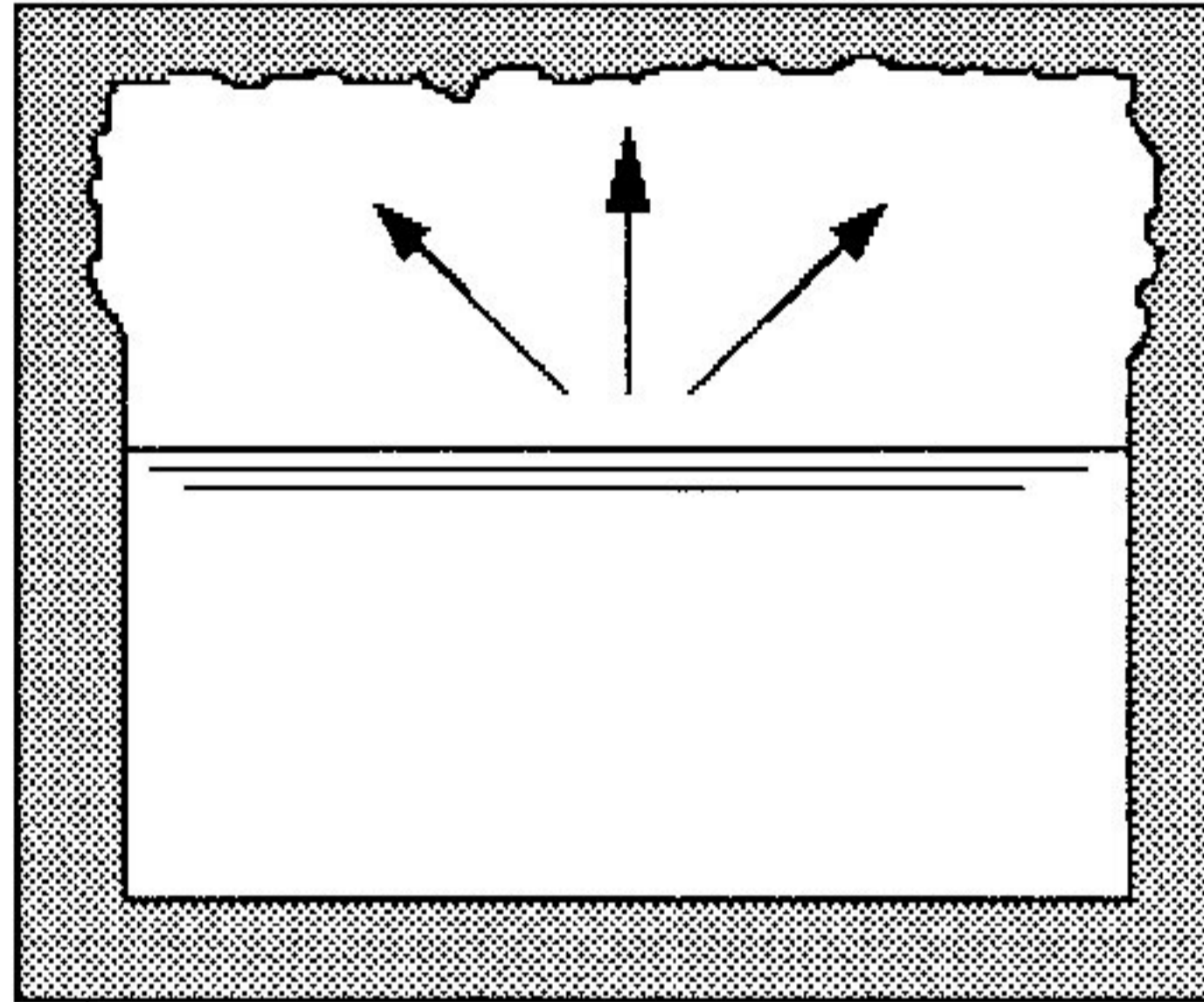
**Figura 2.5 - Defeitos na estrutura provocados pela atmosfera agressiva em ambientes industriais. [24]**

Em locais fechados como coletores e interceptores de esgoto, pode haver uma intensificação e até geração de gases agressivos às armaduras de concreto.

À medida que o esgoto flui pela rede coletora a concentração de oxigênio diminui. Em algum ponto do sistema, o oxigênio é exaurido e os sulfetos aparecem.



gás liberado transforma-se em ácido sulfúrico, sob a ação de bactérias, que atacam o concreto, conforme mostrado na figura 2.6.



---

**Figura 2.6 - Deterioração acentuada da parte superior de galerias de esgoto. [13]**



## 2.6 - Resistência [3] [15] [16]

### 2.6.1 - Considerações preliminares

Usualmente a resistência do concreto à compressão é a propriedade mais valorizada pelos engenheiros projetistas e de controle de qualidade. Só recentemente está havendo uma conscientização quanto à necessidade de se construir obras duráveis. Pensava-se que as obras em concreto armado, cujo concreto que apresentava grande resistência à compressão tinha automaticamente durabilidade infinita.

A resistência à compressão aos 28 dias, determinada através de um ensaio padrão de compressão uniaxial, é aceita universalmente como um índice geral da resistência do concreto.

A resistência à compressão está associada à parte sólida de um material; conseqüentemente, os vazios são prejudiciais à resistências elevadas.

### 2.6.2 - Porosidade x Resistência

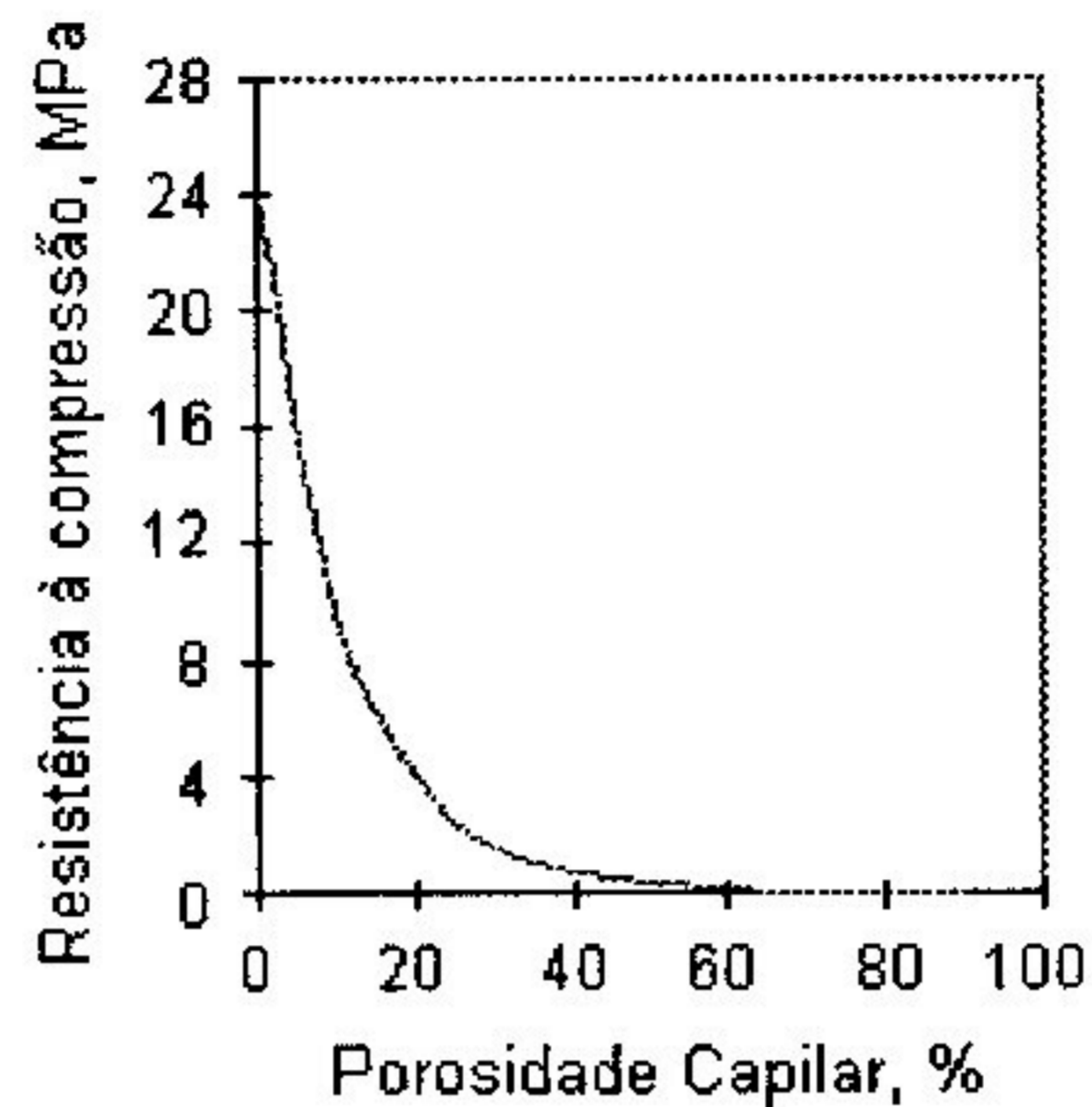
Nos sólidos há uma relação inversa entre porosidade e resistência. Essa relação pode ser descrita com a expressão [15] :

$$S = S_0 e^{-kp} \quad (2.2)$$

Onde S é a resistência do material que possui uma dada porosidade p, S<sub>0</sub> é a resistência para porosidade zero e k é uma constante.



Um exemplo dessa relação existente entre porosidade e resistência é mostrado na figura 2.7.



**Figura 2.7 - Relação porosidade - resistência de cimentos curados normalmente. [15]**

A combinação de vários fatores afeta a porosidade dos diferentes componentes estruturais do concreto.

A determinação direta da porosidade dos componentes estruturais individuais do concreto, matriz e zona de transição, é impraticável. Porém várias relações empíricas foram descobertas, no decorrer dos tempos, fornecendo dados indiretos suficientes sobre a influência de vários fatores na resistência do concreto à compressão.

### **2.6.3 - Principais fatores que afetam a resistência à compressão**

#### **2.6.3.1 - Fator água/cimento**

Em 1918, Duff Abrams [1] verificou que existia uma relação entre o **fator água/cimento** e a resistência do concreto à compressão, através de um extenso programa de ensaios.

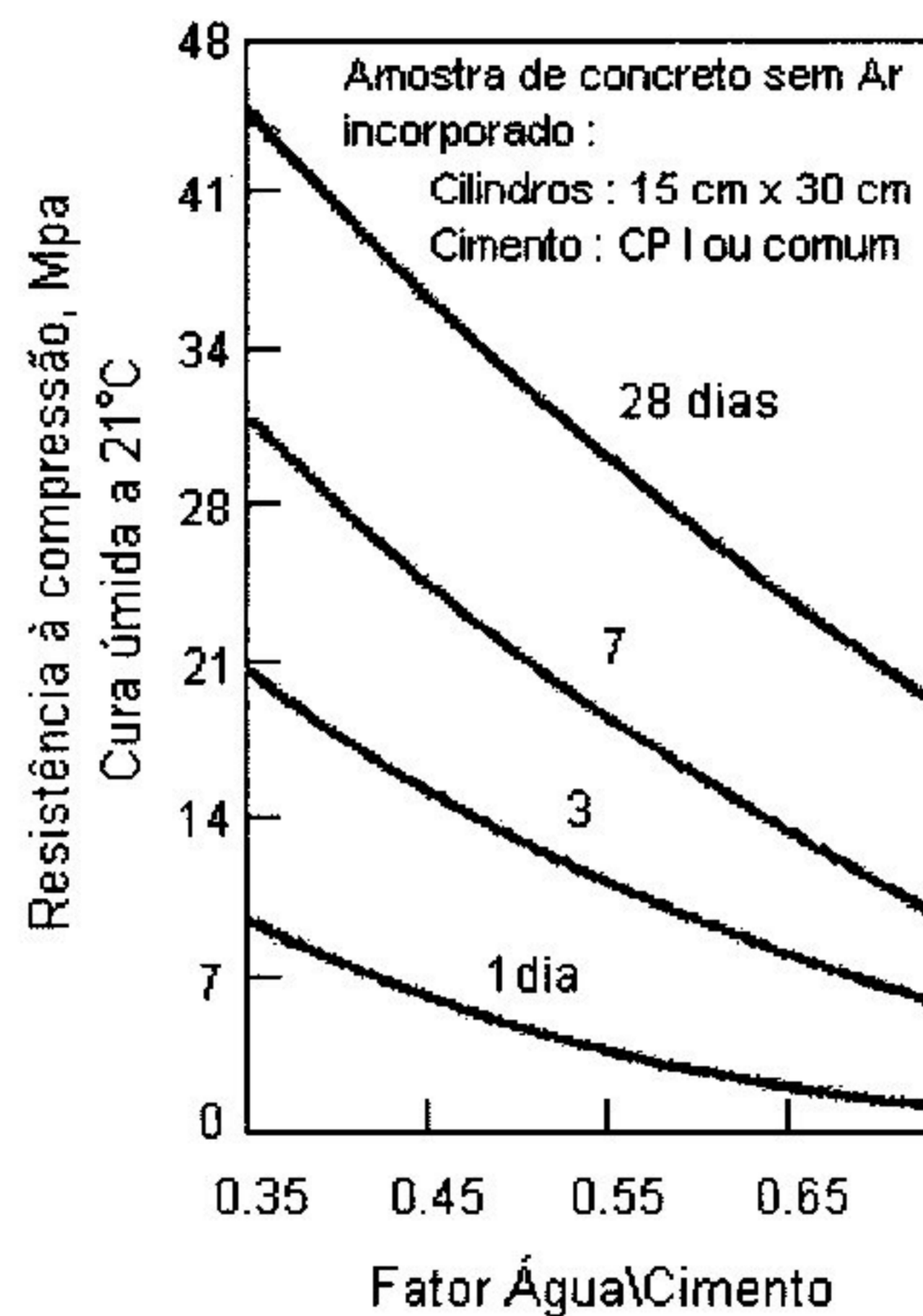


Esta relação é representada pela expressão :

$$f_c = \left( \frac{k_1}{k_2} \right)^{\frac{A}{C}} \quad (2.3)$$

onde  $A/C$  representa a fator água/cimento da mistura do concreto e  $k_1$  e  $k_2$  são constantes empíricas.

Curvas típicas ilustrando a relação entre o fator água/cimento e a resistência numa dada idade da cura úmida são mostradas na figura 2.8.



**Figura 2.8 - Influência do fator água/cimento e do período de cura úmida sobre a resistência do concreto, ( Curvas típicas ). [15]**

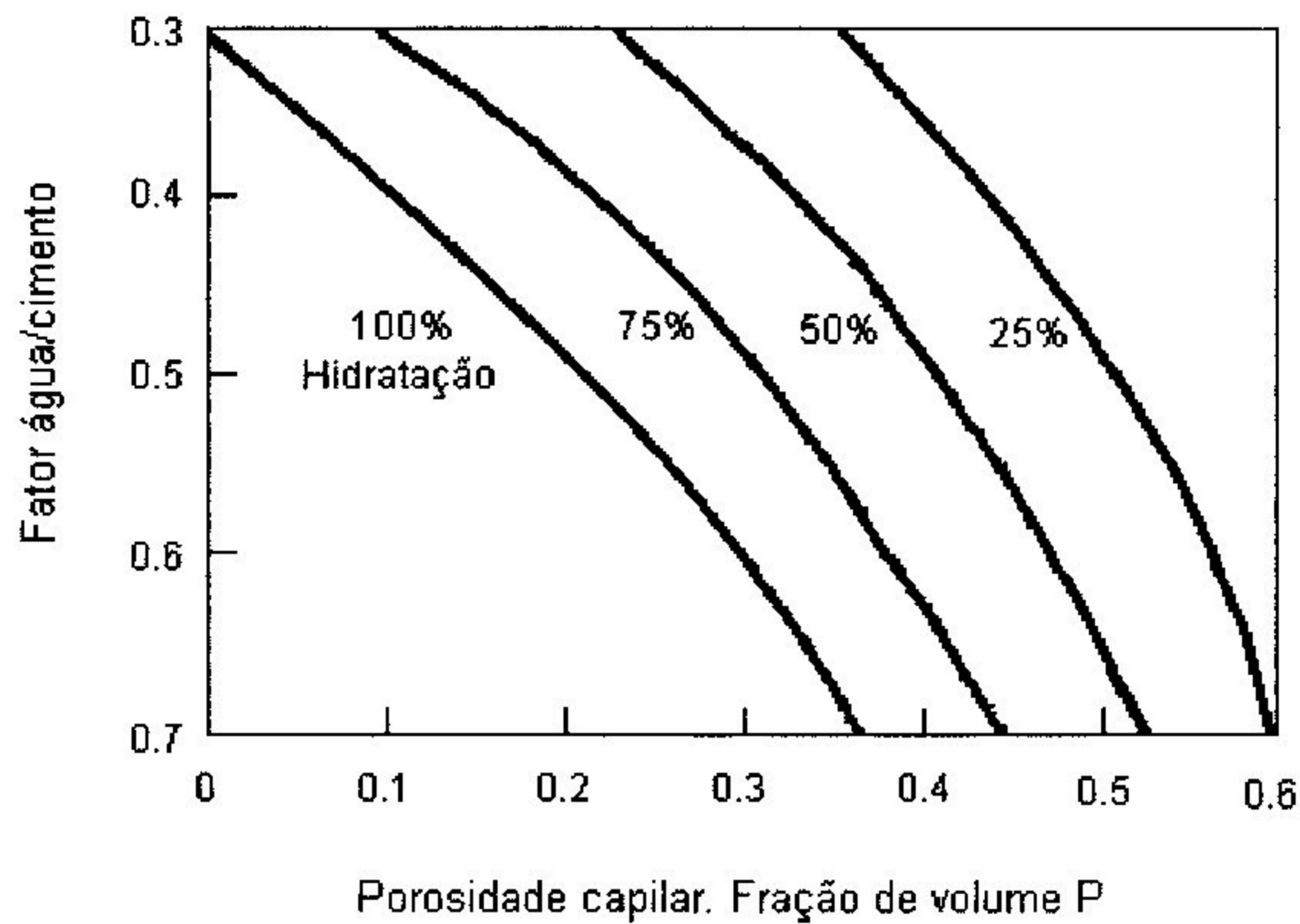
Na figura 2.8 é evidenciado que, para uma idade de cura qualquer, quanto maior for a fator água/cimento menor será a resistência final do concreto.



### 2.6.3.2 - Grau de hidratação

Vale a pena também serem mencionados os trabalhos de pesquisa desenvolvidos por Powers [19] na década de 50. Ele mostrou que a combinação da relação água/cimento e grau de hidratação determina o volume de vazios capilares na pasta de cimento.

Com base nos resultados dos ensaios realizados por Powers, utilizando argamassas de cimento normalmente hidratado, Metha [15] construiu o gráfico da figura 2.9, mostrando a determinação da porosidade  $P$  devido a combinação de relação água/cimento e grau de hidratação.

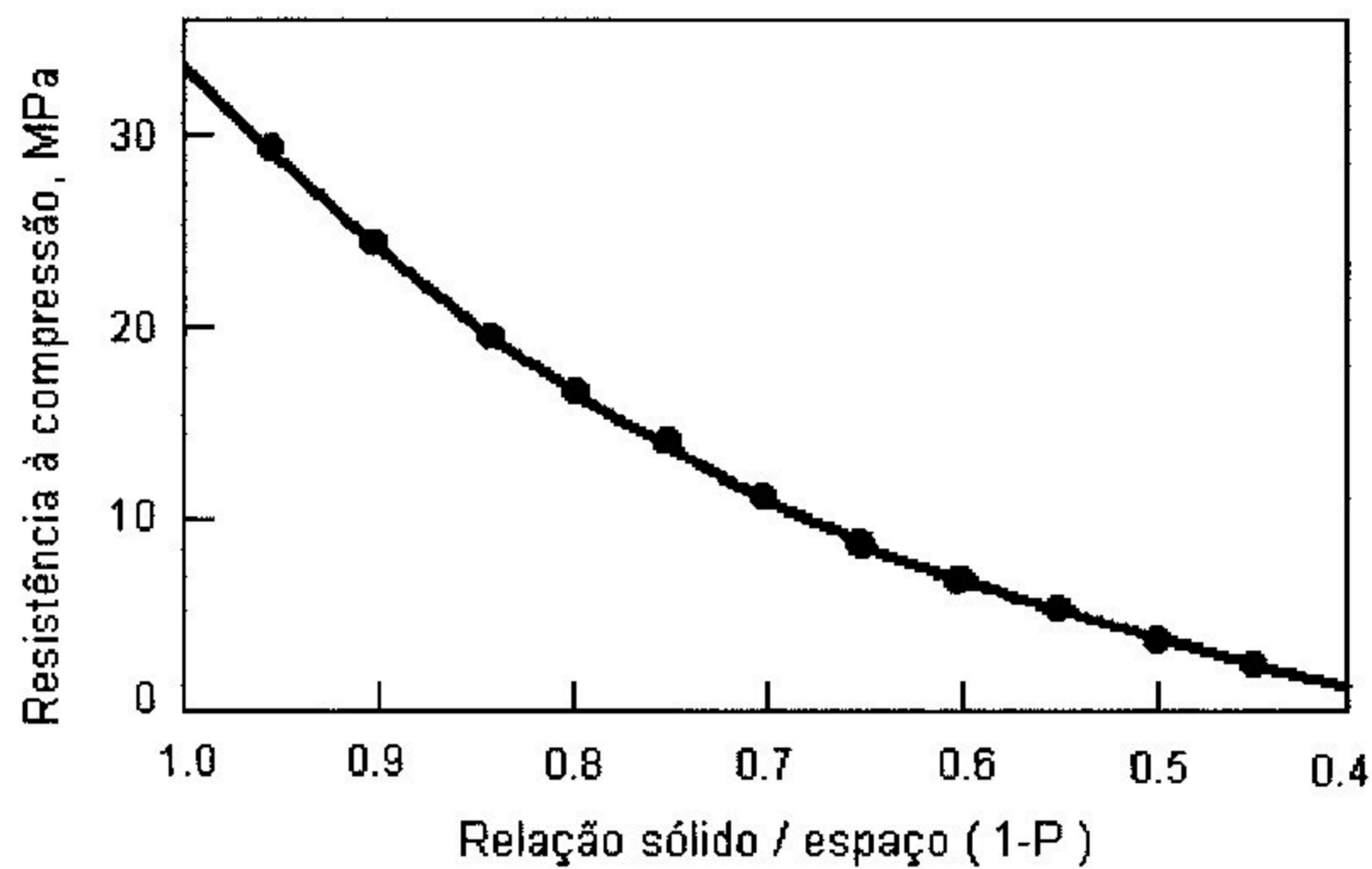


**Figura 2.9 - Variação da porosidade capilar devido à combinação do fator água/cimento e grau de hidratação. [15]**

Através do gráfico da figura 2.9 fica evidenciado que quanto maior o fator água/cimento e menor grau de hidratação, maior será a porosidade de uma pasta de cimento Portland.



Powers mostrou também, para argamassas de cimento normalmente hidratadas, que há uma relação exponencial do tipo  $S = kx^3$  entre a resistência à compressão (  $S$  ) e a relação sólidos/espaco (  $x$  ), onde  $k$  é uma constante igual a 235 MPa. Os resultados, empregando-se a fórmula de Powers, estão representados graficamente na figura 2.10.



**Figura 2.10 - Relação entre o inverso da porosidade ( relação sólido/espaco ) e a resistência do material. [15]**

Como ficou evidenciado para uma dada relação água/cimento, a porosidade da pasta endurecida de cimento hidratada é determinada pelo grau de hidratação do cimento, figura 2.9.

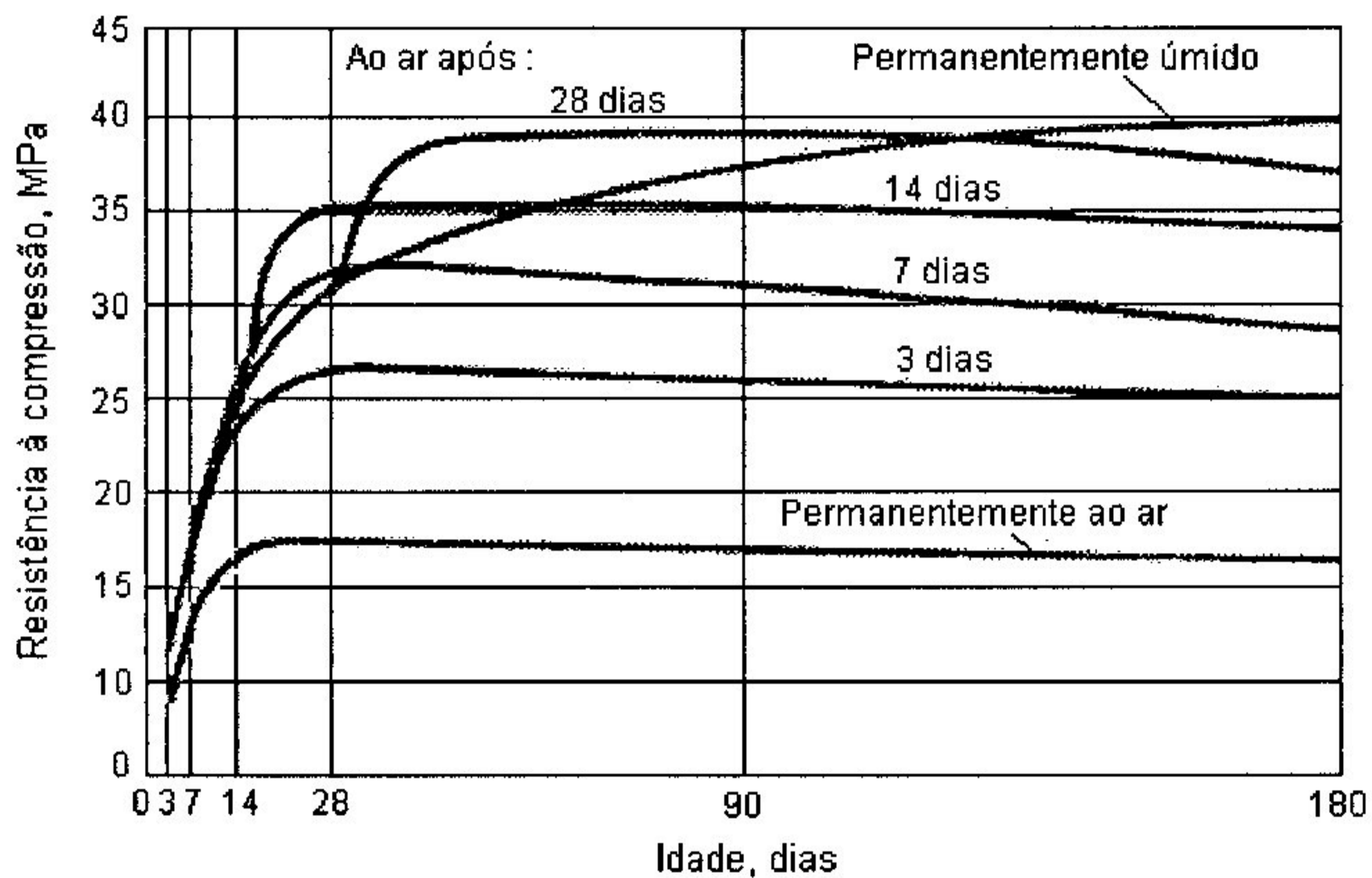
O grau de hidratação é determinado pelas condições de cura. O termo cura do concreto refere-se aos procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, consistindo do controle do tempo, temperatura e condições de umidade, imediatamente após a colocação do concreto nas formas.

À medida em que se adiciona água ao cimento, em condições normais de temperatura, os constituintes do cimento começam a hidratar. Entretanto, essas reações são retardadas quando os produtos de hidratação cobrem os grãos de cimento anidro.



Essa é a razão pela qual a hidratação somente pode proceder satisfatoriamente em condições de saturação. Como em todas as reações químicas, a temperatura tem um efeito acelerador sobre as reações de hidratação.

Quanto maior for o tempo de cura úmida de um concreto maior será sua resistência à compressão. Esse fato pode ser constatado através das curvas mostradas pela figura 2.11.



**Figura 2.11 - Influência da cura úmida sobre a resistência do concreto com um fator água/cimento igual a 0,5. [16]**

Deve-se chamar a atenção para o fato que a idade de cura não tem efeito benéfico sobre a resistência do concreto a menos que a cura seja realizada na presença de umidade.

Comparando-se as curvas contidas na figura 2.11, nota-se que a resistência à compressão do concreto submetido a uma cura úmida é superior às demais, cujos tempos de cura úmida, foram reduzidos. Quando a cura do concreto é feita continuamente ao ar,



sua resistência à compressão correspondente pode ser até 3 vezes menor, caso fosse feita utilizando a cura permanentemente úmida.

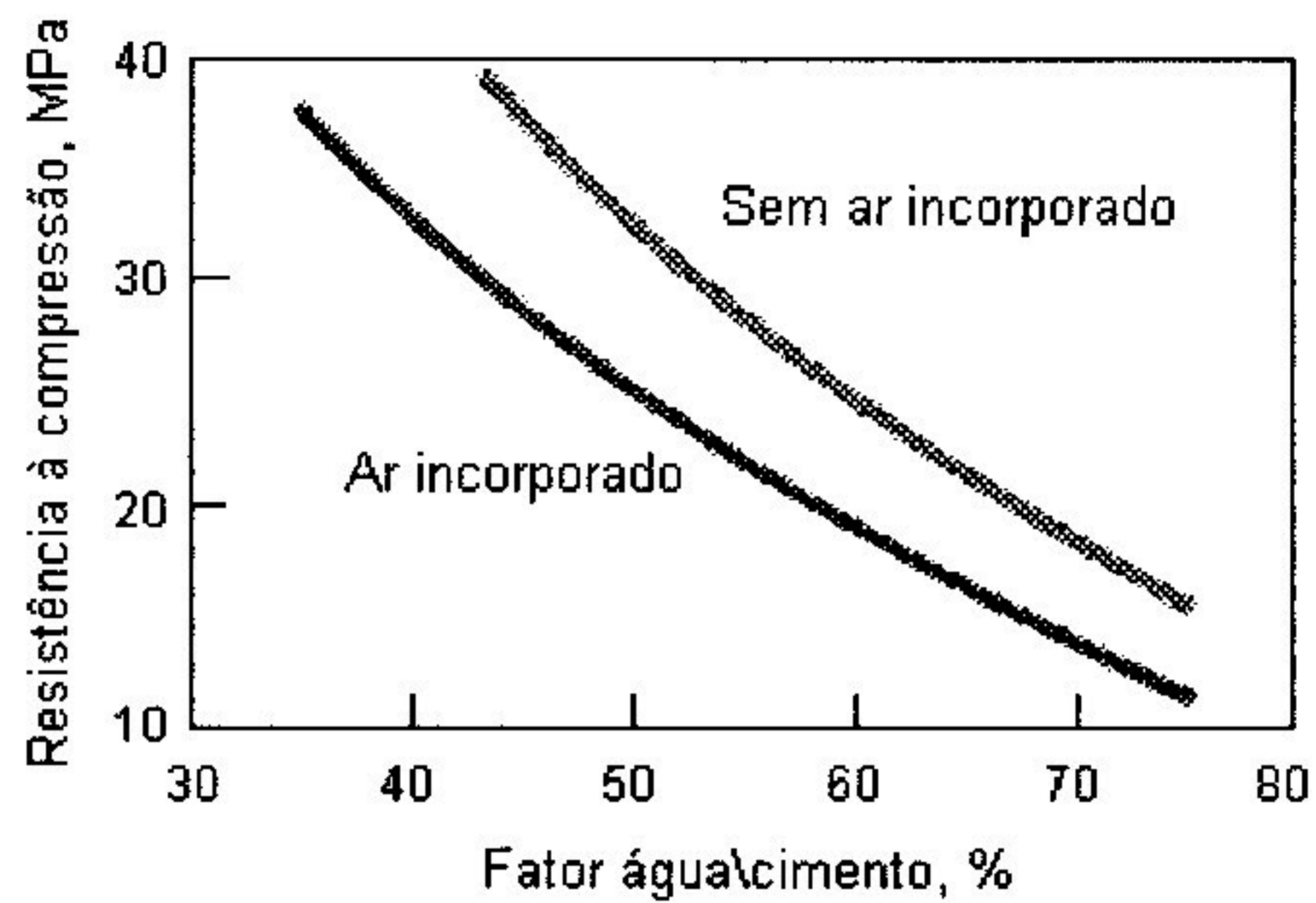
Essa perda de resistência é ocasionada, principalmente, pelo fato que, quanto menor for o tempo de cura úmida do concreto, menor será o grau de hidratação e como foi visto, através da figura 2.9, quanto menor for o grau de hidratação, para um concreto com um dado fator água/cimento, maior será o volume de vazios presentes na pasta de cimento e conseqüentemente menor será sua resistência à compressão.

Além do fator água/cimento outro fator determina a porosidade da matriz da pasta de cimento para um dado grau de hidratação. Trata-se do ar incorporado. O ar presente na pasta de cimento pode ser incorporado através do uso de aditivos ou um adensamento inadequado. O teor de ar incorporado aumenta a porosidade da pasta de cimento e conseqüentemente reduz a resistência à compressão do sistema.



### 2.6.3.3 - Ar incorporado

Na figura 2.12 é ilustrada a influência do ar incorporado na pasta de cimento para vários fatores água/cimento. É feita uma comparação entre a resistência à compressão entre o concreto com e sem ar incorporado.



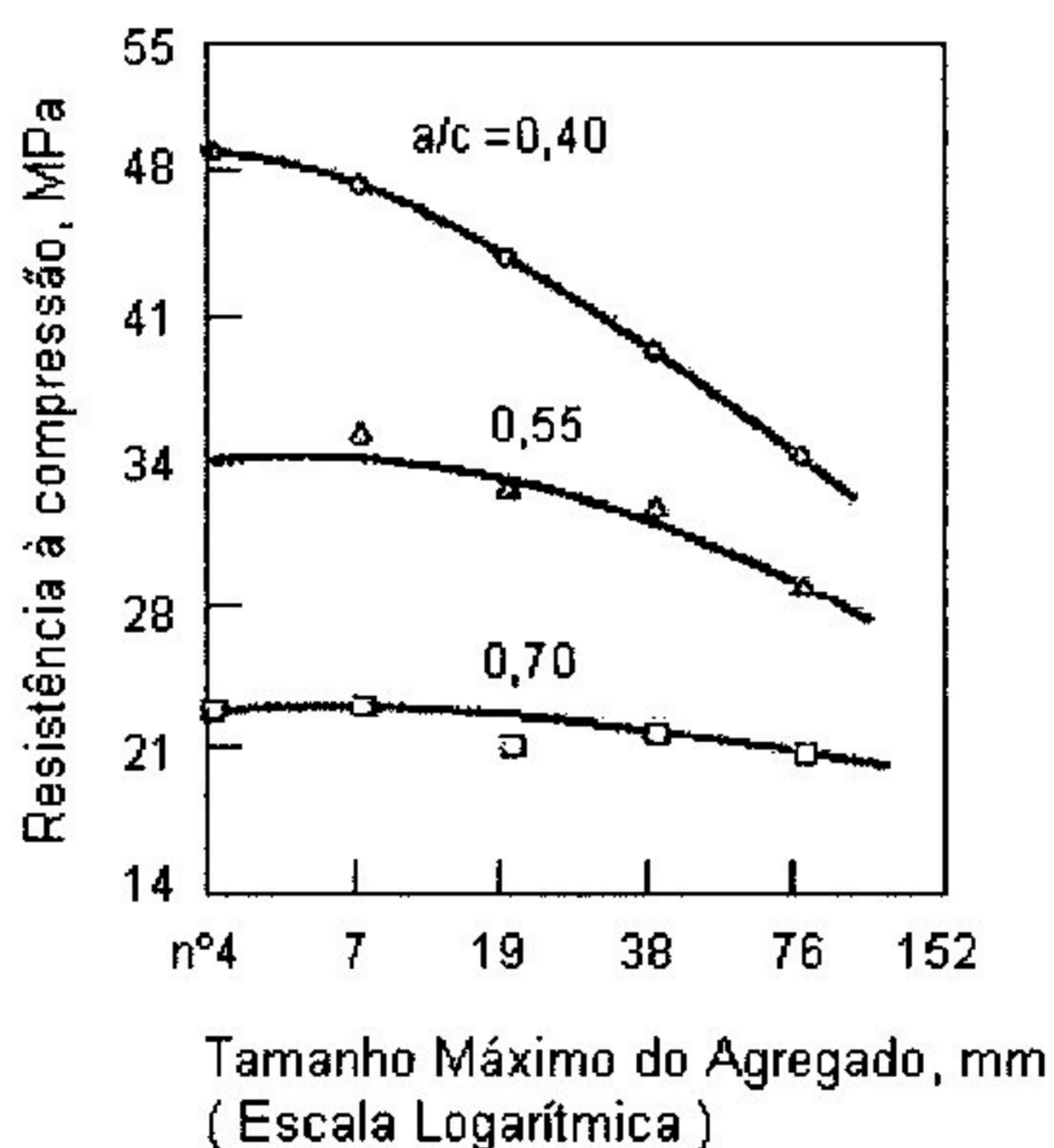
**Figura 2.12 - Influência do fator água/cimento e ar incorporado sobre a resistência à compressão do concreto. [15]**



### 2.6.3.4 - Diâmetro máximo do agregado

Uma mudança no diâmetro máximo de um agregado graúdo com distribuição granulométrica bem graduada, ou uma mudança na granulometria do agregado sem qualquer mudança no diâmetro máximo do agregado graúdo, pode influenciar na resistência à compressão do concreto.

Na figura 2.13 é mostrada a influência do tamanho máximo do agregado graúdo e do fator água/cimento sobre a resistência à compressão concreto.



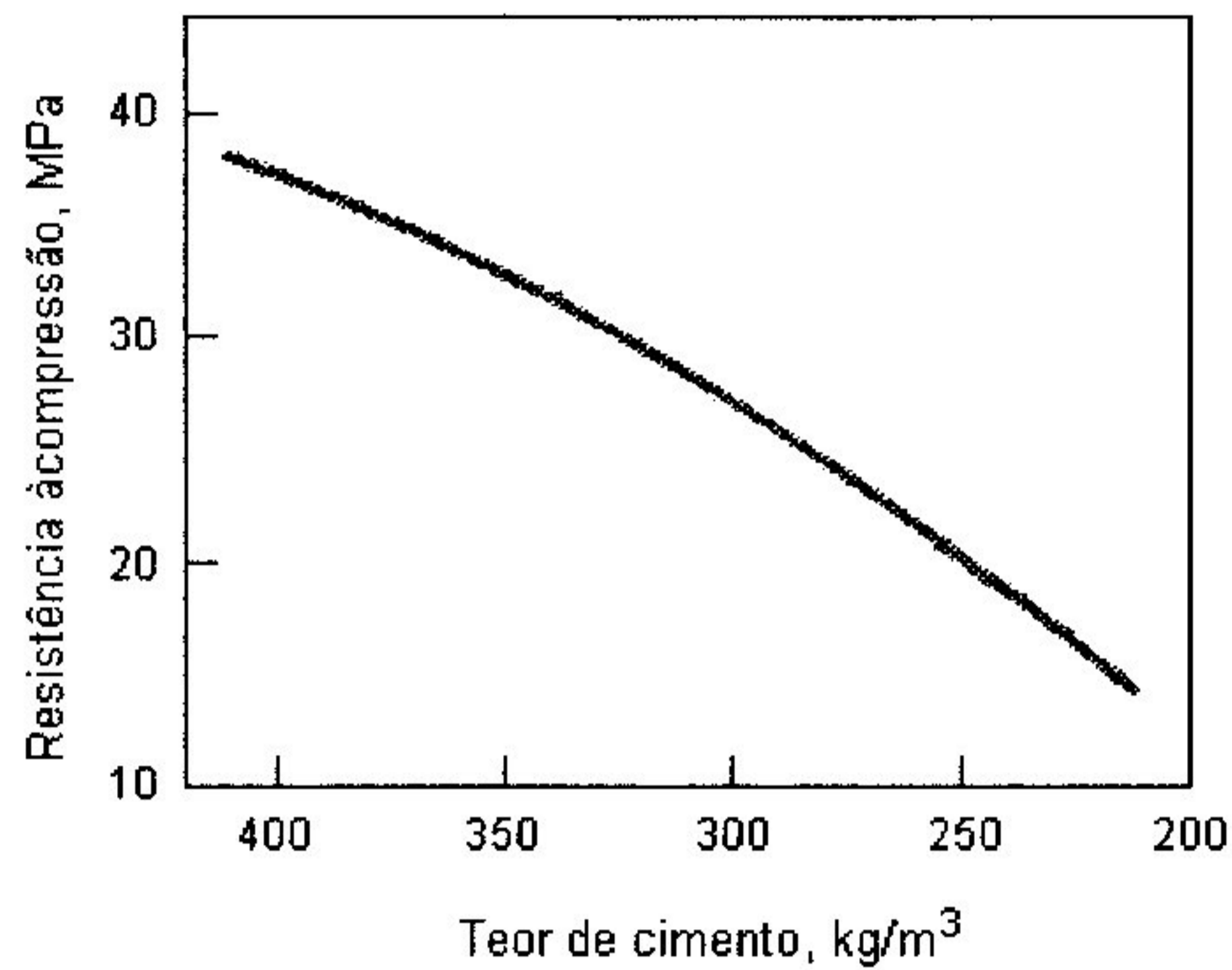
**Figura 2.13 - Influência do tamanho do agregado e do fator água/cimento sobre a resistência à compressão do concreto. [15]**

A água presente na pasta de cimento tende a acumular-se na vizinhança de partículas de agregado, grandes, alongados e chatas. Nessas regiões, a zona de transição tende a ser mais fraca, pois devido à presença dessa água acumulada o fator água/cimento tende a ser maior e portanto o volume de vazios resultante da hidratação do cimento é maior.



### 2.6.3.5 - Teor de cimento

Para um dado fator água/cimento, o teor de cimento por  $\text{m}^3$  de concreto, também afeta a resistência do concreto. Quanto maior o teor de cimento por  $\text{m}^3$  de concreto maior será a sua resistência à compressão, como é mostrado pela figura 2.14.



**Figura 2.14 - Influência do teor de cimento sobre a resistência à compressão do concreto, para um dado fator água/cimento. [15]**

Aumentando a quantidade de cimento por metro cúbico de concreto para um mesmo fator água/cimento consequentemente a relação agregado/cimento é reduzida.

Diminuindo a relação agregado/cimento a zona de transição é reduzida e a resistência à compressão do concreto aproxima-se da resistência à compressão da pasta de cimento.



## 2.7 - Diagnóstico de causas de patologia em estruturas de concreto [13 [22]

### 2.7.1 - Considerações preliminares

Nem sempre é tarefa fácil diagnosticar a causa de uma fissura. Tomaz [22] comenta que segundo Charnd uma causa pode provocar diversas configurações de fissuras e uma configuração pode ser representativa de diversas causas. Muitas vezes um somatório de causas é responsável pelo aparecimento de fissuras ou outro problema qualquer em uma estrutura. Em alguns casos, o diagnóstico correto só poderá ser elaborado a partir de consultas a especialistas, minuciosos ensaios de laboratório, revisão de projetos e mesmo instrumentação e acompanhamento da obra. Pode haver casos, contudo, em que as verdadeiras causas das fissuras jamais serão determinadas com absoluta certeza.

A recuperação de componentes fissurados só deverá ser procedida em função de um diagnóstico seguramente firmado, pois caso contrário, fatalmente o problema observado voltará a ocorrer.

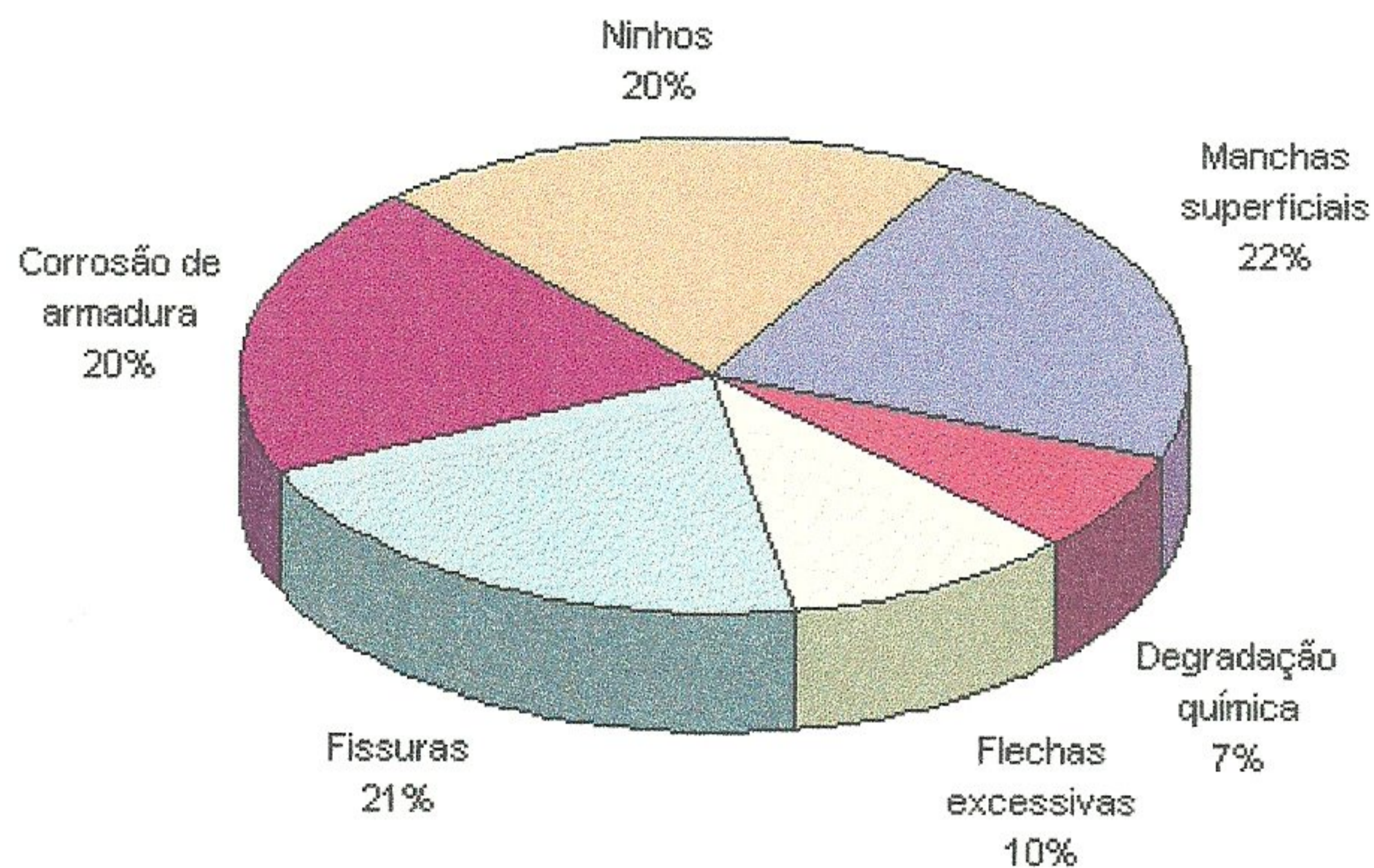
Para se efetuar um adequado diagnóstico de um problema patológico em uma estrutura de concreto armado qualquer, o relatório final deve constar, pelo menos, as seguintes informações [13] :

- *sintomas;*
- *mecanismo de formação;*
- *origem;*
- *causas;*
- *consequências.*



### 2.7.2- Sintomas

Os problemas patológicos em estruturas de concreto armado, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas características, a partir das quais pode-se deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos. Da mesma forma pode-se estimar suas prováveis consequências. Esses sintomas, também denominados de lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados, orientando um primeiro diagnóstico, a partir de minuciosas e experientes observações visuais. Os sintomas mais comuns, de maior incidência nas estruturas de concreto, são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem ( segregação dos materiais constituintes do concreto ). Conforme apresentado na Figura 2.15, certas manifestações têm elevada incidência.



**Figura 2.15 - Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente. [13]**



### **2.7.3 - Mecanismo de Formação**

Todo problema patológico em estruturas de concreto, ocorre a partir de um processo ou de um mecanismo. Conhecer o mecanismo do problema é fundamental para uma terapêutica adequada. É imprescindível, por exemplo, saber que devem ser limitadas as sobrecargas ou reforçadas as vigas quando as fissuras são consequência de momento fletor. Nesse caso, não basta a reparação das fissuras, pois estas poderiam reaparecer em outras partes da estrutura.

### **2.7.4 - Origem**

O processo de construção e o seu uso podem ser divididos em cinco grandes etapas :

- planejamento
- projeto
- fabricação de materiais e componentes fora do canteiro
- execução propriamente dita
- uso

Os problemas patológicos nas edificações só se manifestam após o início da execução propriamente dita. Normalmente ocorrem com maior incidência na etapa de uso. Certos problemas, como por exemplo os resultantes de reações álcali-agregado, só aparecem com intensidade após 6 a 12 anos. Há casos de corrosão de armadura em lajes que se manifestam intensamente depois de 13 anos.

Um diagnóstico adequado do problema deve indicar em que etapa do processo construtivo teve origem o fenômeno. Por exemplo, uma fissura de momento fletor em vigas pode ter como origem :

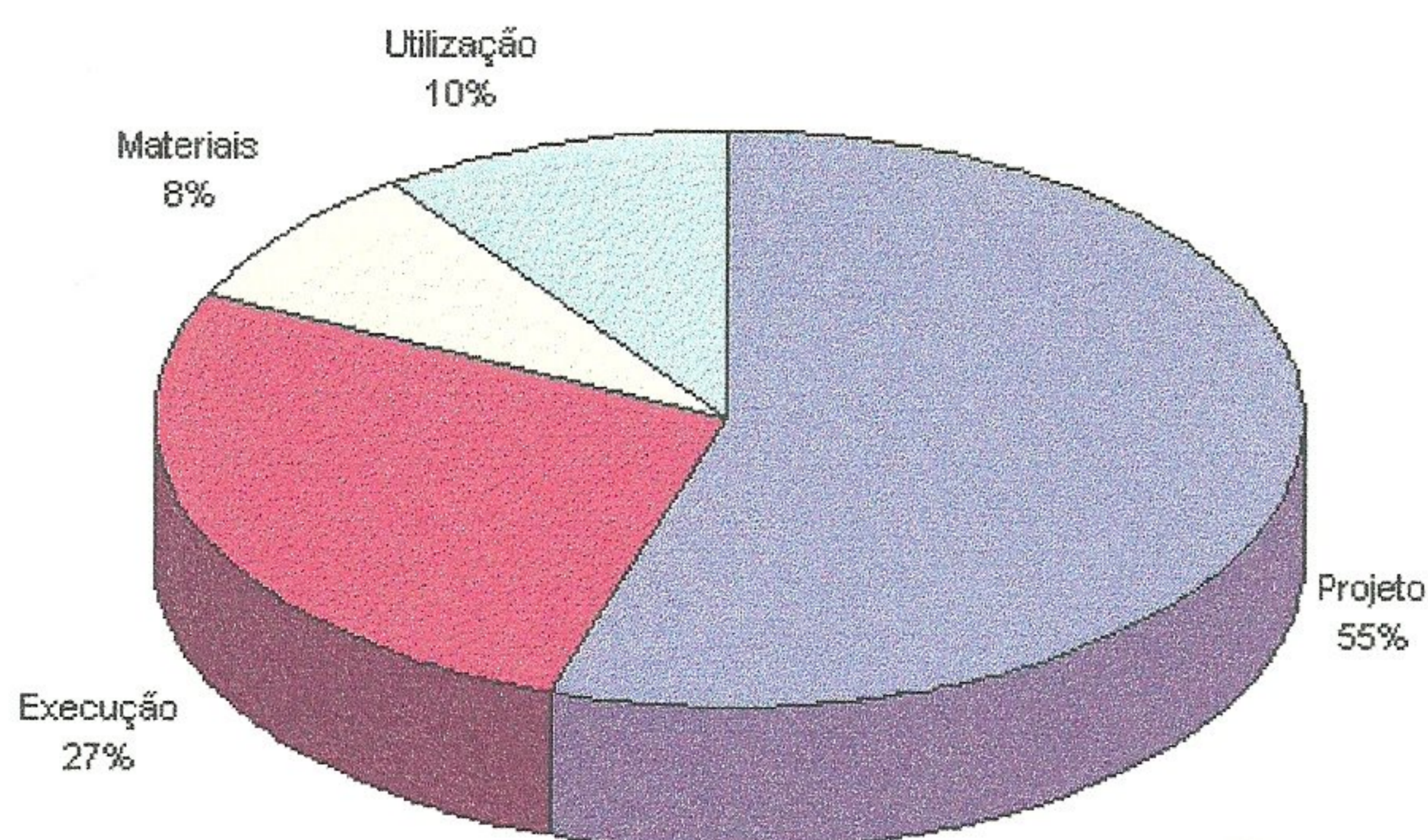


- um projeto inadequado;
- na qualidade do aço;
- na má execução da estrutura;
- no concreto de resistência inadequada;
- na má utilização, com a colocação de cargas superiores às previstas inicialmente, etc.

Para cada origem do problema, numa determinada estrutura, existe uma terapia mais adequada, embora o fenômeno e os sintomas possam ser os mesmos.

Uma elevada percentagem das manifestações patológicas tem origem nas etapas de planejamento e projeto, conforme mostra a Figura 2.16 [11]. Um resultado semelhante foi obtido por Helene [13].

As falhas de planejamento e de projeto são, em geral, mais graves do que as devidas aos materiais ou à má execução das obras.



**Figura 2.16 - Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis. [11]**



### 2.7.5 - Causas

Os agentes causadores dos problemas patológicos em estruturas de concreto armado podem ser :

- cargas;
- variação da umidade;
- variações térmicas intrínsecas ou extrínsecas ao concreto;
- agentes biológicos;
- incompatibilidade de materiais;
- agentes atmosféricos;
- deformação excessiva e deformabilidade acentuada, etc.

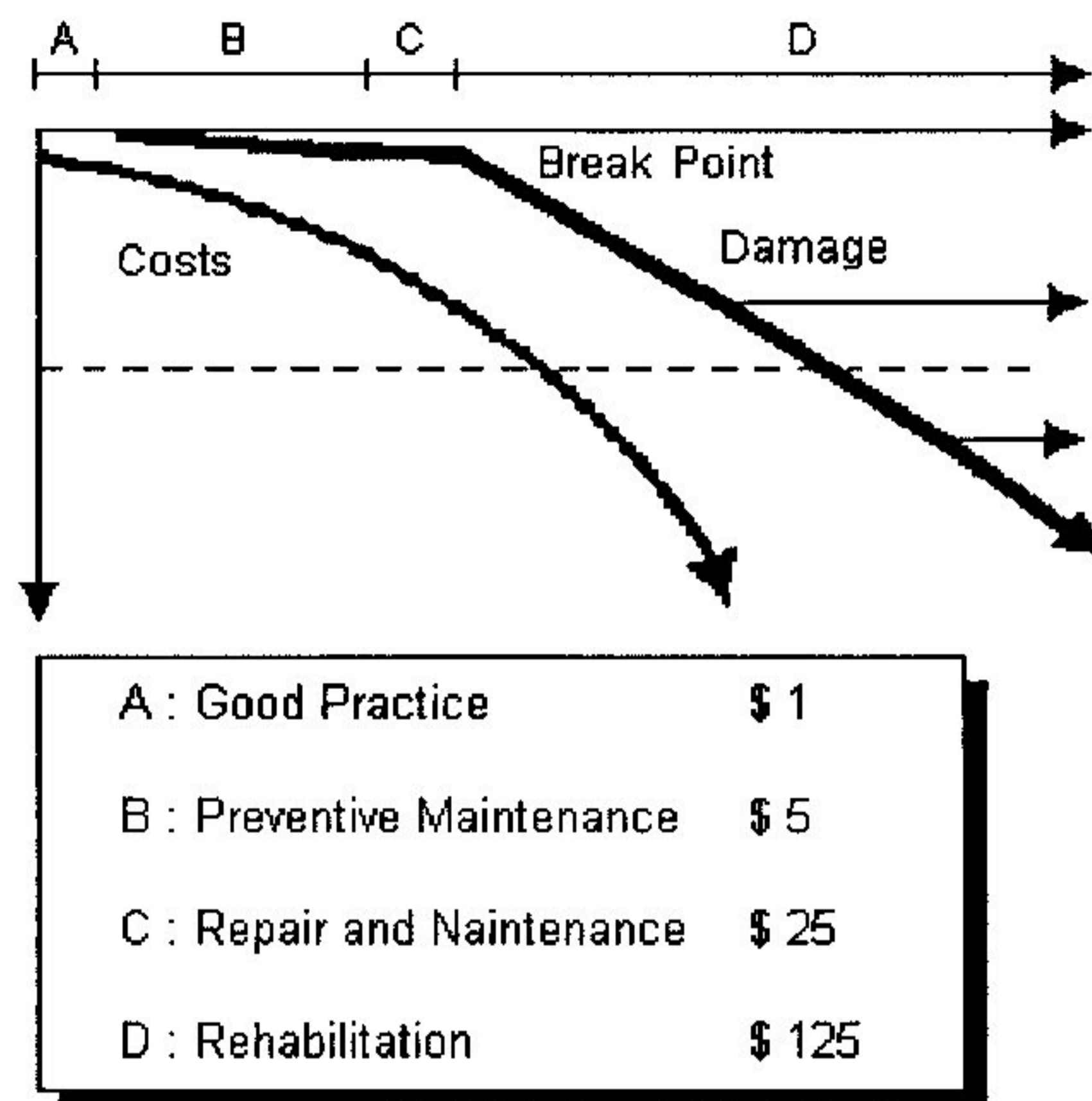
### 2.7.6 - Consequências

Um bom diagnóstico se completa com algumas considerações sobre as consequências do problema no comportamento geral da estrutura, ou seja um prognóstico da questão.

Em geral, os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial.

Pode-se afirmar que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas. A demonstração mais expressiva dessa afirmação é a chamada “Law of Fives” de Sitter, citada por Helene [13], que mostra que os custos crescem segundo uma progressão geométrica, figura 2.17.





**Figura 2.17 - “Law of Fives” ( Sitter ). [17]**

No eixo das abscissas estão discriminadas as etapas construtivas e de uso de uma obra qualquer. Essas etapas foram divididas em quatro períodos, relacionados abaixo :

- ( A ) - projeto,
- ( B ) - execução propriamente dita,
- ( C ) - manutenção preventiva efetuada antes dos primeiros 3 anos,
- ( D ) - manutenção corretiva efetuada após surgimento dos problemas,

No eixo das ordenadas estão representados os custos necessários para se efetuar o reparo de um problema ocorrido no decorrer de cada um das etapas já citadas. Nesse eixo não estão indicados os valores desses custos, pois o gráfico tem como finalidade simplesmente ilustrar a relação entre os custos necessários para o reparo de um defeito e o tempo de ocorrência do mesmo.

O defeito pode surgir em qualquer uma das etapas construtivas e de uso da obra. Quando mais cedo ele for evidenciado e corrigido, menor será o custo necessário para se



efetuar o reparo. Através do gráfico da figura 2.17 concluímos que o custo necessário para a correção de um defeito, evidenciado na etapa ( **D** ), seria 5 vezes maior se comparando com o recurso necessário para a correção de um defeito descoberto na etapa ( **C** ). Este por sua vez seria 5 vezes maior ao necessário para efetuar o reparo em um defeito surgido na etapa ( **B** ) e assim por diante.

Logo, o custo necessário para se efetuar o reparo de uma estrutura de concreto segue uma progressão geométrica de razão cinco, conforme indicado na Figura 2.17.



## **2.8 - Principais causas da deterioração em estruturas de concreto**

### **2.8.1 - Considerações preliminares**

A ocorrência de problemas ou manifestações patológicas em estruturas de concreto armado pode ter origem em uma das fases de produção e/ou de utilização das mesmas :

- de planejamento e projetos;
- de materiais e componentes;
- de execução e
- de uso ( manutenção e operação ).

A incidência de problemas nessas estruturas está relacionada com o nível do controle da qualidade realizado em cada uma das etapas acima, e também com a compatibilidade entre as mesmas.

O estudo sistemático dos problemas patológicos das estruturas a partir das suas manifestações características é iniciativa necessária para quem trabalha com esses problemas por permitir um conhecimento mais aprofundado de suas causas, permitindo subsidiar com informações complementares e imprescindíveis os trabalhos de recuperação e manutenção dessas estruturas. Esse conhecimento pode também contribuir para a melhoria do processo de construção de novas estruturas de concreto armado ( nas suas diversas etapas ) de modo a minimizar a incidência futura de problemas patológicos.

Nesse estudo procurou-se identificar as formas de manifestação dos problemas mais comuns, a localização de ocorrências mais frequentes nas estruturas e as suas possíveis causas. A partir dessas informações foi possível estabelecer quais dados seriam necessários para caracterizar os problemas durante o levantamento em obras. Os



principais dados desse item baseiam-se nos trabalhos de [3] [4] [6] [12] [14] [15] [16] [18] [21] [22].

## **2.8.2 - Causas e efeitos da fissuração em concreto estrutural.**

### **2.8.2.1 - Considerações Preliminares**

A pequena resistência à tração do concreto é a principal causa do aparecimento de fissuras nas estruturas de concreto armado.

As fissuras representam frequentemente um verdadeiro quebra cabeça para o engenheiro. Isto é verdadeiro não somente pelas consequências diretas ou indiretas sobre a durabilidade das obras em concreto, mas também para o efeito psicológico sobre as pessoas.

Somos muitas vezes testemunhas de vistorias solicitadas por proprietários de obras motivados pelo fato de existir uma determinada fissura que aparentemente coloca em risco a sua construção, o que muitas vezes não corresponde à realidade, não sendo importantes ou prejudiciais à estrutura. Em certos casos mais graves a ocorrência das fissuras preocupa a todos, sobretudo aos próprios engenheiros responsáveis pela construção. Nem sempre as fissuras representam um perigo de corrosão ou a perda da durabilidade da construção.

Segundo Favre [12], P. Schiessl constatou, baseado em ensaios conduzidos durante 20 anos, em diferentes condições atmosféricas (ambiente normal, ambiente industrial e marítimo), que a corrosão da armadura nas estruturas em concreto armado é praticamente independente das aberturas das fissuras que não ultrapassam 0.4 mm.

Favre comenta ainda que, Padilha e Robles examinaram no México o efeito psicológico das fissuras sobre os usuários. Eles desenharam fissuras sobre paredes de



concreto aparente em diversos imóveis e então observaram a reação dos passantes. Eles constataram que aberturas de fissuras até 0.3 mm não suscitam inquietude nas pessoas. A distância " $a$ " entre o observador e a fissura é essencial.

Em princípio, segundo Favre, podemos admitir que a abertura da fissura " $w$ " não chama a atenção das pessoas desde que a seguinte relação seja satisfeita :

$$w[mm] \leq 0.1 \cdot a[m] \quad (2.4)$$



### **2.8.2.2 - Principais causas da fissuração em estruturas de concreto armado**

As fissuras são provocadas por tensões e deformações de tração oriundas de atuação de sobrecargas ou de movimentação de materiais, dos componentes ou da obra como um todo. Os principais fenômenos responsáveis pelo aparecimento dessas tensões e deformações são :

- atuação de sobrecargas ou concentração de tensões,
- movimentação provocada por variações térmicas e de umidade,
- deformabilidade excessiva da estrutura,
- recalques diferenciados das fundações,
- retração de produtos à base de cimento,
- alterações químicas de materiais de construção, etc.

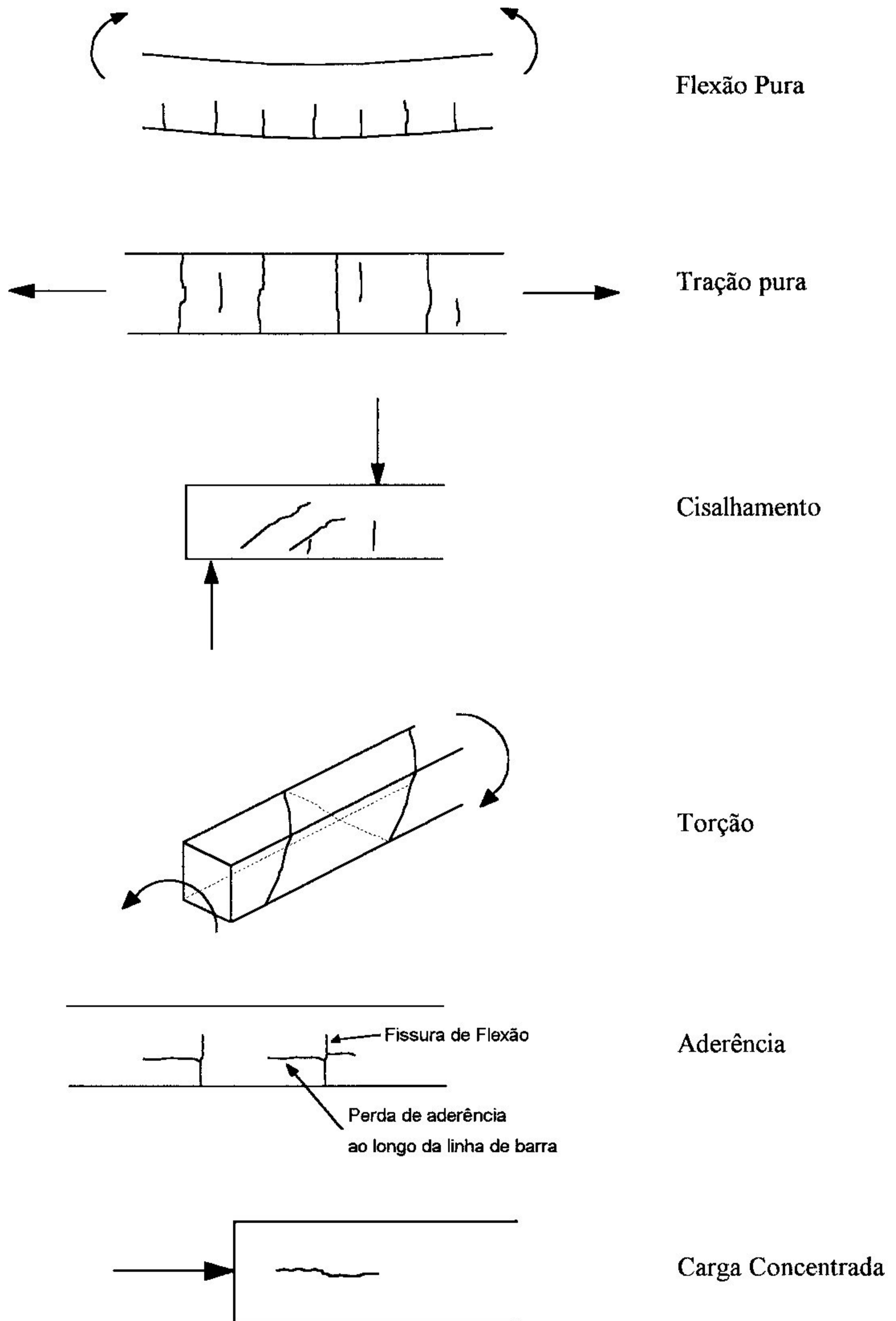
A seguir serão indicadas as configurações típicas das fissuras, os principais fatores que as acarretam e os mecanismos pelos quais se desenvolvem.

#### **A - Fissuras causadas pela atuação de sobrecargas**

A baixa resistência à tração do concreto é a principal razão pela qual as peças estruturais de concreto fissuram até com tensões e deformações de tração pequenas.

As fissuras podem ocorrer devido a variadas formas de carregamentos, conforme a figura 2.18





**Figura 2.18 - Fissuras causadas por várias formas de carregamento. [5]**



Várias são as causas para o aparecimento de fissuras em vigas de concreto armado devido ao carregamento. Podemos citar como principais :

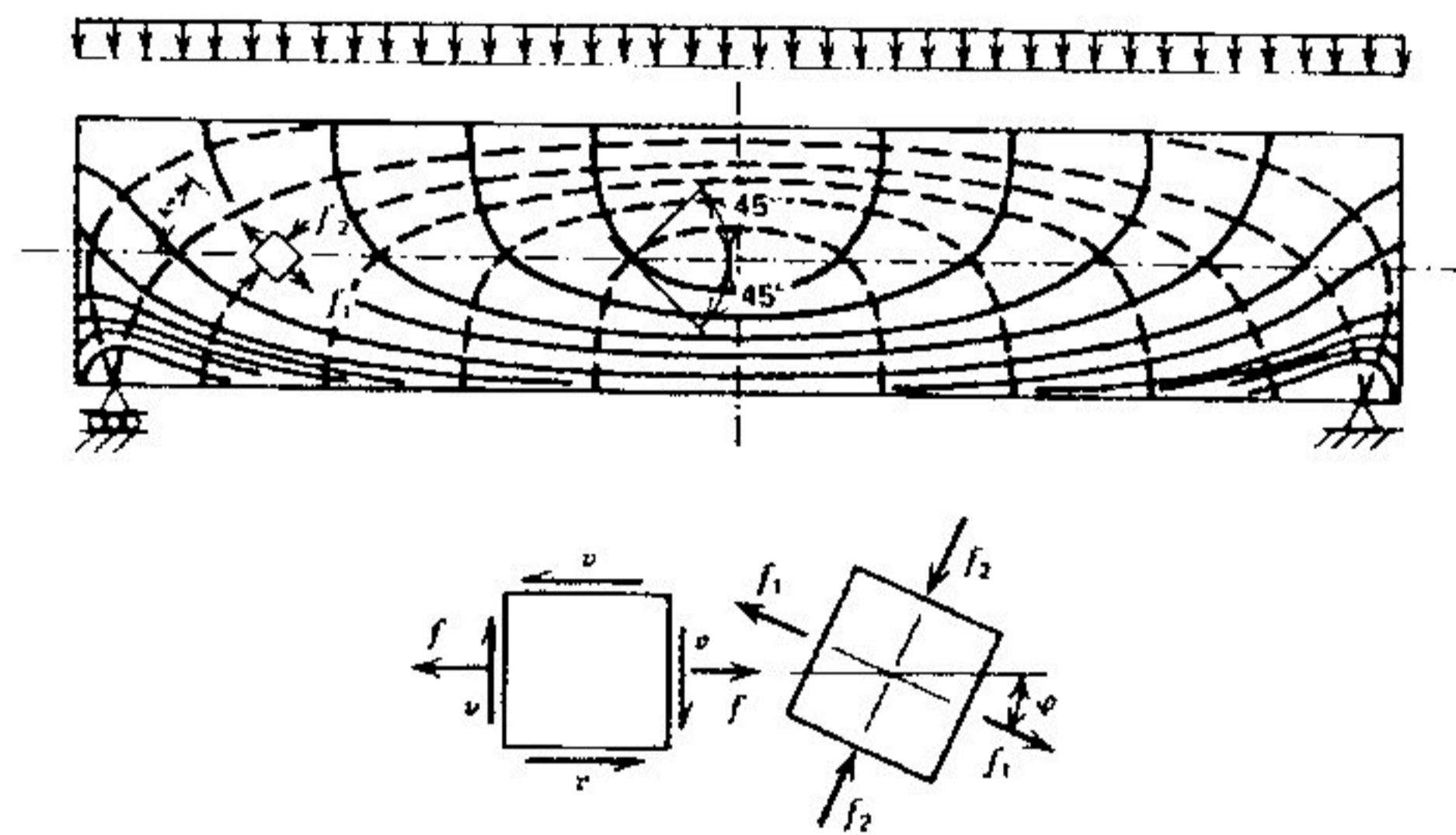
- um concreto de resistência inadequada,
- armadura insuficiente,
- armadura mal posicionada no projeto ou na execução,
- projetos inadequados,
- sobrecargas não previstas,
- tensão alta na armadura tracionada,
- tensão alta de aderência na ligação concreto / aço.



- **Fissuras típicas em vigas de concreto armado**

Na figura 2.19 é mostrada uma viga sujeita aos esforços de flexão e cisalhamento devido ao carregamento uniformemente distribuído. Na figura estão desenhadas as direções principais dos esforços. As linha contínuas representam as direções dos esforços de tração e as pontilhadas, as de compressão.

O aparecimento das fissuras ocorrem quando,  $f_1 > f_{ctm}$ , ou seja, quando a tensão  $f_1$  superar a resistência à tração do concreto,  $f_{ctm}$ .



**Figura 2.19 - Tensões em uma viga biapoiada resultante de um carregamento uniformemente distribuído. [18]**

As fissuras ocorrem perpendiculares às trajetórias dos esforços principais de tração. Logo as fissuras são praticamente verticais no terço médio do vão e apresentam aberturas gradativamente maiores em direção à face inferior da viga, onde se encontram as fibras mais tracionadas. Junto aos apoios, as fissuras inclinam-se aproximadamente a 45° com a horizontal. Esta configuração está indicada na figura 2.20.

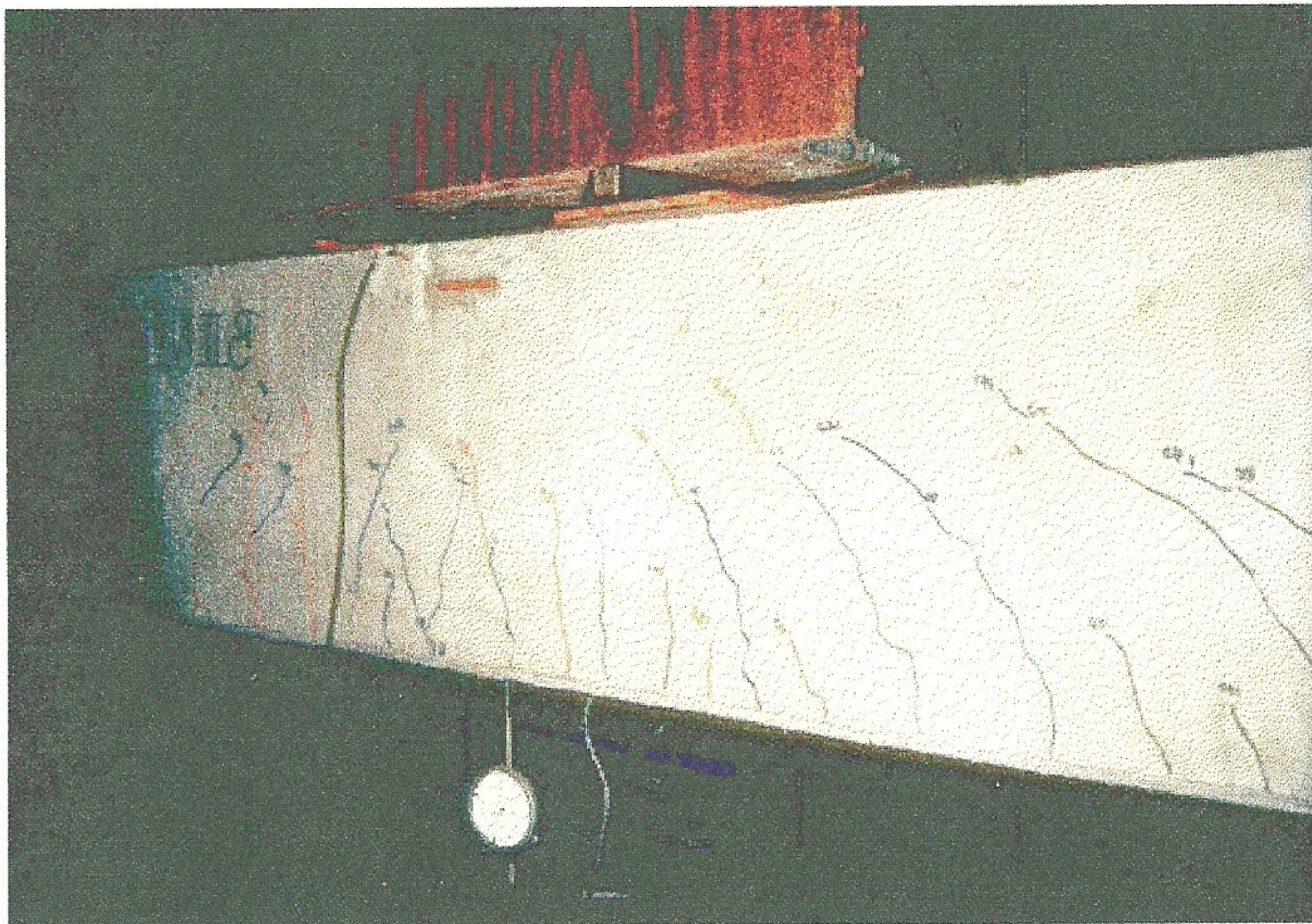




**Figura 2.20 - Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão. [23]**

No caso das vigas deficientemente armadas ao cisalhamento ( os estribos insuficientes ), ou deficiência de ancoragem das armaduras, podem surgir inicialmente apenas as fissuras inclinadas próximas ao apoio conforme mostrado na figura 2.21.





**Figura 2.21 - Fissura de cisalhamento em viga solicitada à flexão. [23]**

Nas vigas altas esta inclinação tende a ser da ordem de  $60^\circ$  conforme mostrado nas figuras 2.22.



**Figura 2.22 - Fissura de cisalhamento em viga alta. [22]**



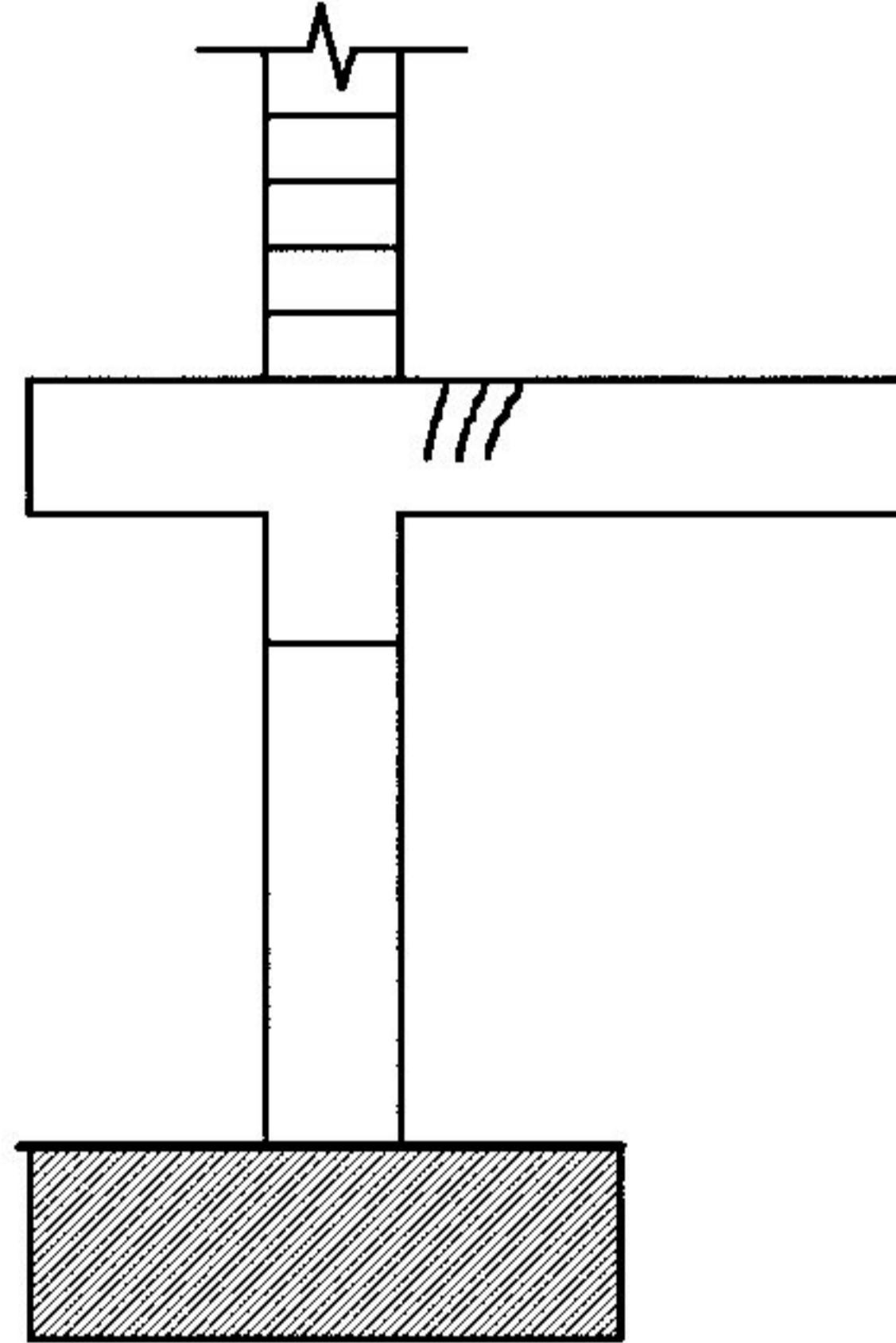
Nas vigas submetidas ao esforço de flexão podem ocorrer fissuras devido ao esmagamento no concreto na região comprimida, figura 2.23.



**Figura 2.23 - Fissura devida ao esmagamento do concreto. [23]**



Na parte superior das vigas de marquises e balcões podem surgir fissuras devido ao esforço de flexão, figura 2.24.

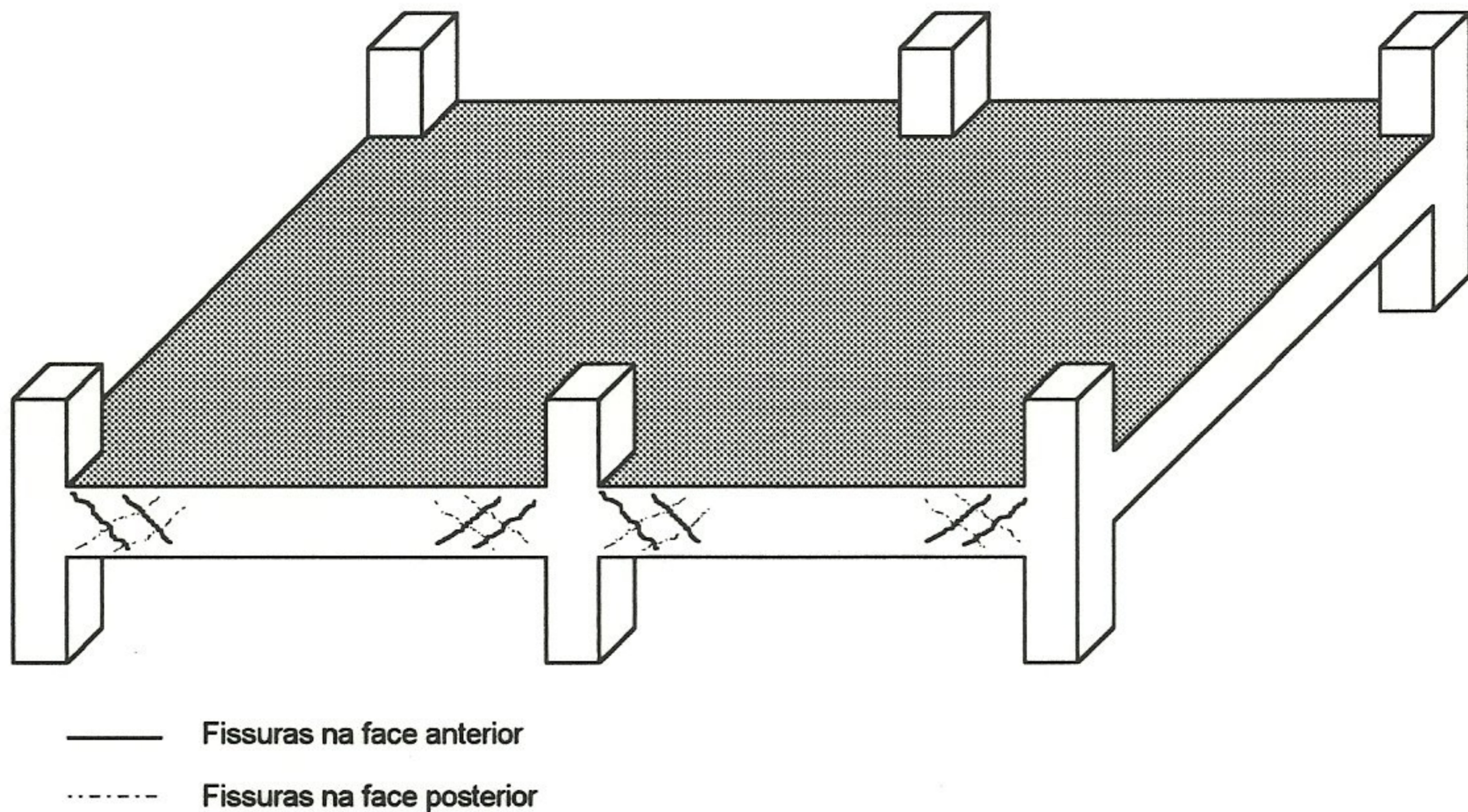


---

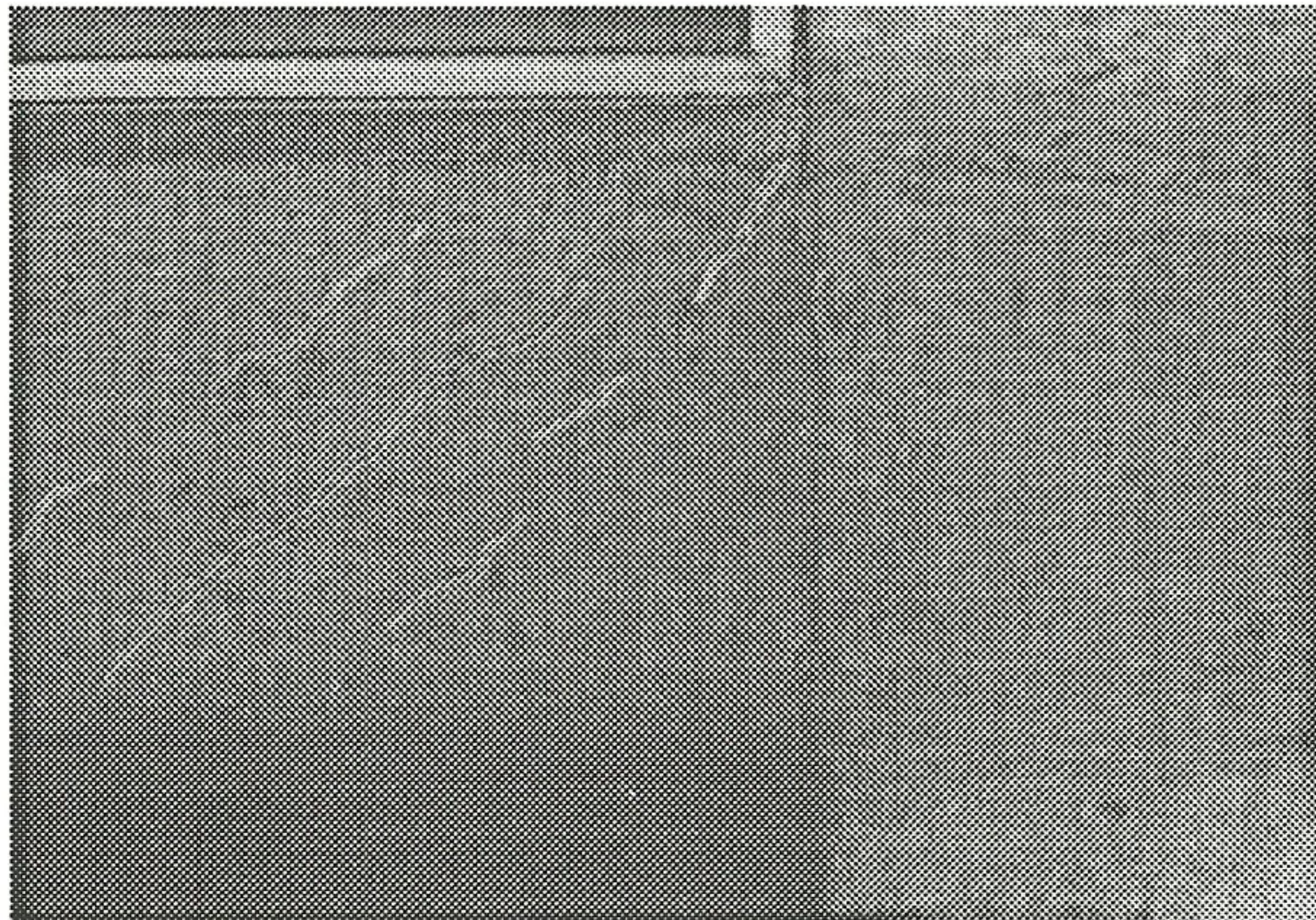
**Figura 2.24 - Fissuras de flexão na parte superior da viga. [13]**



As fissuras de torção podem aparecer em vigas de bordas, junto aos cantos das construções, por excessiva deformabilidade de lajes, figuras 2.25 e 2.26, ou vigas que lhe são transversais, por atuação de cargas excêntricas ou por recalques diferenciais das fundações.



**Figura 2.25 - Fissuramento de uma viga devido ao esforço de torção. [22]**



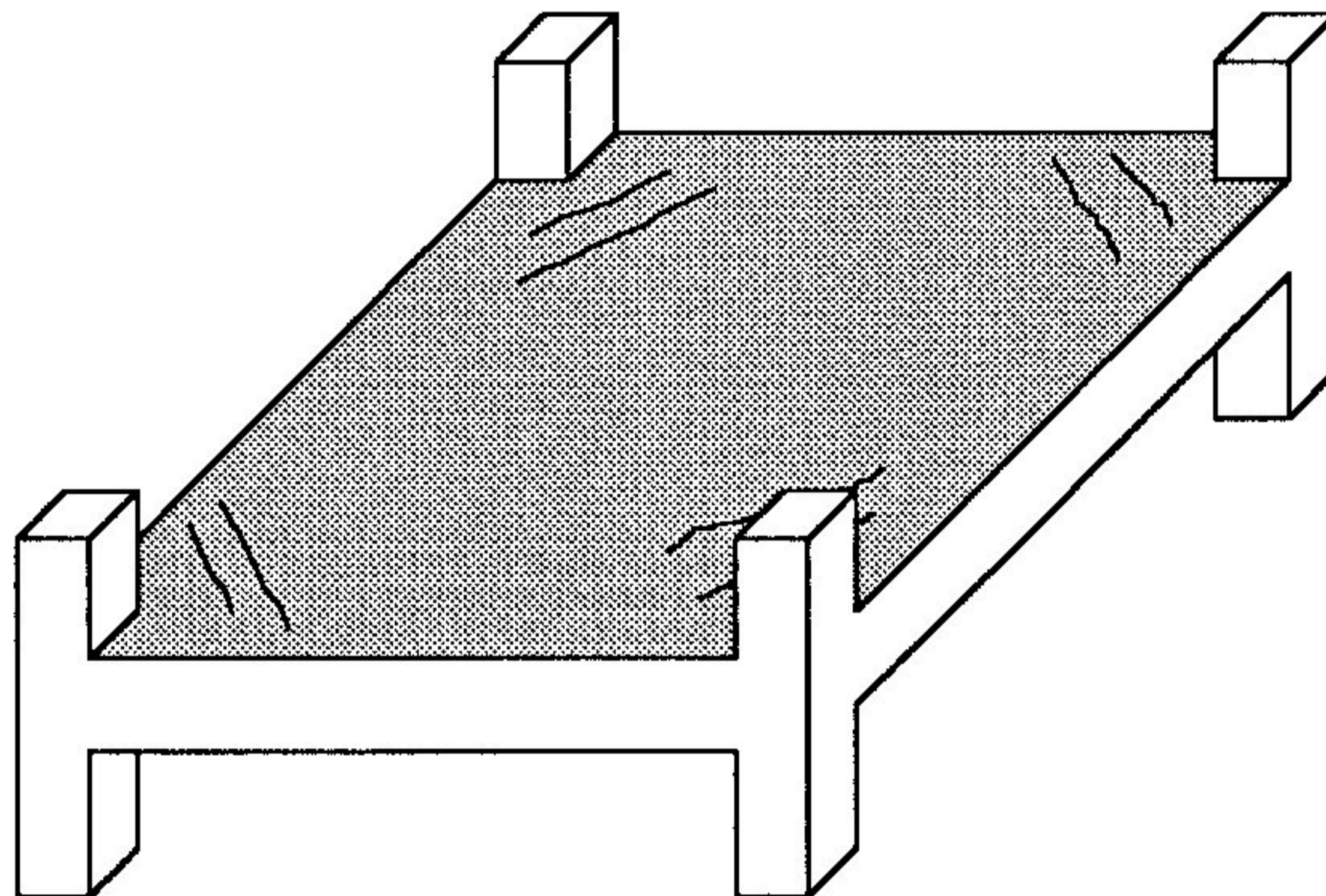
**Figura 2.26 - Fissuras de torção numa viga de concreto armado. [22]**



- **Fissuras típicas em lajes de concreto armado**

O aspecto das fissuras presentes em lajes, devido ao carregamento, varia conforme suas condições de contorno ( apoio livre ou engastado ), a relação entre comprimento e largura, o tipo de armação e a natureza e intensidade da solicitação.

Nas lajes fletidas, os momentos que se desenvolvem nas proximidades dos cantos da laje podem produzir fissuras inclinadas, figura 2.27.

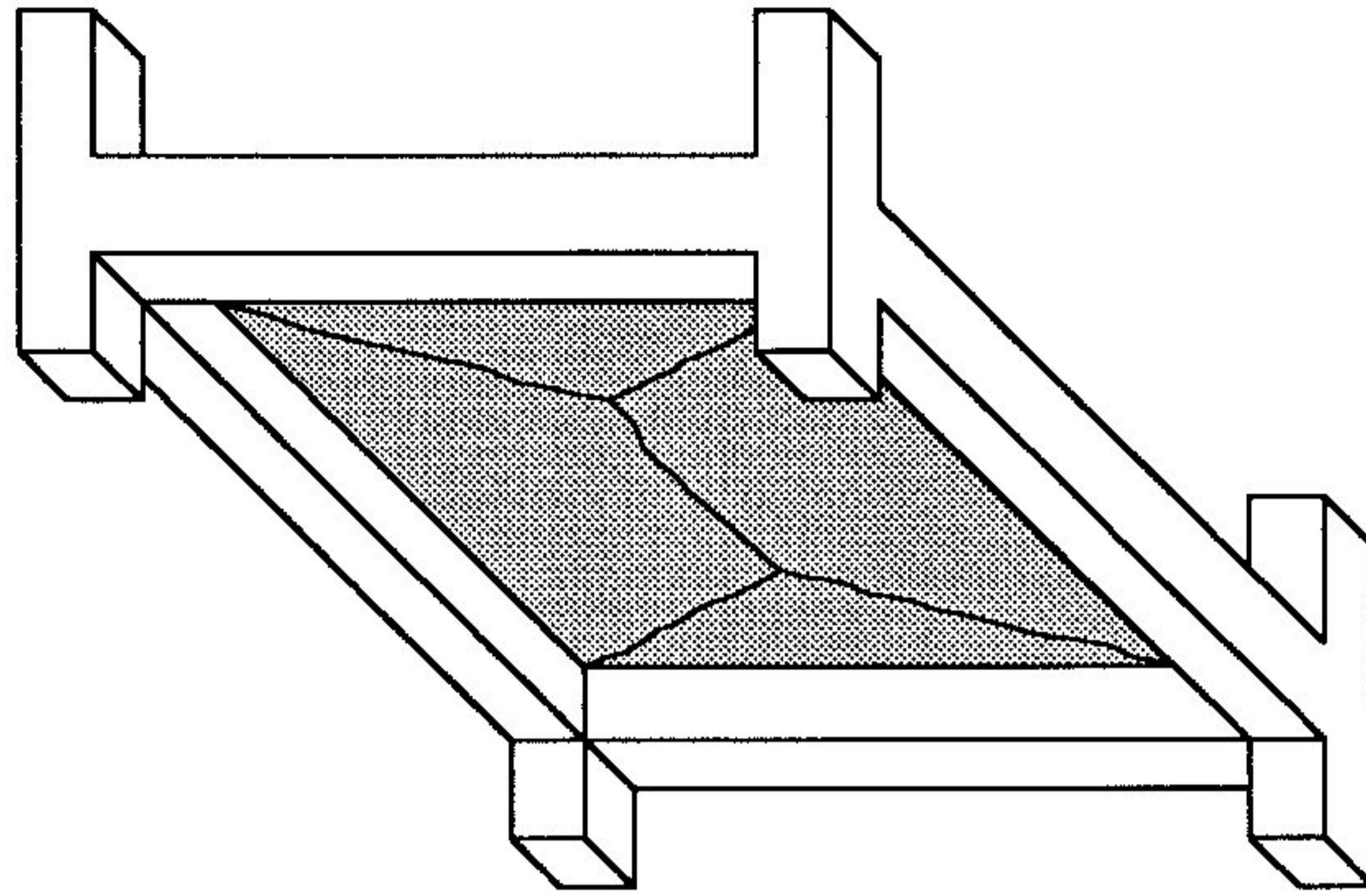


---

**Figura 2.27 - Fissuramento típico de lajes simplesmente apoiadas, parte superior.**  
[22]

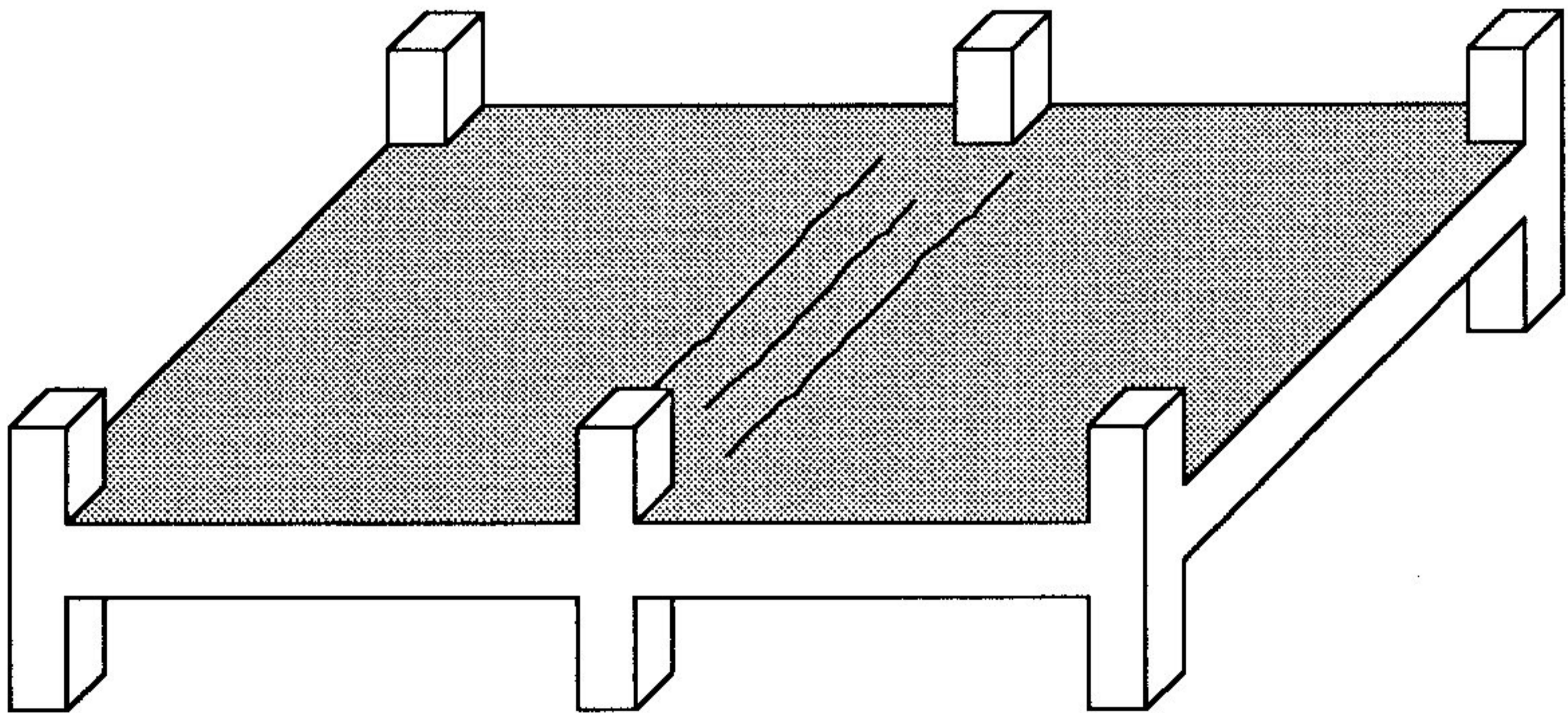
A figura 2.28 mostra o aspecto típico do fissuramento na ruptura de uma laje simplesmente apoiada, armada em cruz e submetida a carregamento uniformemente distribuído.





**Figura 2.28 - Fissuramento típico de lajes simplesmente apoiadas, parte inferior.**  
[22]

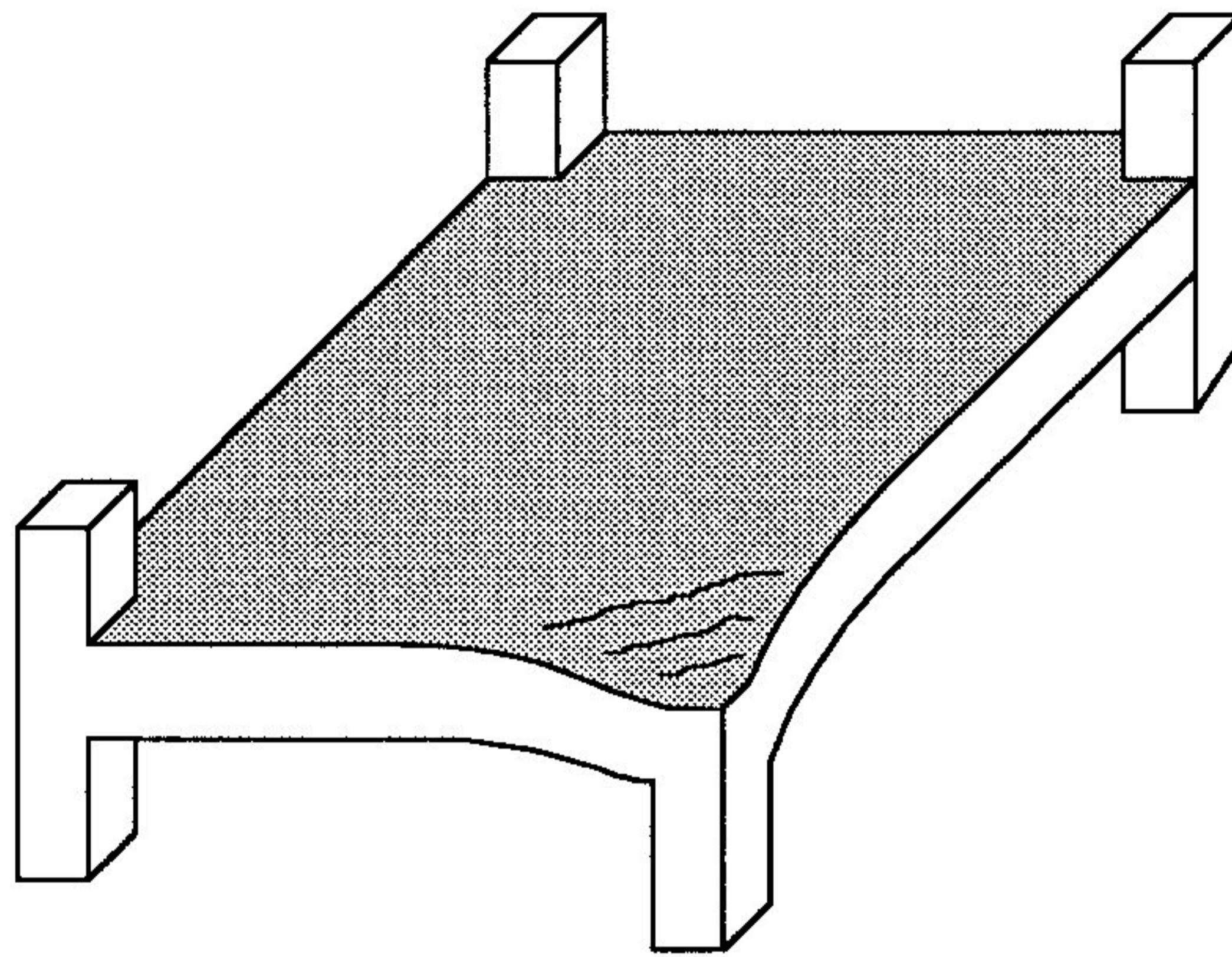
Quando não existe ferragem suficiente entre painéis de lajes construtivamente contínuas, fissuras paralelas ao apoio surgem na face superior da laje conforme a figura 2.29.



**Figura 2.29 - Fissuras na face superior da laje devidas à ausência de armadura negativa.** [22]



Por recalques diferenciais das fundações ou por deformabilidade da estrutura, as lajes podem ser submetidas a solicitações de torção muito mais significativas do que aquelas que se desenvolvem nas lajes fletidas [22]. As fissuras nesses casos apresentam-se inclinadas em relação aos bordos da laje, figura 2.30.



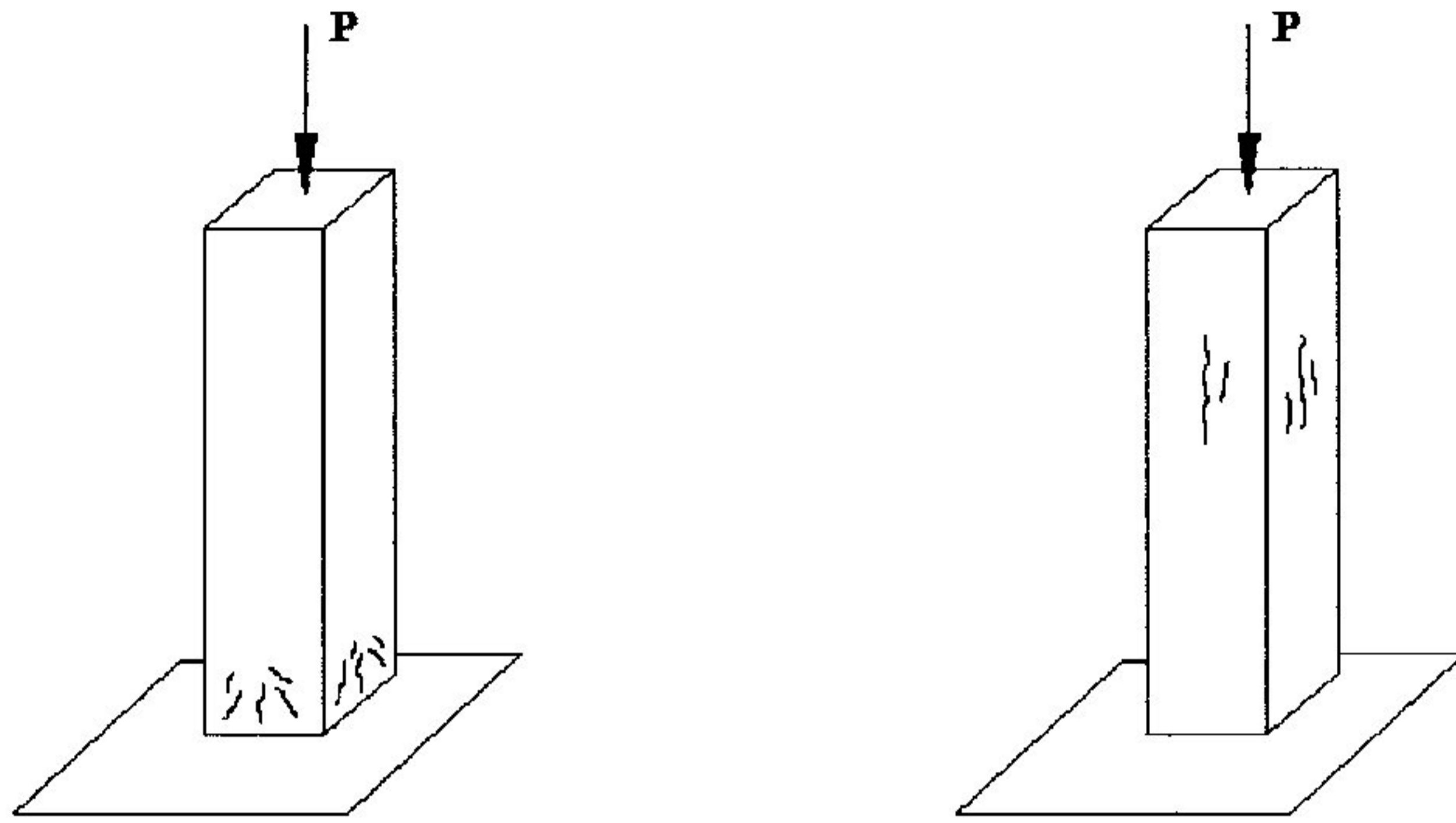
**Figura 2.30 - Fissuras inclinadas devidas à torção da laje. [22]**

- **Fissuras típicas em pilares de concreto armado**

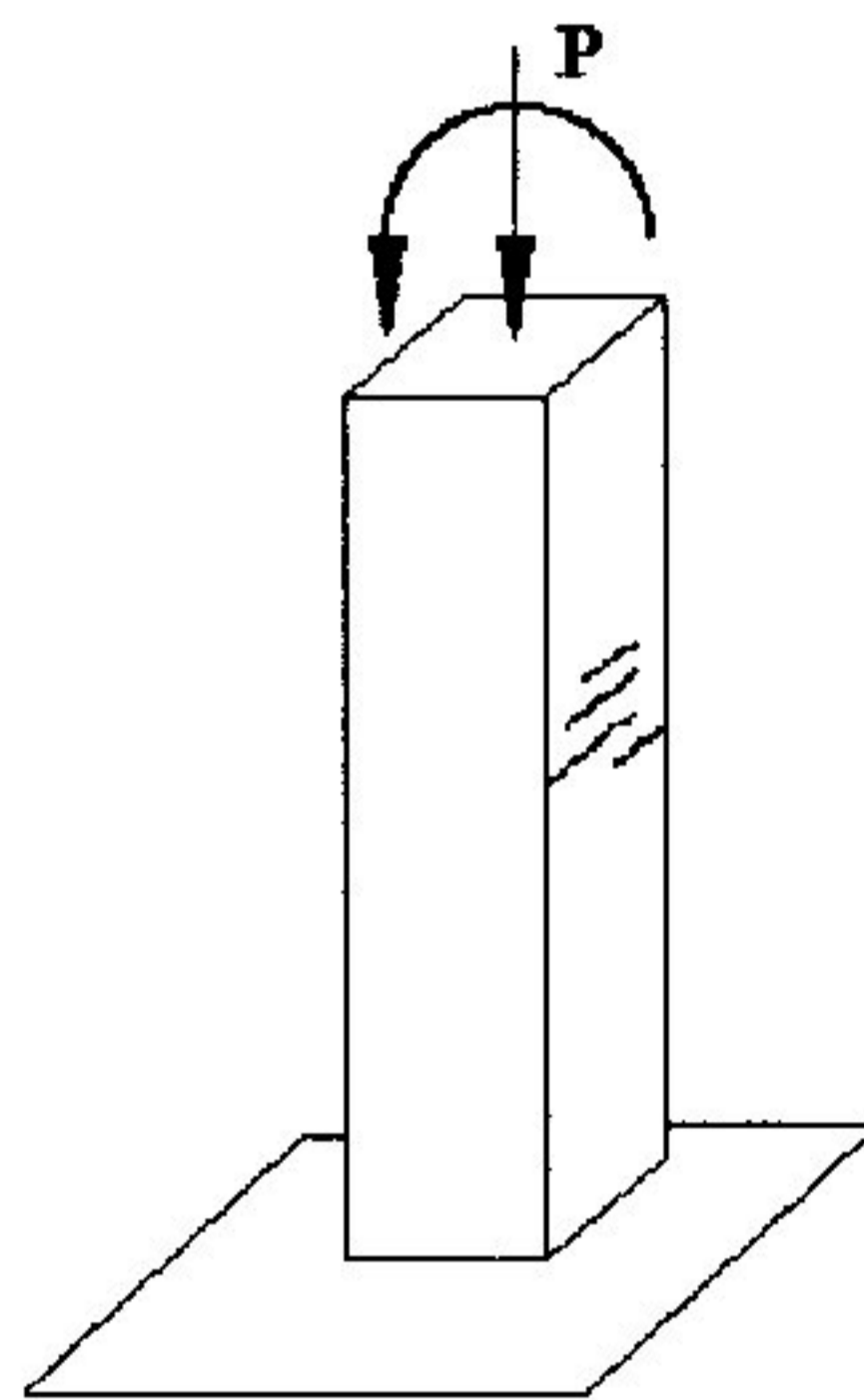
A manifestação de fissuras em pilares de concreto armado é um fato bastante raro, já que as tensões atuantes nesses componentes são, em geral, bastante inferiores às tensões necessárias para provocar tais fissuras.

Podem surgir nos pilares algumas fissuras características ou típicas conforme indicado na figura 2.31 e 2.32.





( a ) fissuras por esmagamento do concreto      ( b ) fissuras por insuficiência de estribos



( c ) fissuras por solicitação de flexocompressão

---

**Figura 2.31 - Fissuras típicas em pilares de concreto armado. [14]**





**Figura 2.32 - Fissuras típicas em pilares de concreto armado devidas à rotação em torno do seu eixo. [23]**

No apêndice A encontram-se algumas configuração típicas de fissuras em alvenarias devido ao carregamento.



## **B - Fissuras causadas por movimentação térmica**

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a variações de temperatura, sazonais e diárias, que provocam a variação dimensional dos materiais de construção ( dilatação ou contração ). Esses movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes das estruturas, desenvolvendo tensões e deformações que poderão provocar o aparecimento de fissuras.

A magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e da capacidade de deformação do material.

As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre materiais distintos de um componente, entre componentes distintos e entre regiões distintas de um mesmo material.

As lesões verificadas em obras, sob o efeito das movimentações diferenciadas, assumem diversas configurações e diferentes intensidades. As mais comuns constituem-se em destacamento entre planos de alvenaria e estrutura, fissuras inclinadas em alvenarias devidas a movimentações diferenciadas entre pilares expostos e pilares protegidos, fissuras verticais regularmente espaçadas em muros longos e fissuras horizontais em alvenaria portantes devidas a movimentações térmicas da laje de cobertura.

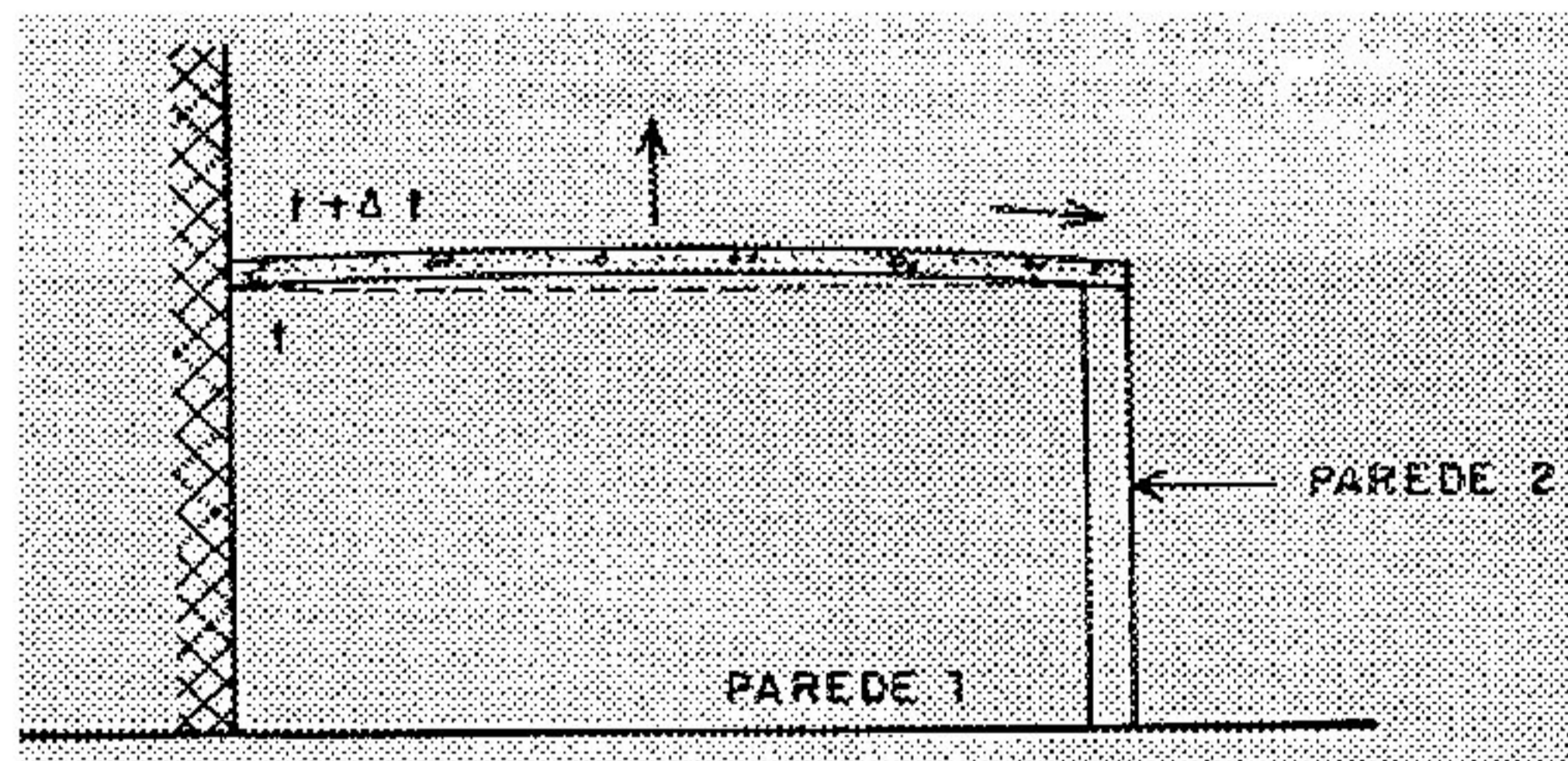
A seguir são mostradas, através de figuras, as configurações típicas de fissuras, em elementos estruturais devido ao efeito térmico.



- **Laje de cobertura sobre paredes autoportantes**

Geralmente as coberturas planas estão mais expostas às mudanças térmicas do que os elementos estruturais verticais das edificações, ocorrendo portanto, movimentos diferenciados entre os elementos verticais e horizontais. Esses movimentos diferenciados podem ser intensificados pelo fato do coeficiente de dilatação térmica linear do concreto ser superior ao das alvenarias.

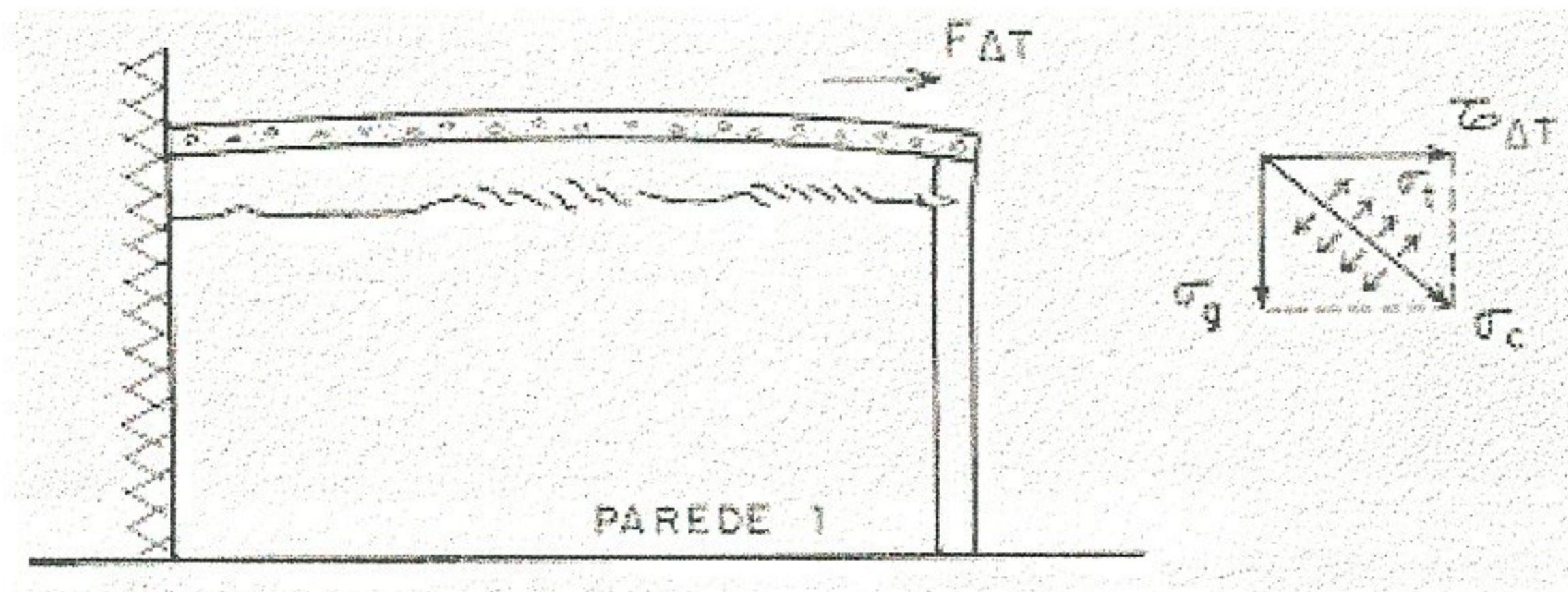
A dilatação plana das lajes e o abaulamento provocado pelo gradiente de temperatura ao longo de sua espessura, figura 2.33, introduzem tensões de tração e de cisalhamento nas paredes das edificações.



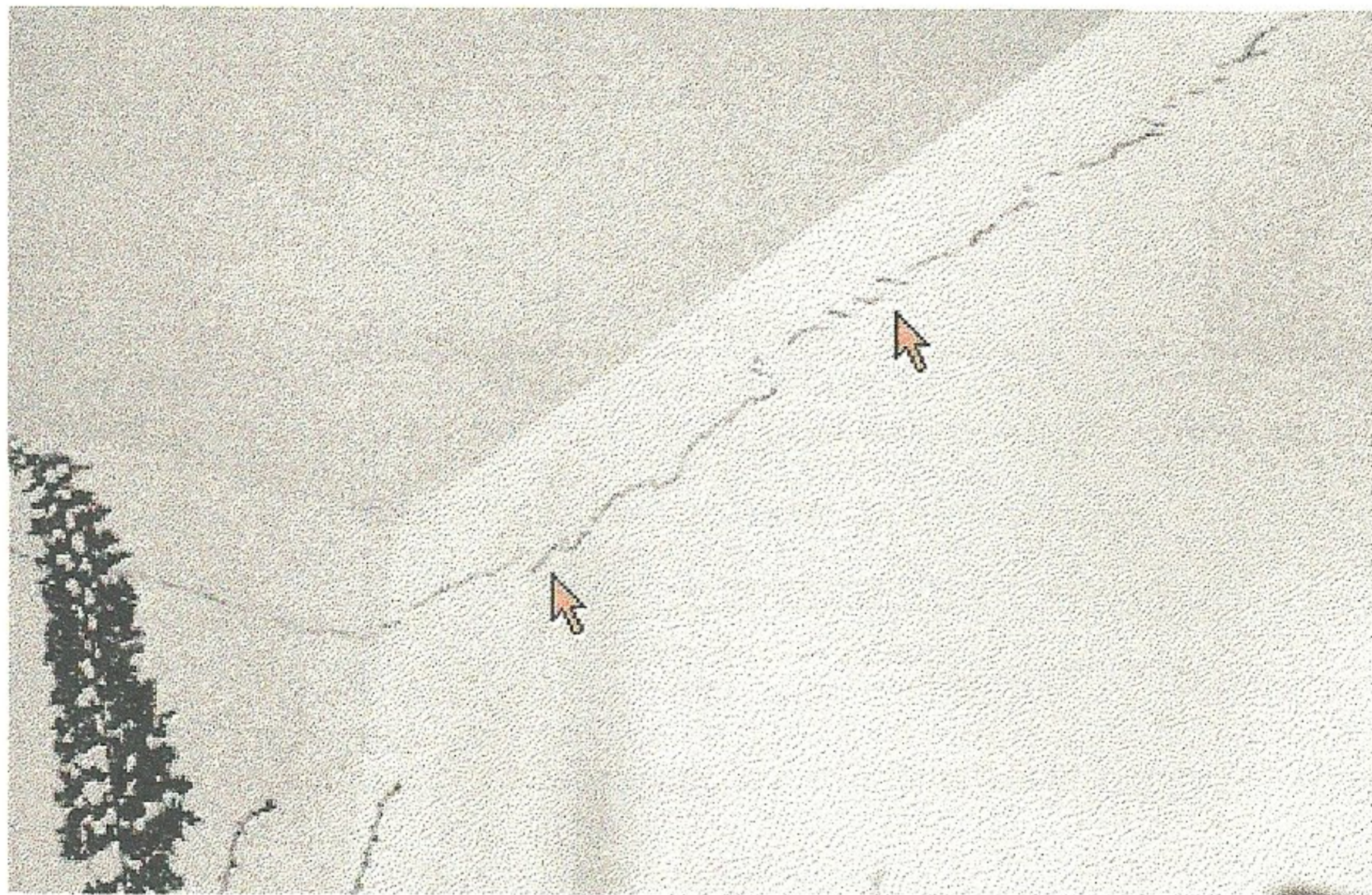
**Figura 2.33 - Movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação da temperatura. [22]**

A configuração típica das fissuras que aparecerão na parede 1 está mostrada nas figuras 2.34 e 2.35. Essa configuração é formada por uma fissura presente no topo da parede 1 paralela ao comprimento da laje e por fissuras inclinadas perpendiculares às resultantes de tração.





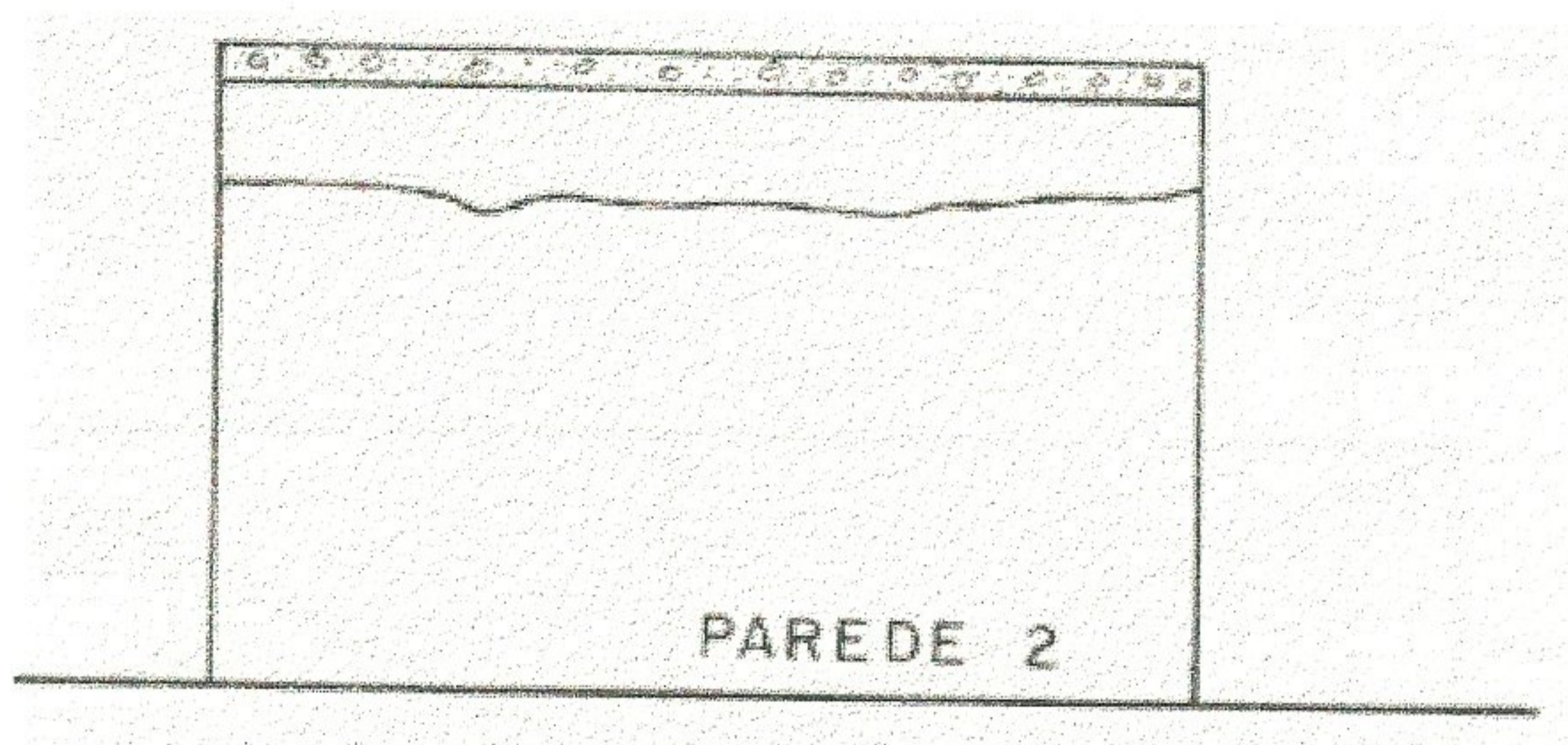
**Figura 2.34 - Fissura típica presente no topo da alvenaria paralela ao comprimento da laje. [22]**



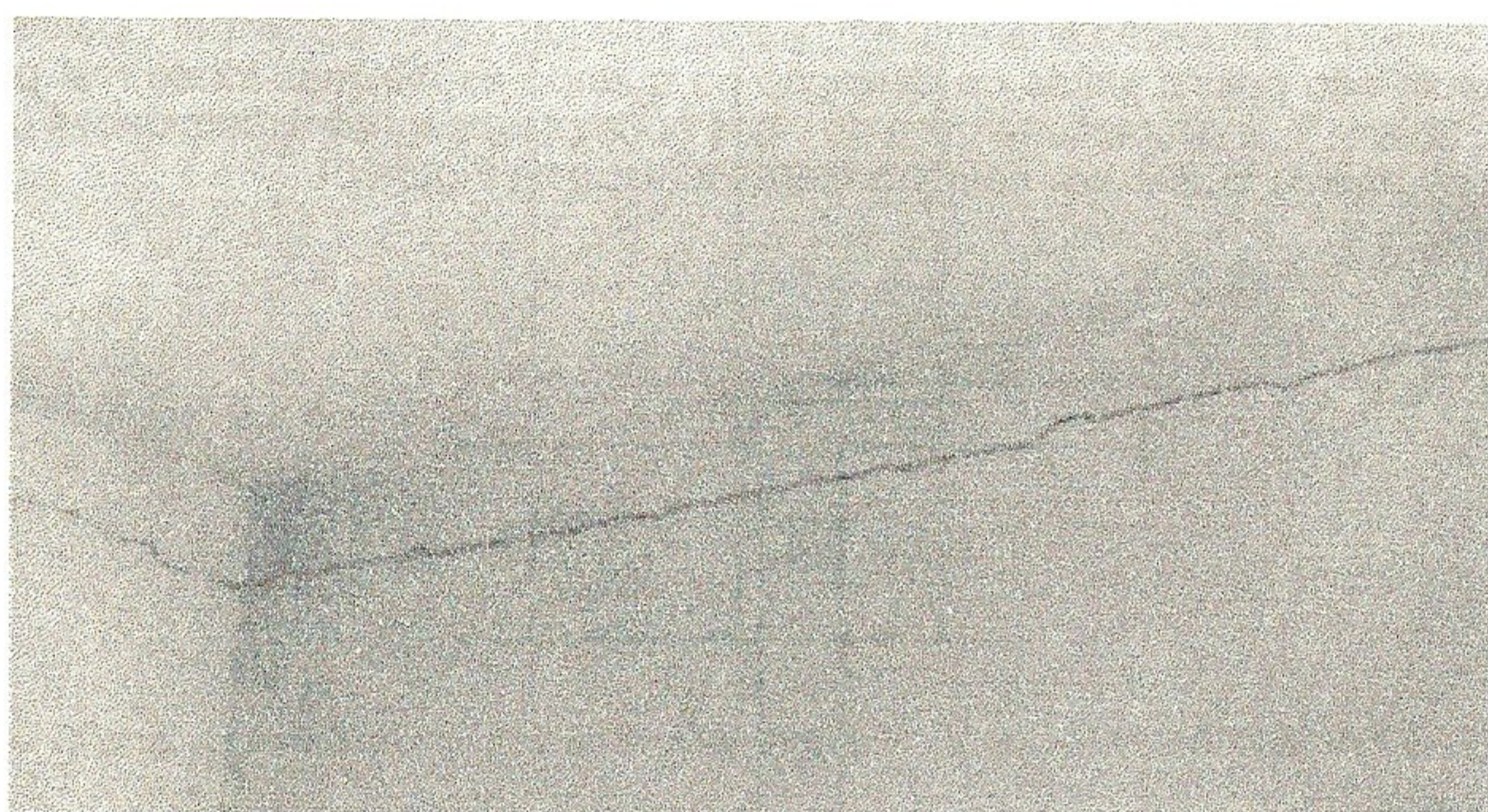
**Figura 2.35 - Alvenaria com fissuras inclinadas, em forma de escama, evidenciando a dilatação térmica da laje de cobertura. [22]**

Na parede 2, a fissura normalmente apresenta-se com um traçado bem definido, realçado o efeito dos esforços de tração na face interna da parede conforme as figuras 2.36 e 2.37.





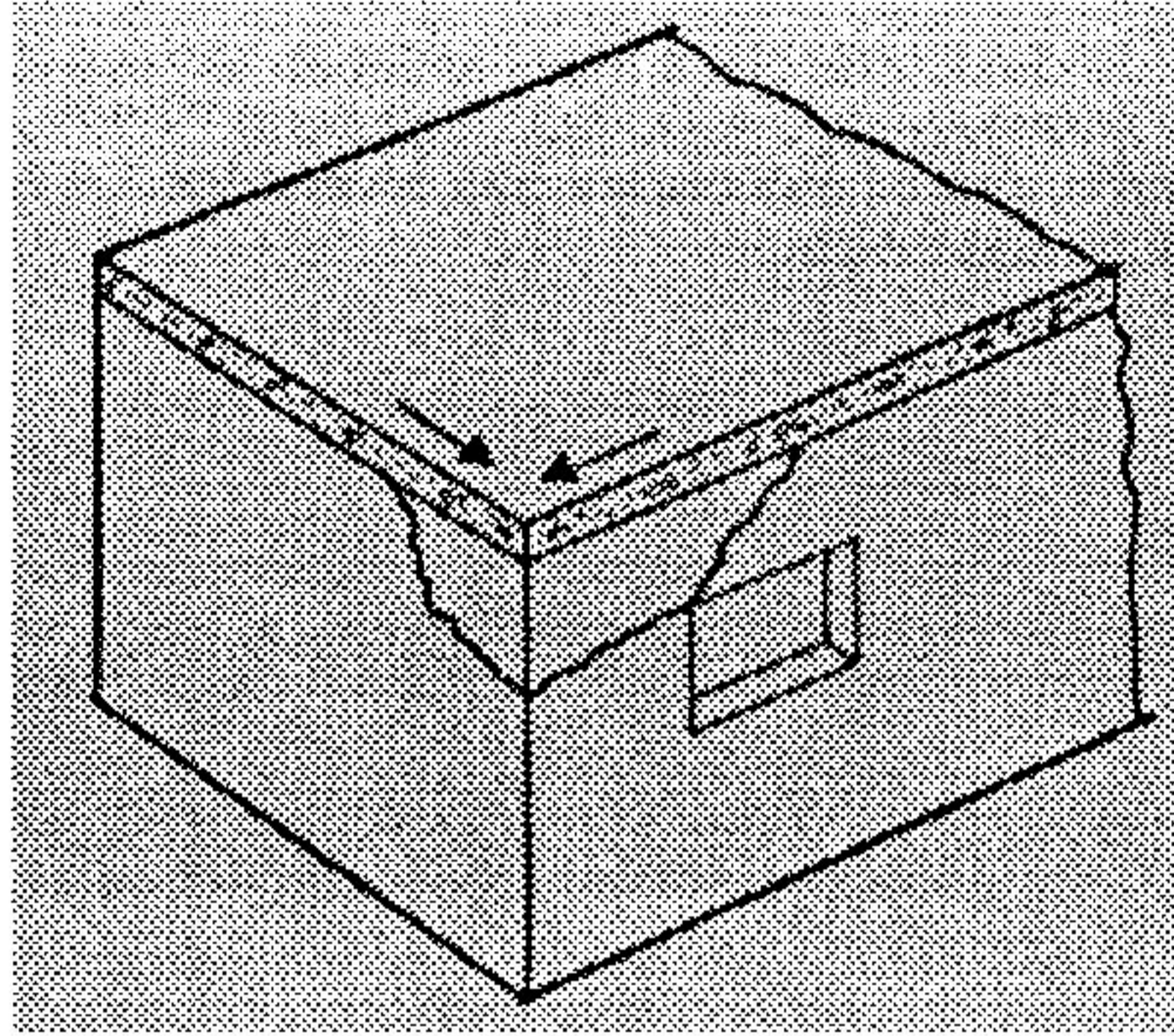
**Figura 2.36 - Fissura típica presente no topo da alvenaria paralela à largura da laje. [22]**



**Figura 2.37 - Fissura com abertura regular no topo da alvenaria, resultante do abaulamento e da dilatação plana da laje de cobertura. [22]**

Outra configuração típica de fissuras em alvenarias devida à dilatação térmica da laje é mostrada pela figura 2.38. A presença de aberturas nas paredes, propiciará o aparecimento de regiões enfraquecidas onde as fissuras irão concentrar-se.



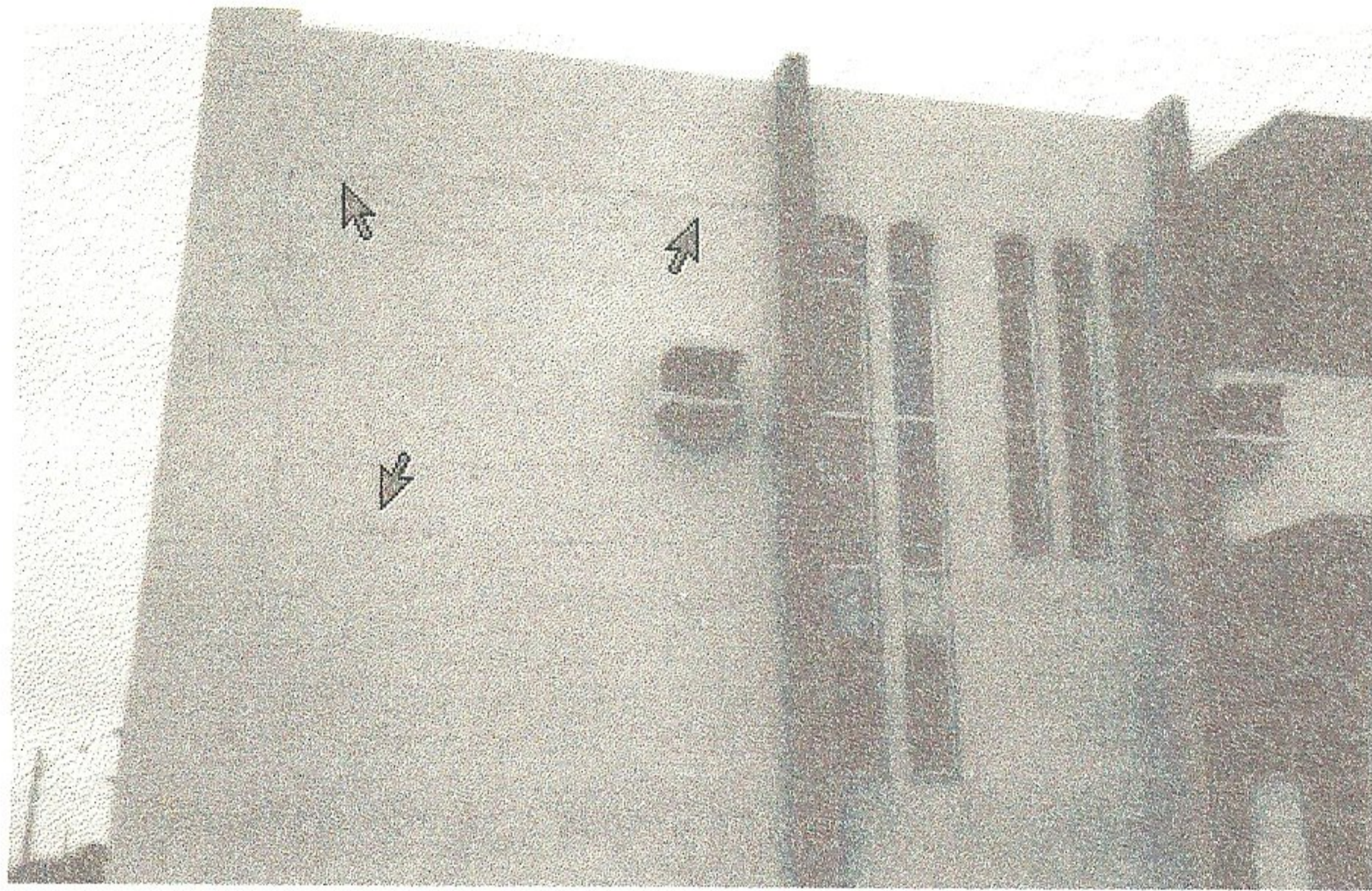


**Figura 2.38 - Fissuras de cisalhamento provocadas por expansão térmica da laje de cobertura. [22]**



- **Movimentação térmica de estrutura reticulada**

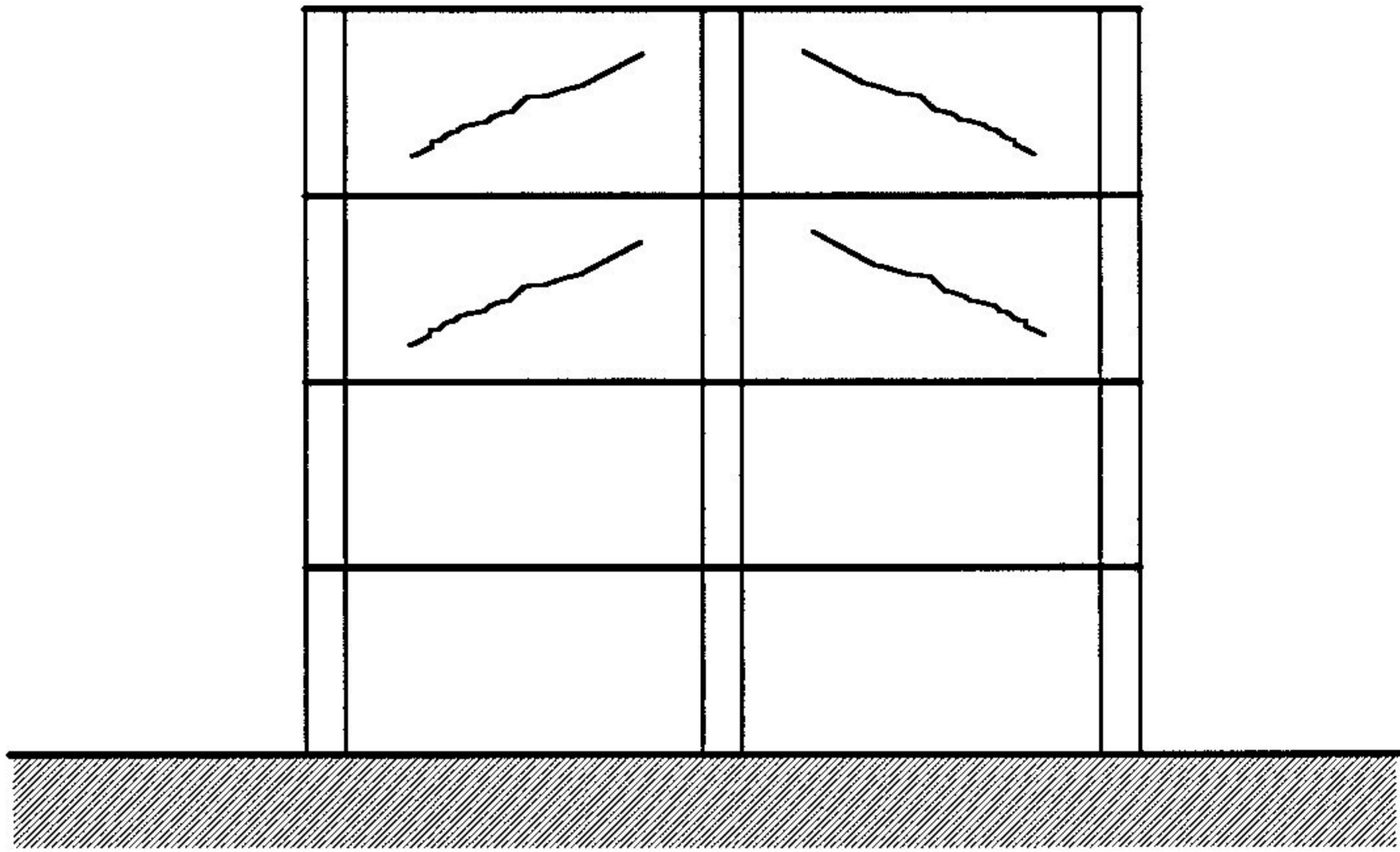
O coeficiente de dilatação térmica do concreto é geralmente superior ao da alvenaria. Quando uma estrutura está sujeita à insolação direta, os elementos reticulares de estruturas de concreto podem atingir temperaturas elevadas, provocando movimentação térmica na estrutura. Essa movimentação pode causar destacamento entre as alvenarias e o reticulado estrutural, figura 2.39, ou fissuras de cisalhamento nas extremidades das alvenarias, figura 2.40.



---

**Figura 2.39 - Destacamento entre alvenaria e estrutura, provocado por movimentações térmicas diferenciais. [22]**





**Figura 2.40 - Fissuras de cisalhamento nas alvenarias, provocadas por movimentação térmica da estrutura. [22]**



- **Movimentações térmicas em platibandas**

As platibandas são geralmente alongadas e tendem a comporta-se como os muros de divisa ou seja, fissuras verticais regularmente espaçadas aparecerão ao longo do comprimento das platibandas. As movimentações térmicas diferenciadas entre a platibanda e o corpo de concreto da estrutura, podem causar o destacamento desses dois elementos conforme a figura 2.41.



**Figura 2.41 - Fissuras inclinadas no topo da parede ( em ambas as extremidades ) e destacamento da platibanda causados por movimentação térmica. [22]**

No apêndice B são apresentadas também fissuras presentes em muros devidas à movimentações térmicas.

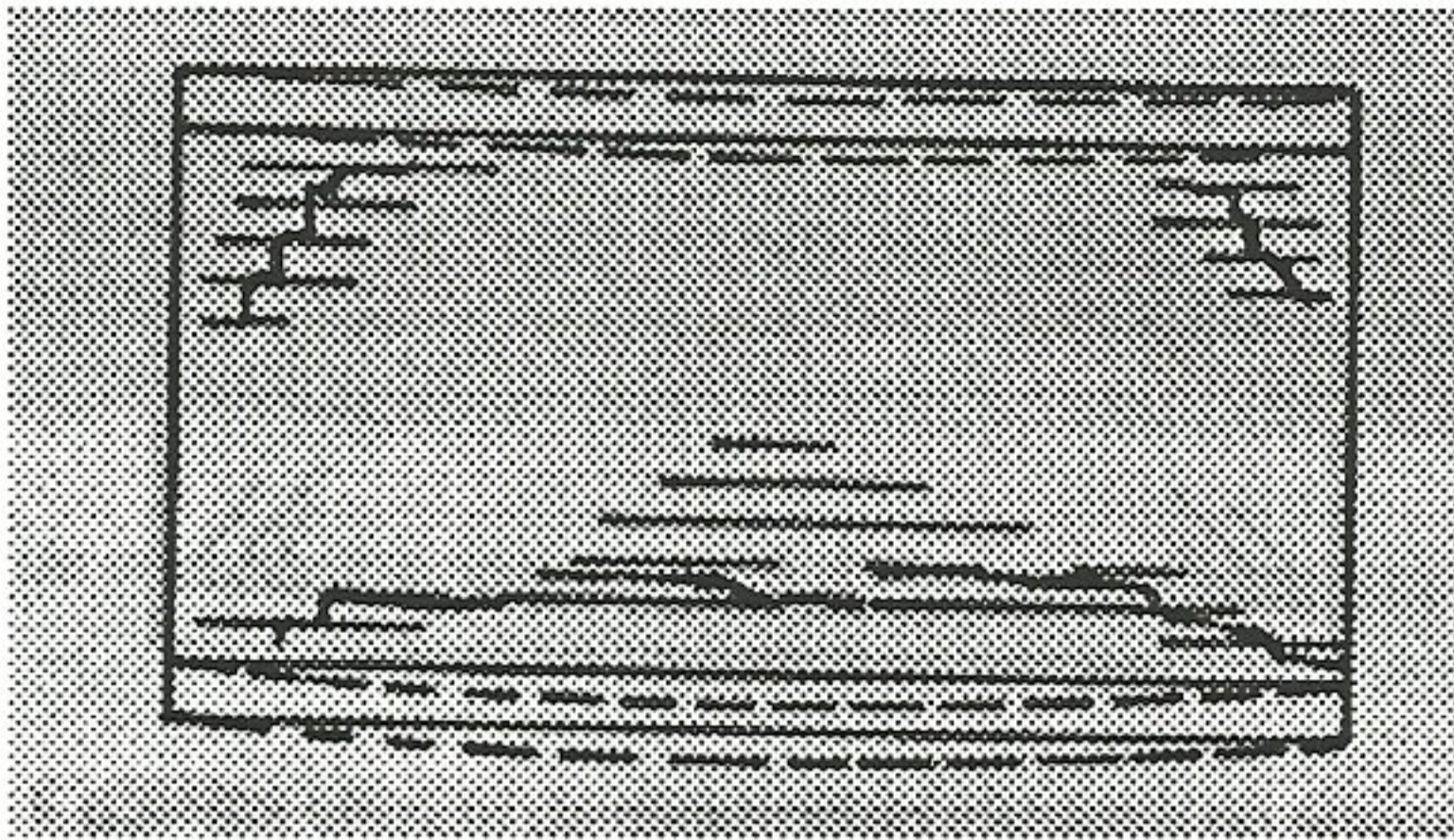


## **C - Fissuras provocadas por deformabilidade excessiva das estruturas de concreto armado**

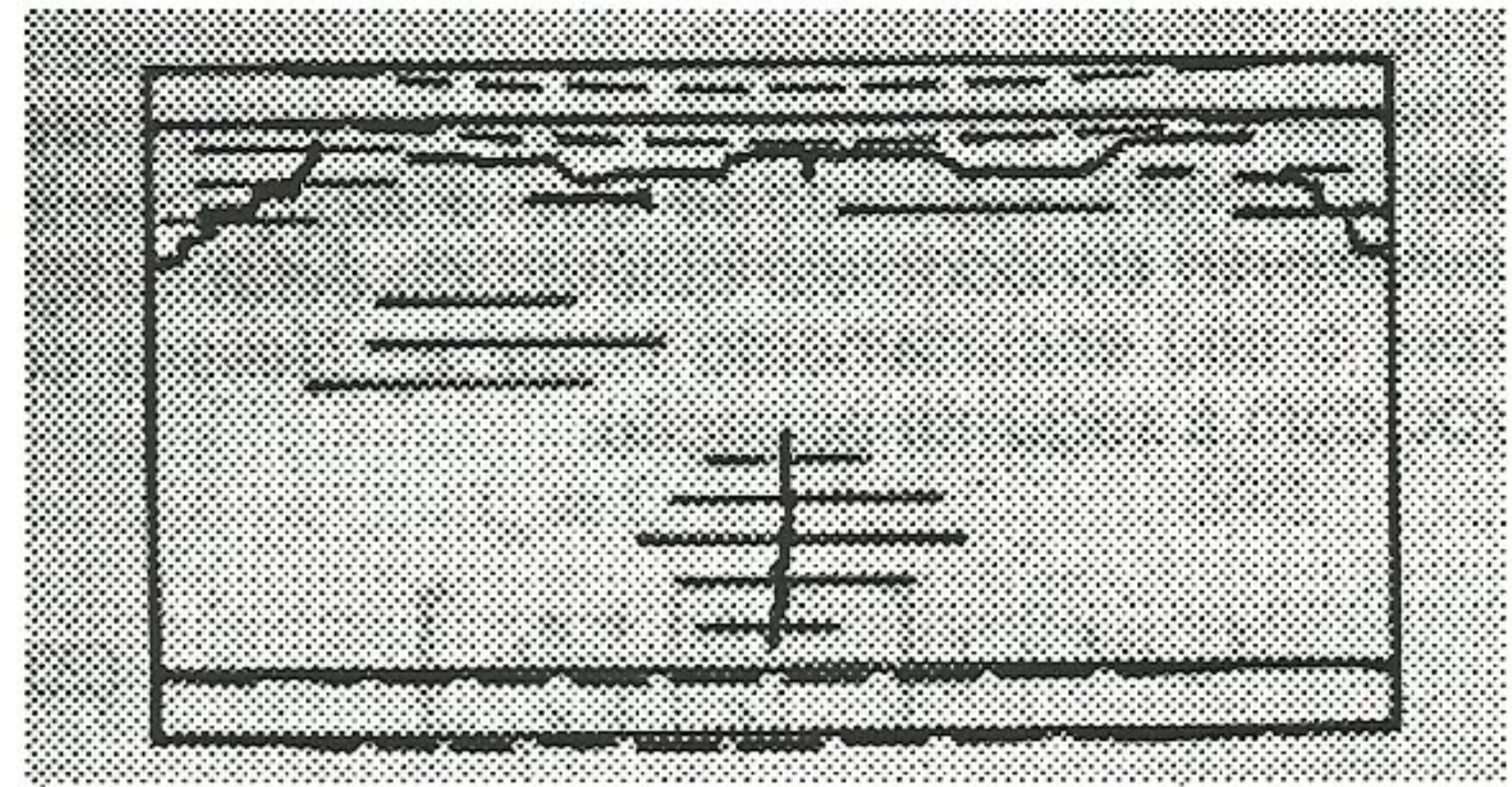
Com a evolução da tecnologia do concreto armado, as estruturas foram se tornando cada vez mais flexíveis exigindo dos calculistas e construtores maiores cuidados com as deformações e suas consequências.

A ocorrência de flechas em componentes fletidos tem causado maiores transtornos aos edifícios no que diz respeito à fissuração. Vigas e Lajes deformam-se naturalmente sob a ação do peso próprio, das demais sobrecargas existentes, da retração, etc. Esses componentes estruturais admitem flechas que podem não comprometer em nada sua resistência ou segurança, mas que podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação de alvenarias ou de outros componentes estruturais. As alvenarias são os componentes da obra mais suscetíveis à ocorrência de fissuras causadas pela deformação das vigas. Em alvenarias de vedação sem abertura de portas e janelas existem três quadros de fissuração típica, conforme mostrados na figura 2.42.

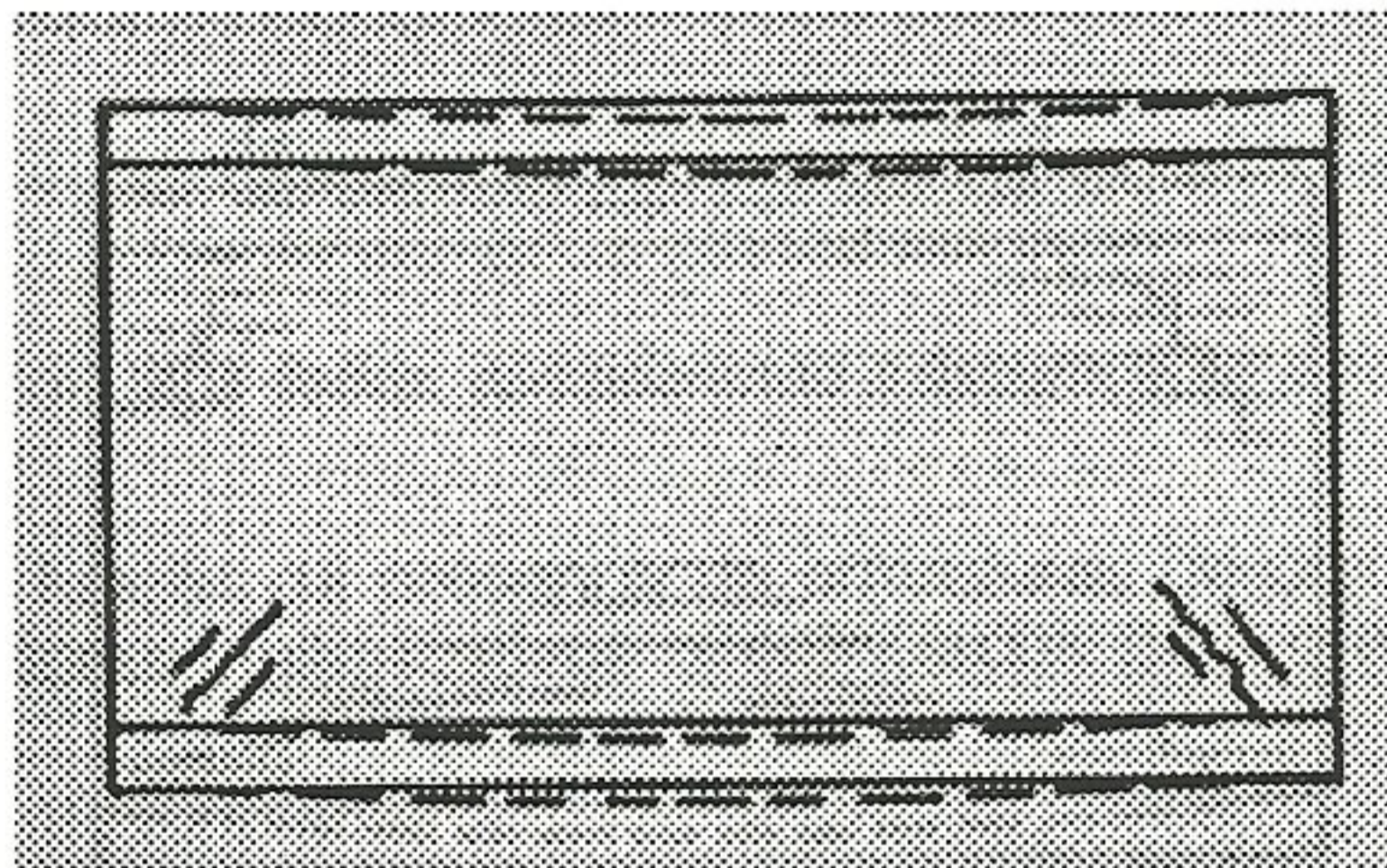




( a ) quando o componente de apoio ( viga inferior ) deforma-se mais que o componente superior ( viga superior ).



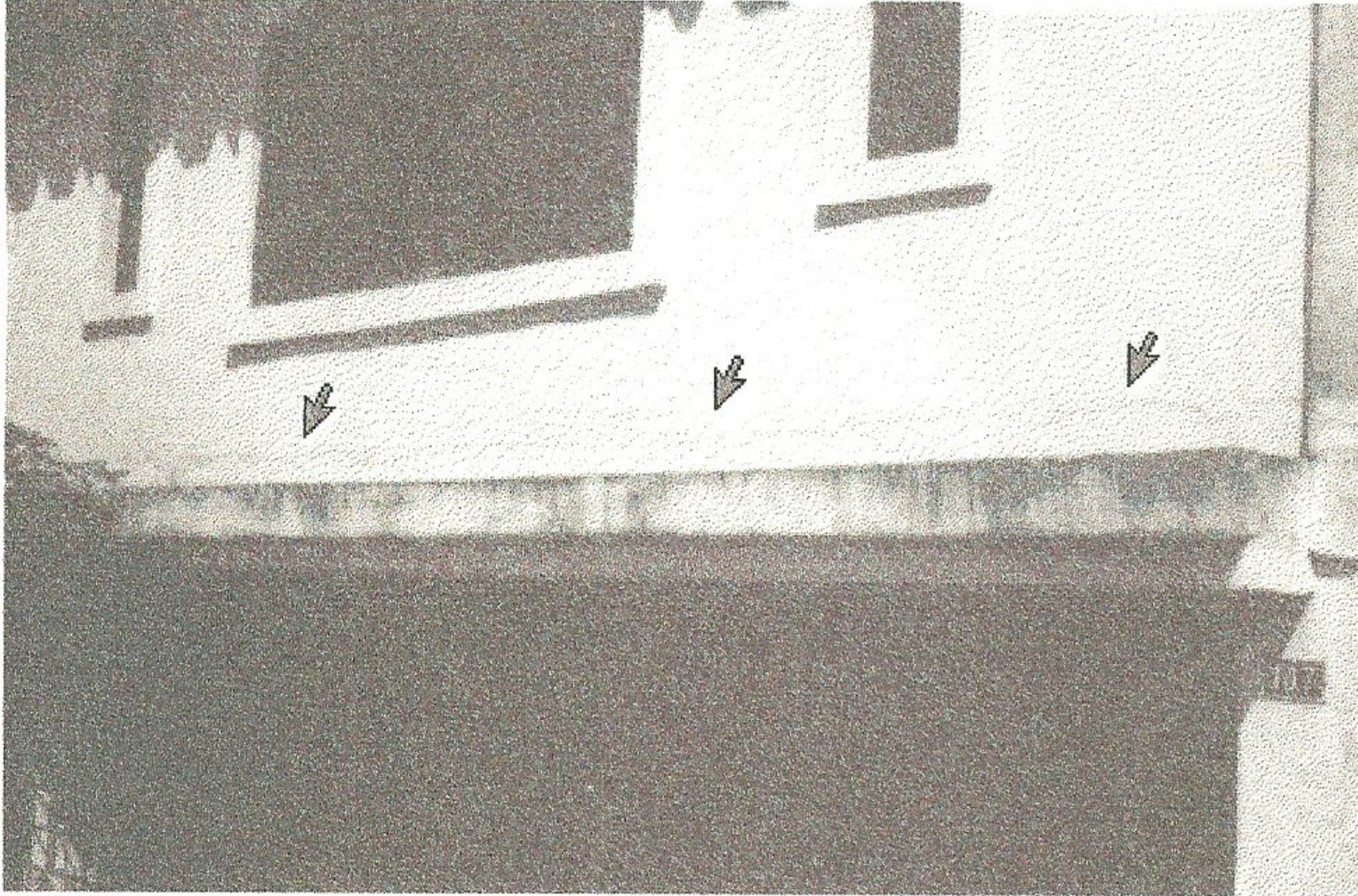
( b ) quando o componente de apoio ( viga inferior ) deforma-se menos que o componente superior ( viga superior ).



( c ) quando os componentes de apoio e superior apresentam deformações aproximadamente iguais.

**Figura 2.42 - Fissuras em alvenarias de vedação. [22]**



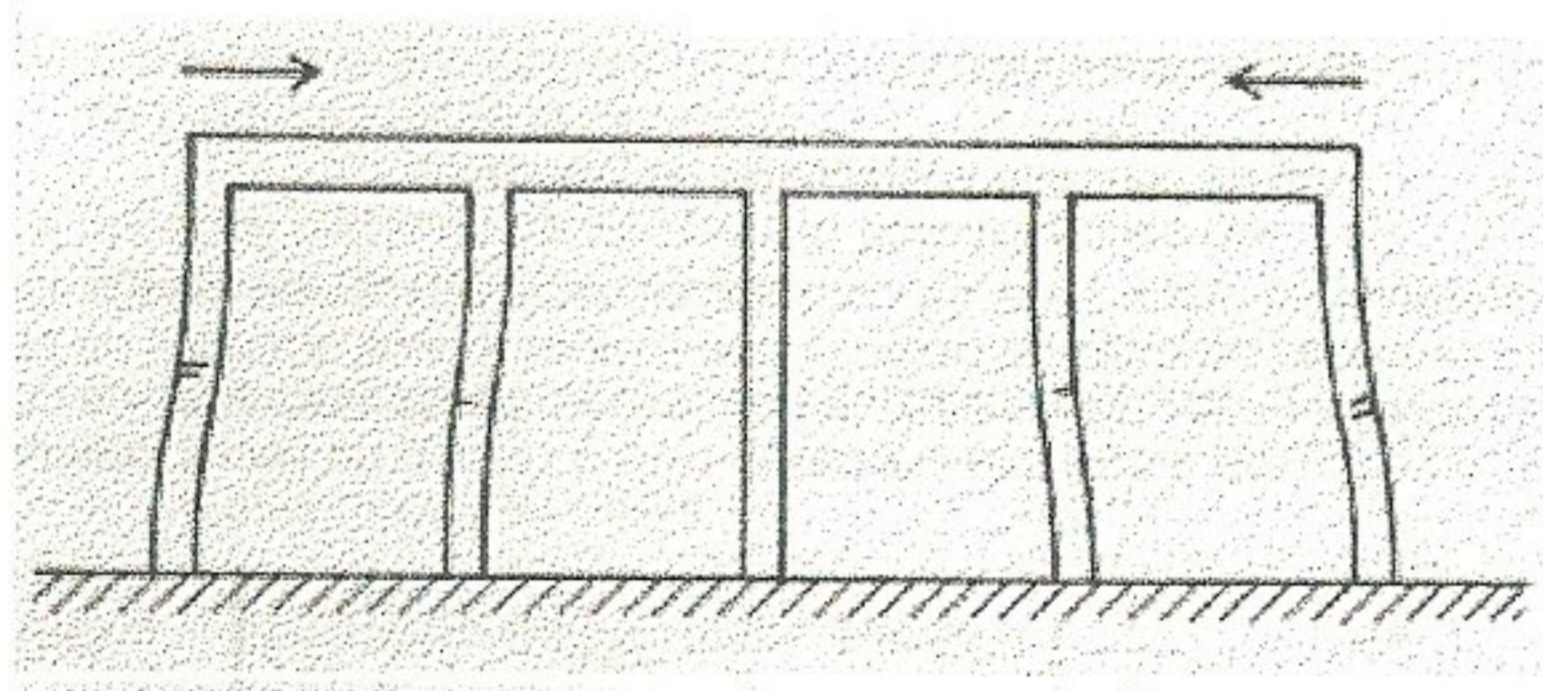


**Figura 2.45 - Fissura horizontal na base da alvenaria, provocada pela flexão da laje da garagem na direção perpendicular à alvenaria. [22]**

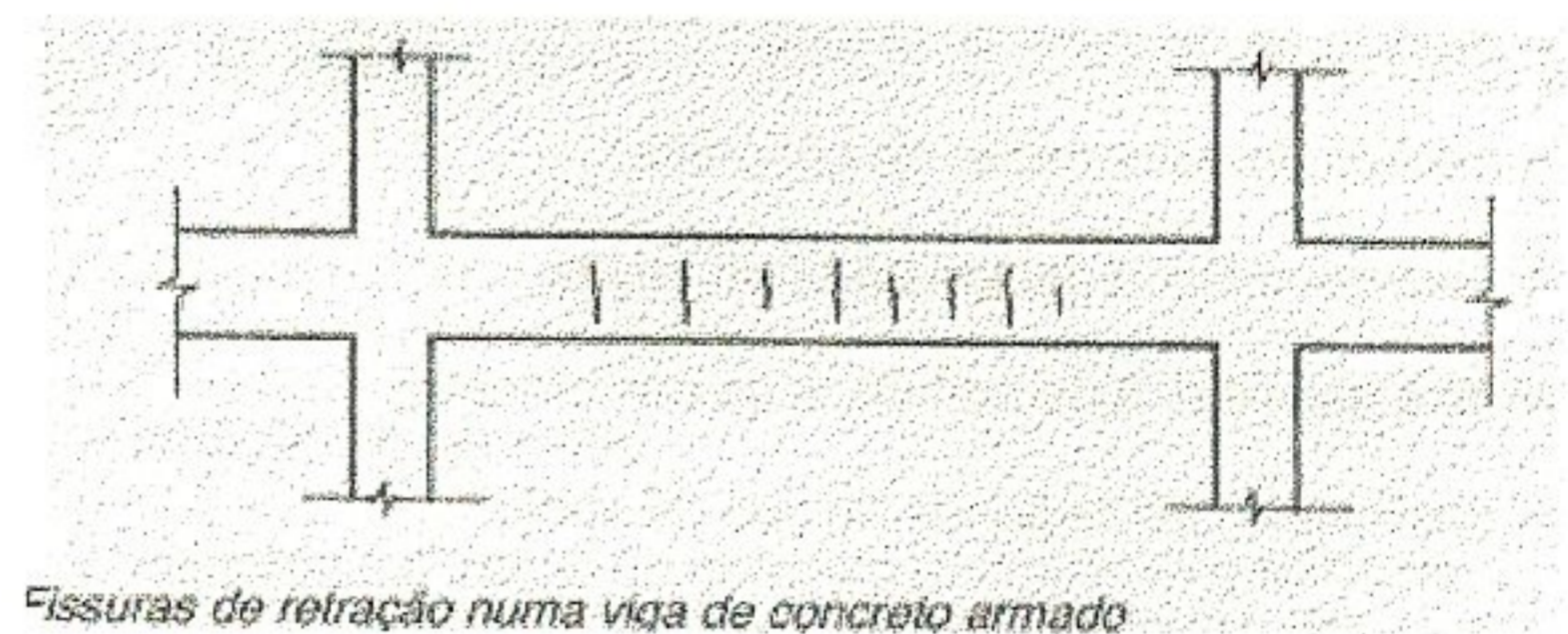


### D - Fissuras causadas pela retração de produtos à base de cimento

O fenômeno de retração ocorre com o produto endurecido, ou em processo de endurecimento, em períodos de tempo relativamente longos. Ele é causado basicamente pela redução do volume da peça, à base de cimento, seja por evaporação, carbonatação ou devido às reações químicas existentes entre o cimento e a água. As peças de uma estrutura reticulada de concreto armado poderão ser solicitadas por elevadas tensões provenientes da retração do concreto, provocando o aparecimento de fissuras conforme a figura 2.46.



(a) Fissuras horizontais nos pilares, devidas à retração do concreto das vigas superiores. [22]



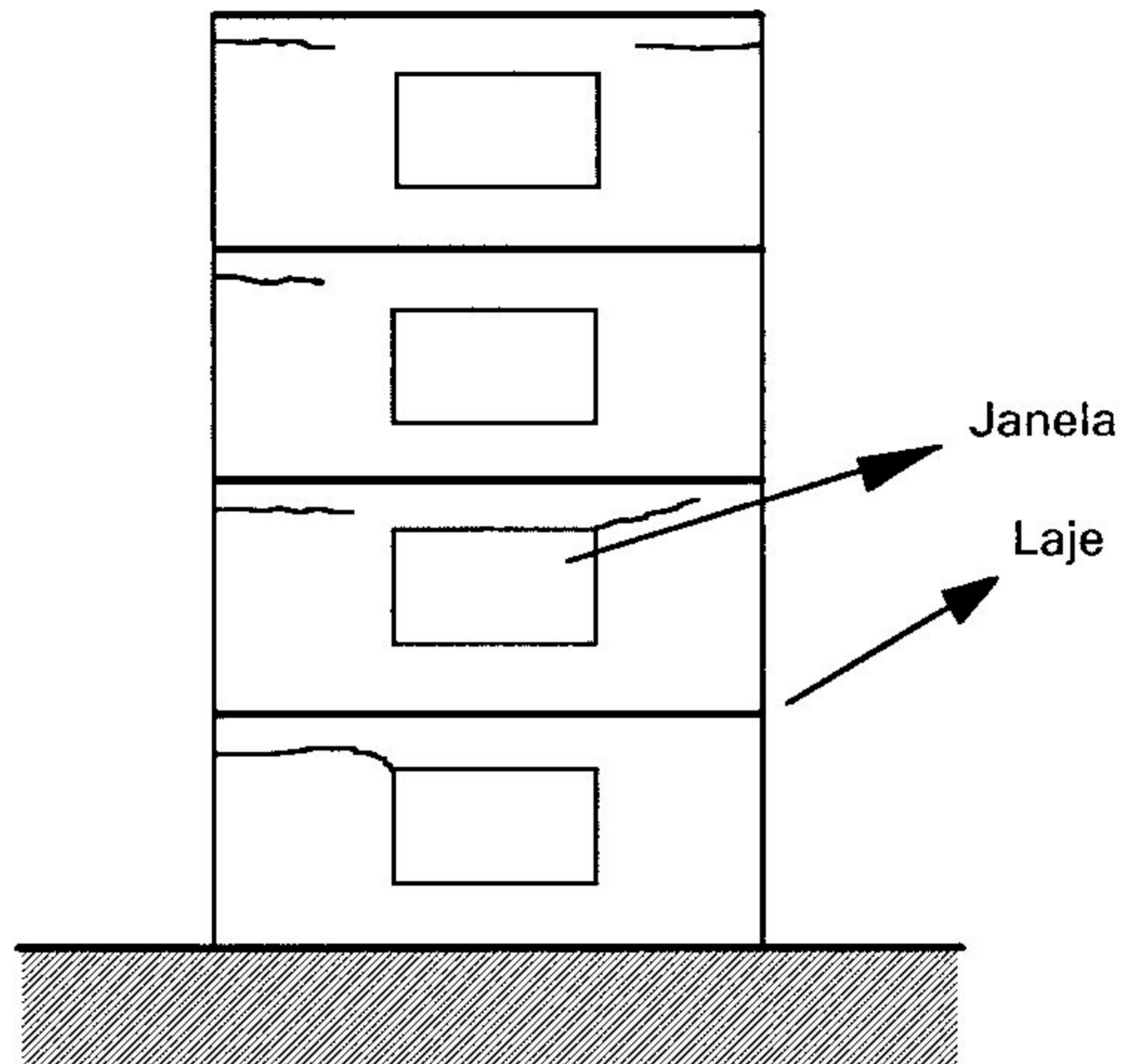
(b) Fissuras de retração numa viga de concreto armado. [22]



(c) Fissuras de retração num pilar de concreto armado. [24]



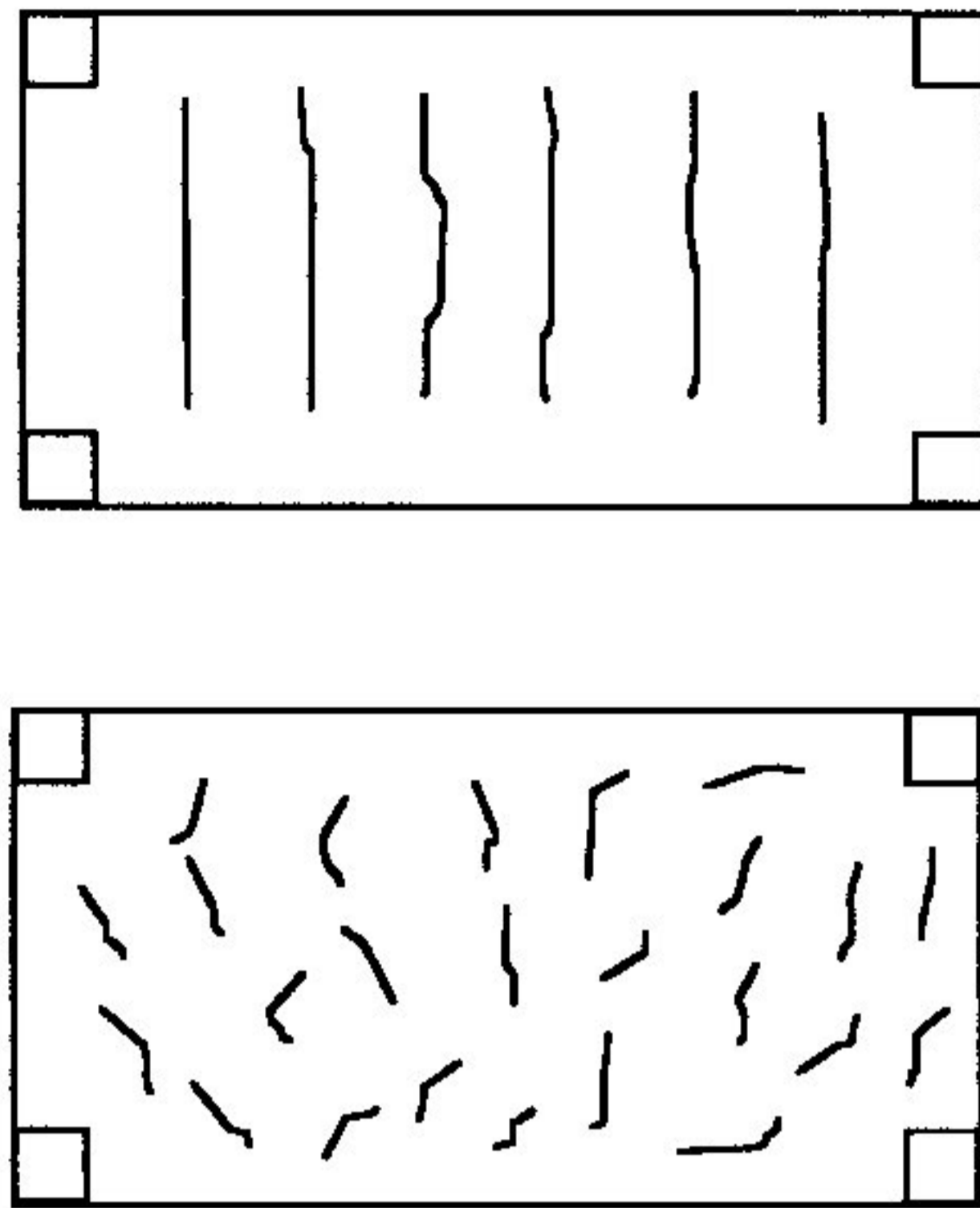
A retração do concreto da laje poderá provocar o aparecimento de fissuras tanto nas alvenarias adjacentes quanto na própria laje. Nas alvenarias as fissuras geralmente são horizontais e surgem imediatamente abaixo da laje ou nos cantos superiores das aberturas presentes à alvenaria, figura 2.47.



**Figura 2.47 - Fissuras em alvenaria externa. [22]**

Na laje poderá surgir fissuras com configuração mapeada e distribuição regular, conforme figura 2.48.





---

**Figura 2.48 - Fissuras na laje devidas à retração do concreto. [13]**



## **E - Fissuras causadas por alterações químicas de materiais de construção**

Independente da presença de meios fortemente agressivos, como atmosferas com alta concentração de poluentes e os ambientes industriais, os materiais de construção podem sofrer alterações químicas indesejáveis provocando, dentre outras coisas, o aparecimento de fissuras nos componentes estruturais. Esses casos serão tratados mais adiante, no decorrer dessa revisão bibliográfica.

Os apêndices C e E apresentam respectivamente os assuntos : Fissuras provocadas por recalques diferenciais das fundações e Fissuras causadas por movimentação higroscópica.

### **2.8.2.3 - Conseqüências da fissuração nas estruturas de concreto armado**

#### **A - Deformabilidade**

O valor das flechas imediatas verificadas em vigas de concreto armado depende diretamente da rigidez dessas vigas, ou seja, da geometria da seção transversal, da área e disposição da armadura longitudinal, da resistência do concreto e da intensidade dos momentos fletores atuantes nessas vigas no momento da leitura dessas flechas, dentre outros parâmetros.

A perda dessa rigidez está relacionada diretamente com o estado de fissuração dessas vigas, assim como, com a deformabilidade dos materiais com o tempo ( concreto e aço ), que já apresenta nessa fase um comportamento não linear, quando submetidos à solicitações normais.



## **B - Perda da estanqueidade**

A estanqueidade é um dos aspectos mais importantes nos projetos de reservatórios. Ela pode ser seriamente prejudicada pela fissuração do concreto além de certo limite. Em consequência disso, a percolação de água por essas fissuras pode acarretar corrosão na armadura.

## **C - Salto de tensão**

Assim que a resistência à tração  $f_{ctm}$  do concreto é alcançada, a primeira fissura aparece. Com relação a mesma onde o concreto se fissura, o aço deve absorver os esforços de tração suportados pelo concreto e se produzirá um salto de tensão no aço, provocando alongamentos diferentes entre o aço e o concreto, que se traduzirão por uma abertura de fissura. Os esforços no concreto e na armadura antes e depois do aparecimento da fissura estão mostrados na figura 2.49. Ela ilustra o salto de tensão ocorrido na peça devido ao surgimento das fissuras.



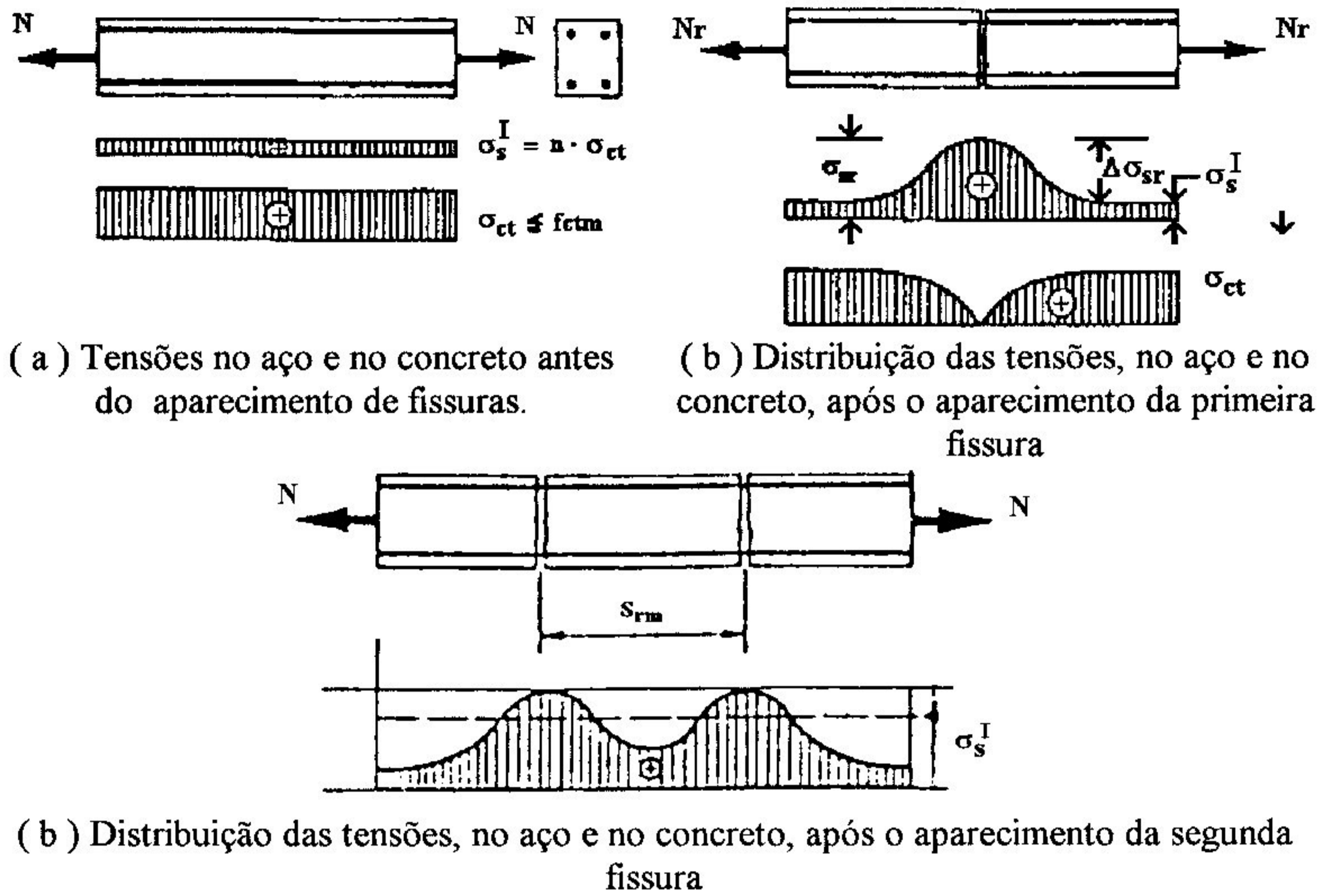


Figura 2.49 - Salto de Tensão. [21]

#### D - Corrosão nas armaduras

Ver item 2.8.3.

#### E - Efeito estético, etc.

Ver comentários no item 2.8.2.1.



#### 2.8.2.4 - Durabilidade e vida útil das Estruturas [7] [8] [9]

O problema da durabilidade em estruturas de concreto armado e protendido é um tema atual presente nas revisões das principais normas internacionais de concreto estrutural. Este tema será também abordado na revisão da nova NB-1.

Deve-se garantir, com uma probabilidade adequada, que fissuras não deteriorarão a resistência de serviço e a ductilidade da estrutura.

Fissuras não indicam necessariamente a falta de resistência em serviço ou da durabilidade das estruturas de concreto armado. Elas podem ser inevitáveis tendo em vista os esforços que provocam cisalhamento, como a força cortante, a torção ou mesmo devido a tração direta, por exemplo.

Sobre algumas condições bem definidas, a formação de fissuras no concreto armado não aumenta necessariamente o risco de corrosão no aço da armadura normal, contanto que a abertura de fissura característica não exceda um valor especificado  $w_{lim}$ .

Segundo um texto ainda provisório da nova NB-1 :

*As estruturas de concreto armado devem ser projetadas, construídas e utilizadas com vistas à sua durabilidade, ou seja, de tal modo que sob as condições ambientais esperadas, conservem sua segurança, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante período prefixado de tempo, sem exigir altos custos imprevistos de manutenção e reparo. A este período prefixado de tempo, assim definido, designa-se, vida útil da estrutura*

*As decisões de projeto visando assegurar a vida útil prevista são determinadas a partir do conhecimento da agressividade ambiente, ou seja, das condições ambientais e de exposição da estrutura, em confronto com a importância da mesma.*



*As medidas mínimas de inspeção, monitoramento e manutenção preventiva, necessárias à assegurar a vida útil da estrutura devem fazer parte integrante do projeto.*

*Os mecanismos mais importantes e frequentes de deterioração ( a exceção da deterioração mecânica ), dependem de que alguma substância penetre do exterior para o interior do concreto, a partir da superfície da peça.*

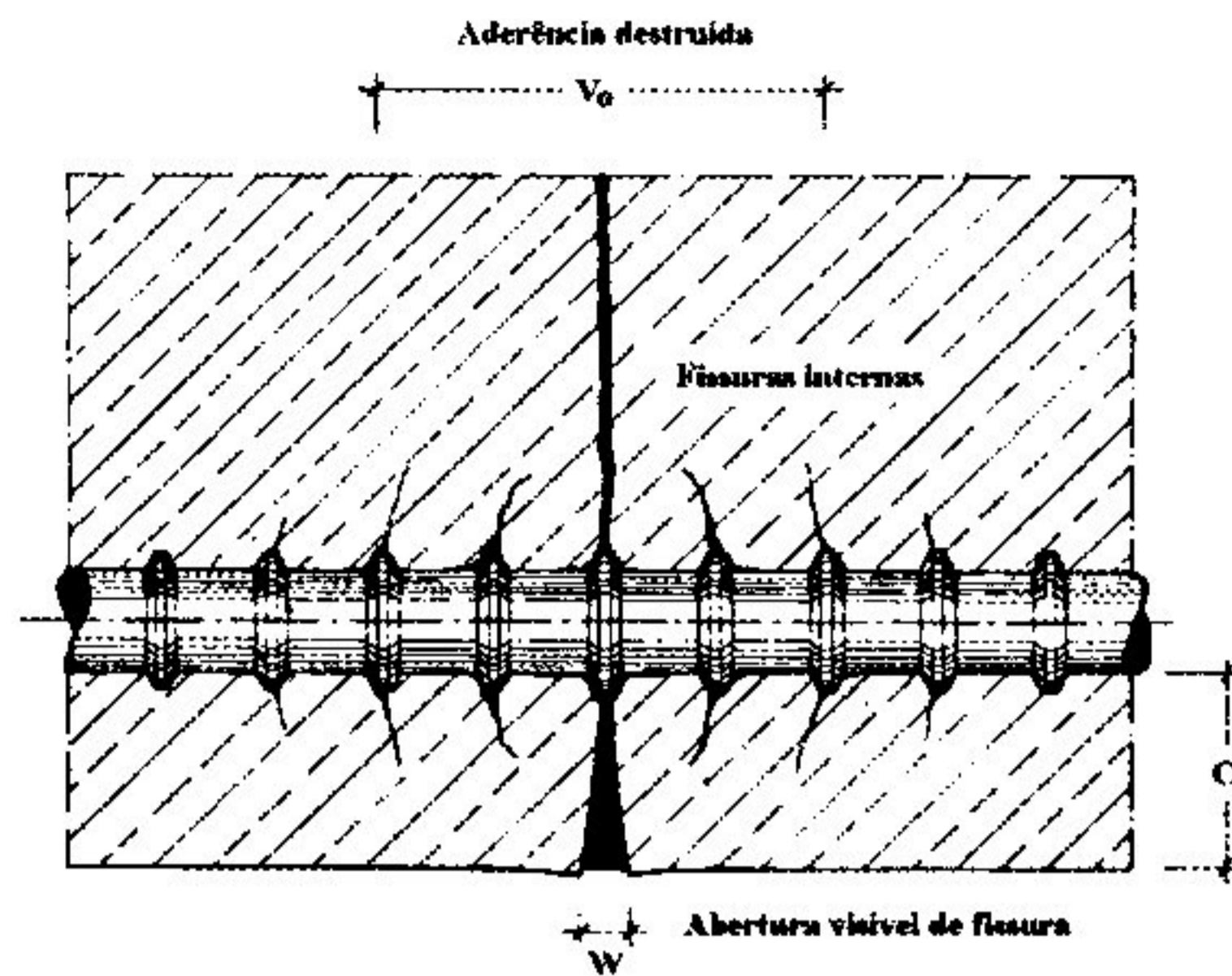
*A presença de água ou umidade é o fator isolado mais importante nos mecanismos de transporte e de deterioração.*

*Os critérios de projeto recomendados a seguir, salvo onde expressamente indicado, têm como referência uma vida útil da estrutura de 30 anos.*

*Deve-se a fim de evitar deterioração prematura e satisfazer as exigências de durabilidade, observar os seguintes critérios de projeto :*

- a) prever drenagem eficiente.*
- b) evitar formas estruturais inadequadas.*
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos.*
- d) garantir cobrimentos apropriados de concreto, para proteção da armadura.*
- e) detalhar adequadamente as armaduras.*
- f) controlar a fissuração das peças.*
- g) prever revestimentos protetores em peças sob condições ambientais muito agressivas.*
- h) definir um plano adequado de inspeção e de manutenção.*





**Figura 2.50 - Importância do cobrimento da armadura. [18]**

O risco e a evolução da corrosão na região das fissuras depende, predominantemente, da impermeabilidade do concreto e da espessura do cobrimento. Em razão deste fato, as exigências de cobrimento são de importância fundamental para a garantia da proteção das armadura contra a corrosão nas regiões fissuradas, figura 2.50.



### **2.8.3 - Corrosão da armadura no concreto [3] [4] [14] [15] [16]**

#### **2.8.3.1 - Considerações preliminares**

A deterioração do concreto armado é atribuída ao efeito combinado de mais de uma causa. Entretanto, a corrosão na armadura é invariavelmente uma das causas principais dessa deterioração.

Nas obras de concreto armado especialmente naquelas que se situam nas proximidades do mar, em atmosferas salinas, ou em lugares muito úmidos e com atmosferas contaminadas, é muito frequente o aparecimento de fissuras devido à corrosão das armaduras.

O dano ao concreto resultante da corrosão da armadura manifesta-se sob a forma de expansão, fissuração e, finalmente, lascamento do cobrimento, figura 2.51.



**Figura 2.51 - Corrosão das barras de uma peças de concreto armado.[15]**

Prosseguindo o processo de corrosão das armaduras, uma peça de concreto armado pode sofrer dano estrutural devido à perda de aderência entre o aço e o concreto e a diminuição da área da seção transversal da armadura. O conjunto desses fatores poderão causar o colapso da estrutura.



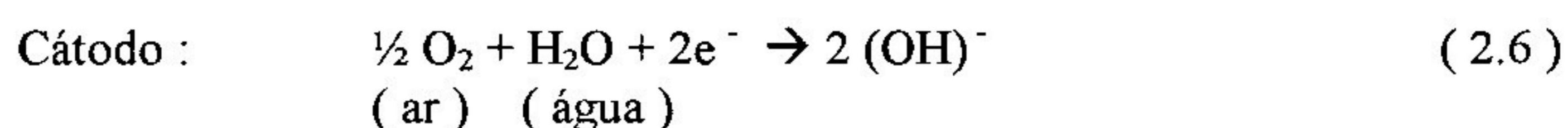
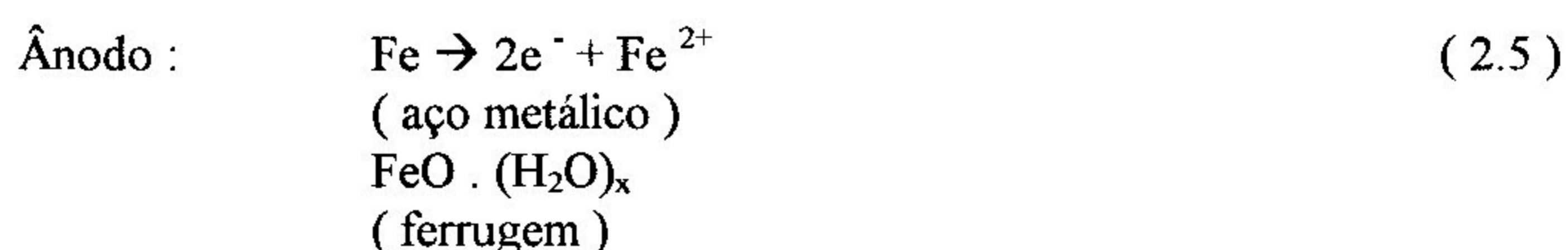
### 2.8.3.2 - Mecanismos envolvidos na deterioração do concreto pela corrosão da armadura

A corrosão do aço presente no concreto é um processo eletroquímico. Esse tipo de corrosão apresenta-se principalmente, quando existem dois metais diferentes embutidos no concreto ou quando existem heterogeneidades no aço, no caso de haver um metal somente na composição do concreto armado.

O concreto é um material eminentemente básico porque em sua composição se encontram hidróxido de cálcio e álcalis. Normalmente há alcalinidade suficiente no sistema para manter o pH acima de 12. A armadura nessas condições está num meio alcalino ideal e, portanto, o aço está em forma passiva, isto é, o ferro metálico não estará disponível para reação até que a passividade do aço seja destruída. O filme protetor de óxido de ferro sobre o aço é considerado estável, enquanto o pH da solução permanecer acima de 11,5. Esse filme de óxido de ferro é impermeável e fortemente aderente em meio alcalino.

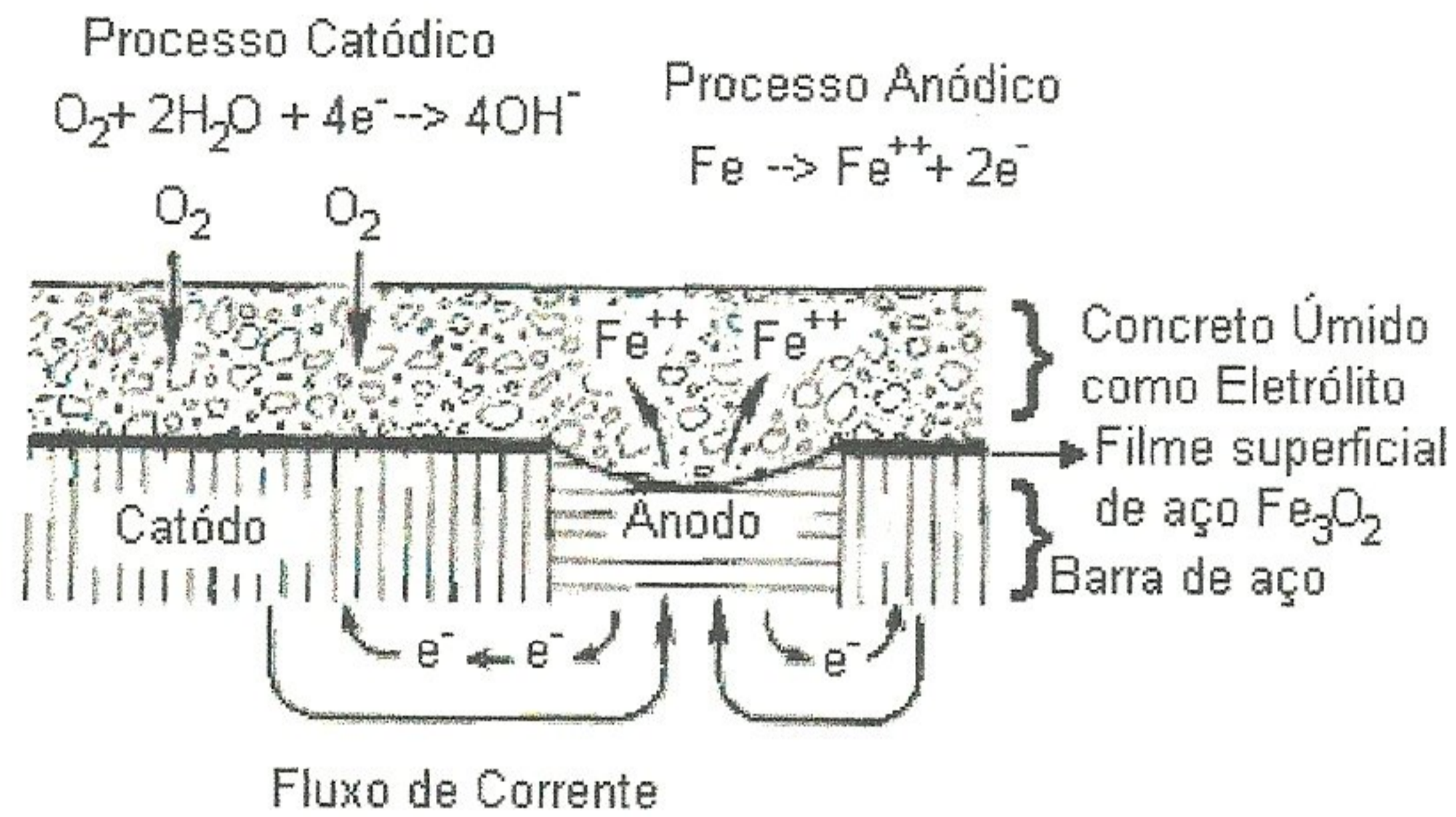
Por diversas causas, o pH do concreto na vizinhança do aço pode ser reduzido a menos de 11,5, destruindo pontualmente a capa passiva, possibilitando a criação de correntes elétricas de suficiente diferença de potencial para gerar uma pilha que desencadeie o processo corrosivo.

Para o surgimento dessa pilha, partes do metal torna-se anódico e o outro, catódico. As mudanças químicas fundamentais que ocorrem nas áreas anódica e catódica são [15] :



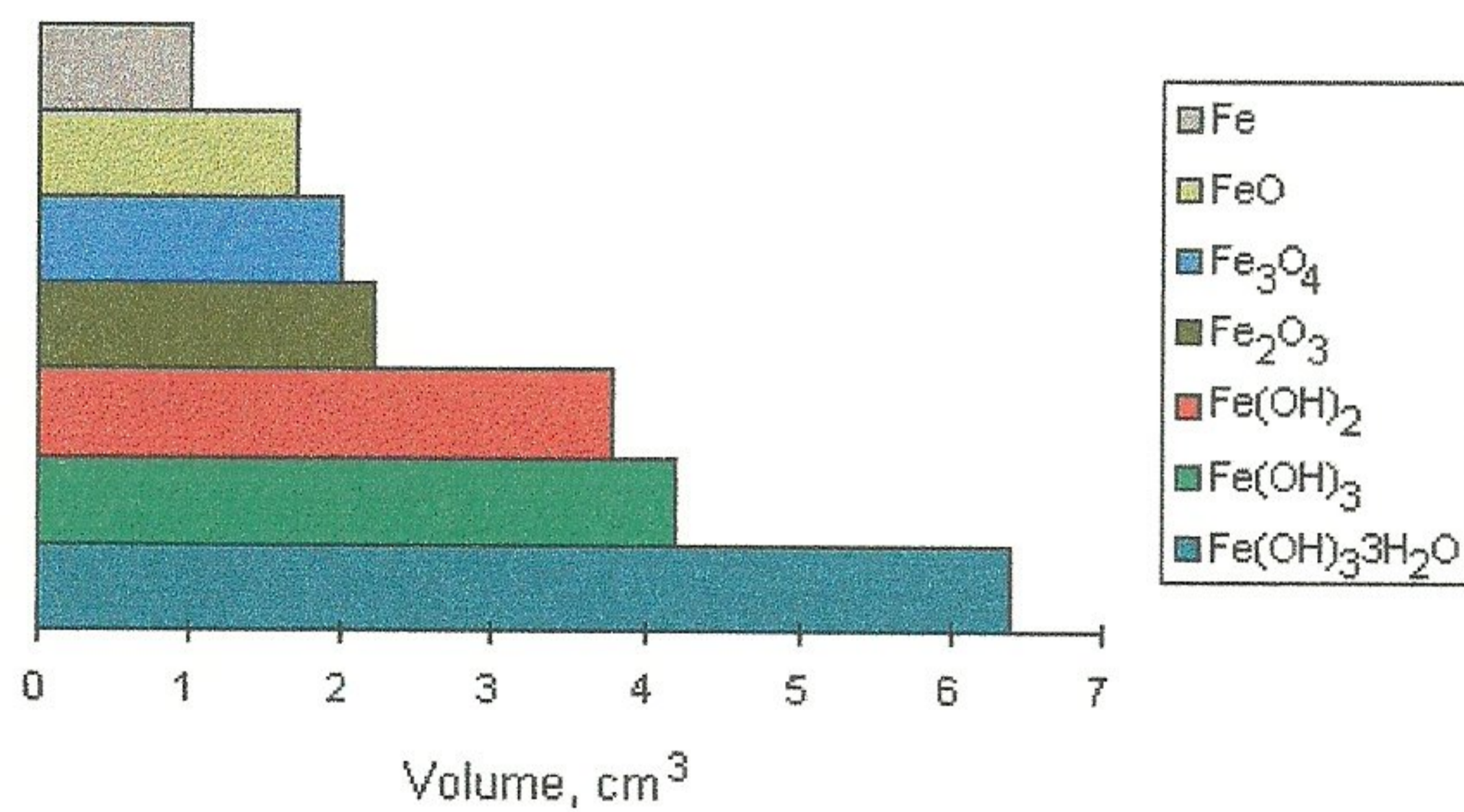


Esse processo está ilustrado na figura 2.52.



**Figura 2.52 - Processo eletroquímico da corrosão do aço no concreto úmido e permeável. [15]**

A transformação de aço metálico em ferrugem é acompanhada por um aumento no volume. Dependendo do estado de oxidação esse aumento pode ser de até 600% do tamanho original, figura 2.53.



**Figura 2.53 - Aumento do volume do aço metálico de acordo com o estado de oxidação. [15]**



A célula galvânica estabelece um processo anódico e um processo catódico. O processo anódico não pode ocorrer até que o filme protetor ou passivo de óxido de ferro seja ou removido em um ambiente ácido ( por exemplo a carbonatação do concreto ) ou tornado permeável pela ação de íons cloreto. O processo catódico não pode ocorrer até que uma quantidade suficiente de oxigênio e água esteja disponível na superfície do aço.

A corrosão da armação induzida por cloretos ocorre em ambientes marinhos ou em áreas onde se utilizem sais que contêm cloretos ( sais descongelantes ).

A maioria das águas marítimas são razoavelmente uniformes quanto à composição química. A concentração de íons cloreto  $\text{Cl}^-$  é tipicamente de 20.000 mg/l. Para concretos normalmente utilizados na prática, o limite do conteúdo de cloreto para iniciar a corrosão é dito estar na faixa de 0,6 a 0,9 kg de  $\text{Cl}^-$  por  $\text{m}^3$  de concreto. Além disso quando grandes quantidades de cloretos estão presentes no concreto este tende a conservar mais úmido. Sob estas condições o filme de óxido de ferro torna-se mais permeável ou instável devido ao ataque dos cloretos.

Segundo [14], [15], o cloreto dissolve a camada de óxido de ferro que normalmente protege o aço. Os produtos desta dissolução, junto aos cloretos, levam a uma forte redução do pH no concreto circundante. Desta forma pode continuar o processo de oxidação e dissolução.

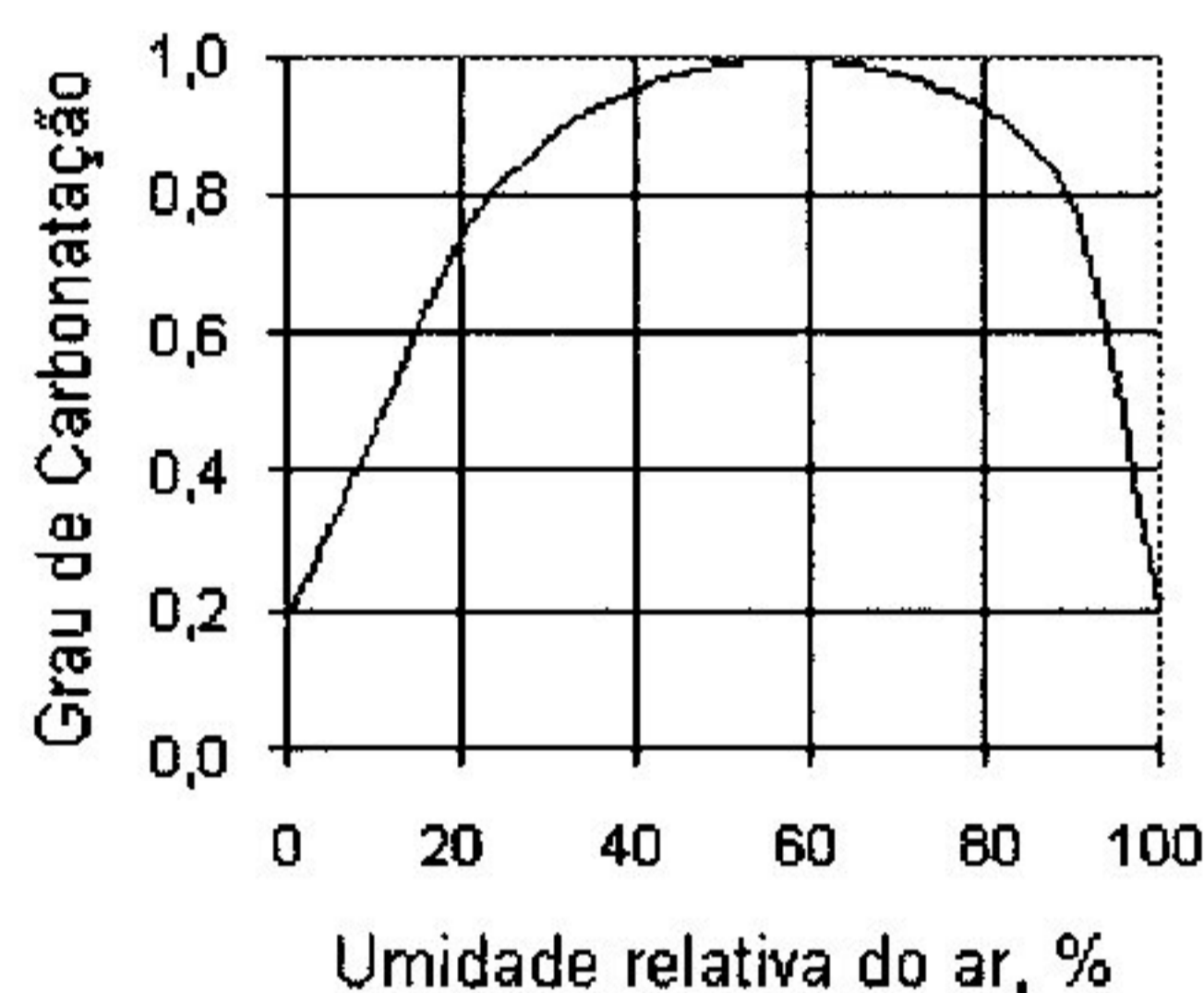
Nos países com climas frios e em áreas com neve e gelo, a corrosão do aço deve-se geralmente ao uso de sais descongelantes. Os sais, normalmente usados, são os cloretos de amônia, cálcio e sódio. O uso contínuo desses cloretos resulta em desprendimento de lascas da superfície de concreto, expondo a armadura ao processo corrosivo.

Na corrosão da armação induzida por carbonatação o aço de reforço deve estar sujeito à ação conjunta de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e umidade.



Quando o  $\text{CO}_2$  do ar reage com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, formam-se carbonatos de cálcio que reduzem o pH do concreto a valores abaixo de 10. Neste momento o aço perde sua proteção e a corrosão pode começar. Para isto é necessário que também estejam presentes umidade suficiente e oxigênio. Em ambientes secos é menos provável que ocorra corrosão.

O fenômeno descrito anteriormente da reação entre o  $\text{CO}_2$  e o hidróxido de cálcio é conhecido com carbonatação. O grau de carbonatação e, conseqüentemente, a redução do pH, depende da umidade relativa do ar, figura 2.54.



**Figura 2.54 - Carbonatação do concreto em função da umidade. [16]**

Através do gráfico mostrado na figura 2.54 conclui-se que a carbonatação máxima se produz a uma umidade relativa do ar igual a 60%. enquanto em climas secos ou saturados somente 20% do hidróxido de cálcio sofre os efeitos da carbonatação. Em ambientes continuamente muito secos ou muito úmidos quase não se produz corrosão. No primeiro caso, não há umidade e no segundo, o  $\text{CO}_2$  junto ao  $\text{O}_2$  não podem penetrar o concreto já que este encontra-se quase totalmente saturado.

Em grandes cidades, a concentração de  $\text{CO}_2$  é geralmente maior que em áreas rurais. Esta alta concentração no ar acelera o processo de carbonatação e retração.



Quando o aço se oxida, expande-se aproximadamente 2.5 vezes o seu volume original ao redor do aço originam-se tensões radiais, estas podem ser bem maiores que a resistência à tração do concreto, produzindo-se então as fissuras e trincas no concreto.

### **2.8.3.3 - Sintomas do processo de corrosão das armaduras**

A primeira evidência de corrosão é o aparecimento de uma mancha avermelhada de óxido, seguida pelo desenvolvimento de uma pequena fissura.

Depois da primeira fissura verifica-se, na região fissurada, um acesso livre para mais oxigênio e umidade criando-se condições para a continuação da corrosão. Isso incentiva ainda mais o surgimento de novas fissuras. Estas fissuras propagam-se paralelas às barras da armadura.

Conjuntamente com um ataque de cloreto, às vezes podem-se observar, na área atacada, produtos de eflorescência<sup>4</sup>.

Existem ensaios que permitem, inclusive na obra, determinar a presença de íons cloro no concreto ou apreciar sua carbonatação. Para determinar qualitativamente a presença de íons cloro basta passar, sobre a superfície fissurada devido à corrosão das armaduras, uma solução de nitrato de prata a 1%. Se a área se tornar branca é indício de que existem íons cloro livres; caso estes não existam, não haverá mudança de cor.

Para se determinar a carbonatação, basta pulverizar na superfície recém quebrada uma solução fraca de fenolftaleína. Se a cor da solução mudar para vermelho, indicará a existência de hidróxido de cálcio e, portanto, que a carbonatação não é completa; caso a cor não se altere a carbonatação será completa e todo o hidróxido de cálcio já terá se transformado em carbonato de cálcio, figura 2.55.

---

<sup>4</sup> Depósitos ou manchas brancas na superfície do concreto resultante do processo de carbonatação do hidróxido de cálcio.



completa; caso a cor não se altere a carbonatação será completa e todo o hidróxido de cálcio já terá se transformado em carbonato de cálcio, figura 2.55.



**Figura 2.55 - Aplicação de fenolftaleína em um pilar carbonatado. [24]**

#### **2.8.3.4 - Controle da corrosão**

Uma vez que água, oxigênio, dióxido de carbono e íons cloreto desempenham papéis importantes na corrosão da armadura e conseqüentemente fissuração do concreto, a permeabilidade do concreto é a chave para controlar os vários processos envolvidos no fenômeno.

Os seguintes parâmetros de dosagem do concreto devem assegurar a baixa permeabilidade :

- baixa relação água/cimento,
- consumo de cimento adequado,
- controle do tamanho e granulometria do agregado,



Antes da determinação da dosagem do concreto a ser utilizado para uma determinada estrutura de concreto armado, deve ser feita uma análise do meio ambiente, com o intuito garantir a integridade da estrutura à condição de exposição severa, prevista com antecedência.

A escolha de um tipo de cimento adequado também é importante para certas aplicações. Por exemplo, um cimento com escória de alto forno é mais adequado para ambientes marinhos, devido à sua baixa permeabilidade aos cloretos.

Para assegurar que o concreto continuará em um meio alcalino, ( isto significa um pH superior a 11 e aço bem protegido ), é necessário um alto teor de cimento.

Deve-se tomar especial cuidado para conseguir, durante a concretagem, a espessura de cobrimento especificada para proteger o aço. Para um concreto exposto à ação de cloretos especifica-se normalmente uma espessura maior.

É essencial que o concreto receba um boa cura, já que assim se permite uma hidratação completa. Isto leva finalmente a uma intensa redução da permeabilidade do concreto.

Para concreto armado não se deve usar água de mar, tanto para a mistura como para a cura. A água do mar apresenta em sua composição química concentrações de sais solúveis responsáveis pela degeneração do concreto e armadura.

Agregados obtidos do mar que não tenham sido lavados adequadamente, propiciam a corrosão devido à contaminação de sais. Quando possível, deve-se evitar o emprego deste tipo de componente.

As fissuras provocadas por outras causas, por exemplo rachaduras térmicas, rachaduras devido a ciclos gelo / degelo, reação álcali-agregado, etc, agravam ainda mais a carbonatação do concreto e a corrosão do aço.



## 2.8.4 - Deterioração das estruturas de concreto por ação do congelamento [15][16]

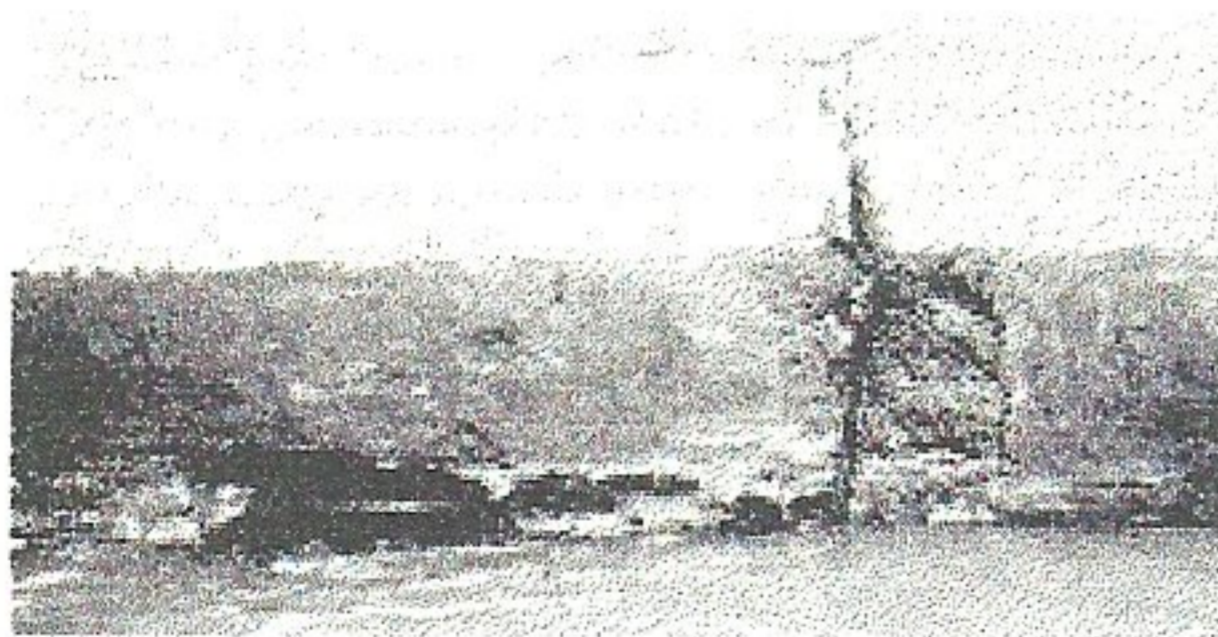
### 2.8.4.1 - Considerações preliminares

A ação do congelamento ( ciclos de gelo-degelo ) nas estruturas de concreto, é um dos maiores problemas tendo em vista o alto custo gasto na reparação ou na substituição de partes da estrutura de concreto afetadas.

As causas da deterioração do concreto pela ação do congelamento podem ser atribuída à sua complexa microestrutura e às condições específicas do meio ambiente.

Os danos mais comuns causados pela ação dos ciclos de gelo-degelo são :

- a) fissuração e destacamento do concreto
- b) descascamento ou escamação do concreto superficial de lajes, mostrados na figura 2.56.



( a )



( b )

---

Figura 2.56 - Tipos de danos no concreto pela ação do congelamento. [15]



#### **2.8.4.2 - Mecanismos de deterioração do concreto pela ação de ciclos de gelo-degelo**

Quando a temperatura de um concreto endurecido decresce, a água contida nos poros capilares, presentes na pasta de cimento, se congela e a expansão do concreto ocorre.

O congelamento da água provoca uma expansão, em volume de aproximadamente 9%, de modo que o excesso de água da cavidade é expulso. A velocidade do congelamento vai determinar a velocidade de com que a água vai sair.

Uma vez ocorrido o descongelamento, a expansão inicial mantém-se de forma tal que não há espaço disponível para que penetre mais água. Ao congelar-se novamente a água continuará a expansão. Repetições de ciclos gelo-degelo tem então um efeito cumulativo, e é esta repetição do ciclo mais que o congelamento em si, que causa o verdadeiro dano às estruturas.

O excesso de água migra para as chamadas regiões de escape. Fazem parte dessas regiões de escape vazios originados pela adição de um incorporador de ar no concreto, cavidades ou poros ainda não saturados, caso o concreto ou fronteiras do material não estejam saturados.

Durante esses dois processos são geradas pressões hidráulicas que podem atingir valores próximos ou superiores à resistência à tração do concreto.

Quando a pressão hidráulica excede a resistência à tração, o concreto é danificado. A extensão do dano varia desde um desprendimento de lascas superficiais, até a completa desintegração do material.



Assim como a pasta de cimento, o agregado presente no concreto é suscetível a dano por congelamento. O comportamento dessa partícula quando exposta a ciclos de gelo-degelo depende da distribuição do tamanho dos poros e da permeabilidade.

Agregados com baixa permeabilidade e alta resistência não são afetados pelo efeito do congelamento, pois a água congelada é acomodada sem causar fratura.

#### **2.8.4.3 - Fatores que controlam a resistência do concreto ao congelamento**

A permeabilidade do concreto, a taxa de congelamento da água e a distância entre as áreas de escape são alguns dos fatores que afetam favoravelmente, ou não, o aparecimento de problemas patológicos originados pela ação dos ciclos de gelo-degelo.

A incorporação de ar na pasta de cimento tem mostrado resultados favoráveis quanto à redução do risco de danos pela ação do congelamento, pois as bolhas de ar funcionam como áreas de escape para a pressão hidráulica.

Um outro meio de amenizar os danos por congelamento é o uso de concretos com relações água / cimento bastante baixas, para que a pasta tenha somente capilares pequenos e pouca água congelável. Um concreto nestas condições tem permeabilidade baixa e não absorve água nos períodos chuvosos.

#### **2.8.4.4 - Efeitos dos sais descongelantes**

O uso de sais para descongelamento de placas de pavimentos exerce um efeito negativo sobre o concreto, aumentando a severidade dos ciclos de gelo-degelo. Os sais dão origem a uma pressão osmótica e causam uma movimentação da água em direção à parte superior da placa onde ocorre o congelamento e conseqüentemente a expansão e ruptura da pasta de cimento.



## **2.8.5 - Deterioração devida ao fogo [4] [6] [15] [16]**

### **2.8.5.1 - Considerações preliminares**

O ataque do fogo nas estruturas de concreto armado é um problema que aflige a todos, consultores, projetistas, construtores e usuários da Construção Civil. As perdas com incêndios constituem uma carga crescente em todos os países. Centenas de milhões de dólares são gastos anualmente em consequência dos incêndios.

Os edifícios estão sujeitos à ação de um eventual incêndio que pode ocasionar pequenos danos, ou, dependendo da intensidade e extensão do fogo, levar a sua destruição total.

Os danos produzidos por um incêndio podem ser muito variados, dependendo dos materiais utilizados para a construção da estrutura e dos materiais armazenados nos mesmos. Esses danos podem ir desde uma simples descoloração de parte da estrutura até à destruição total pela perda da resistência dos elementos estruturais.

Ao contrário da madeira e do plástico, o concreto é incombustível e não emite gases tóxicos quando exposto à altas temperaturas. Em comparação com o aço, o concreto, quando submetido a elevadas temperaturas, é capaz de manter resistência suficiente por um certo período.



### **2.8.5.2 - Mecanismo de deterioração devido ao fogo**

Os danos decorrentes da exposição de um elemento estrutural ao fogo está diretamente relacionado com a intensidade e a duração do fogo.

Um elemento estrutural de concreto armado sob a ação do fogo absorve calor.

A água livre ou capilar começa a evaporar-se a partir de 100 °C, retardando o aquecimento, devido ao considerável calor de vaporização necessário para a conversão da água em vapor.

Entre 200 e 300°C essa perda de água capilar é total, embora ainda não se façam notar alterações na estrutura do concreto hidratado nem redução considerável da sua resistência.

De 300 a 400°C ocorre a perda de água do gel do cimento com sensível perda da resistência e aparecimento das primeiras fissuras superficiais no concreto. Sendo a taxa de aquecimento alta e a permeabilidade da pasta de cimento baixa podem ocorrer lascamentos, pois a pressão do vapor dentro do material aumenta a uma taxa maior do que o alívio causado pela liberação de vapor para a atmosfera.

Aos 400°C, parte do hidróxido de cálcio, procedente da hidratação dos silicatos, transformam-se em cal viva.

Atingindo os 600°C, os agregados, que não apresentam todos com o mesmo coeficiente de dilatação térmica se expandem fortemente e com intensidade diferente produzindo tensões internas que dão início ao processo de desagregação do concreto

A mineralogia do concreto também exerce uma influência importante no seu comportamento. A mineralogia do agregado determina a dilatação térmica diferencial



entre o agregado e a pasta de cimento e a resistência da zona de transição. Nesse estágio do processo a perda da resistência do concreto passa a ser mais significativa.

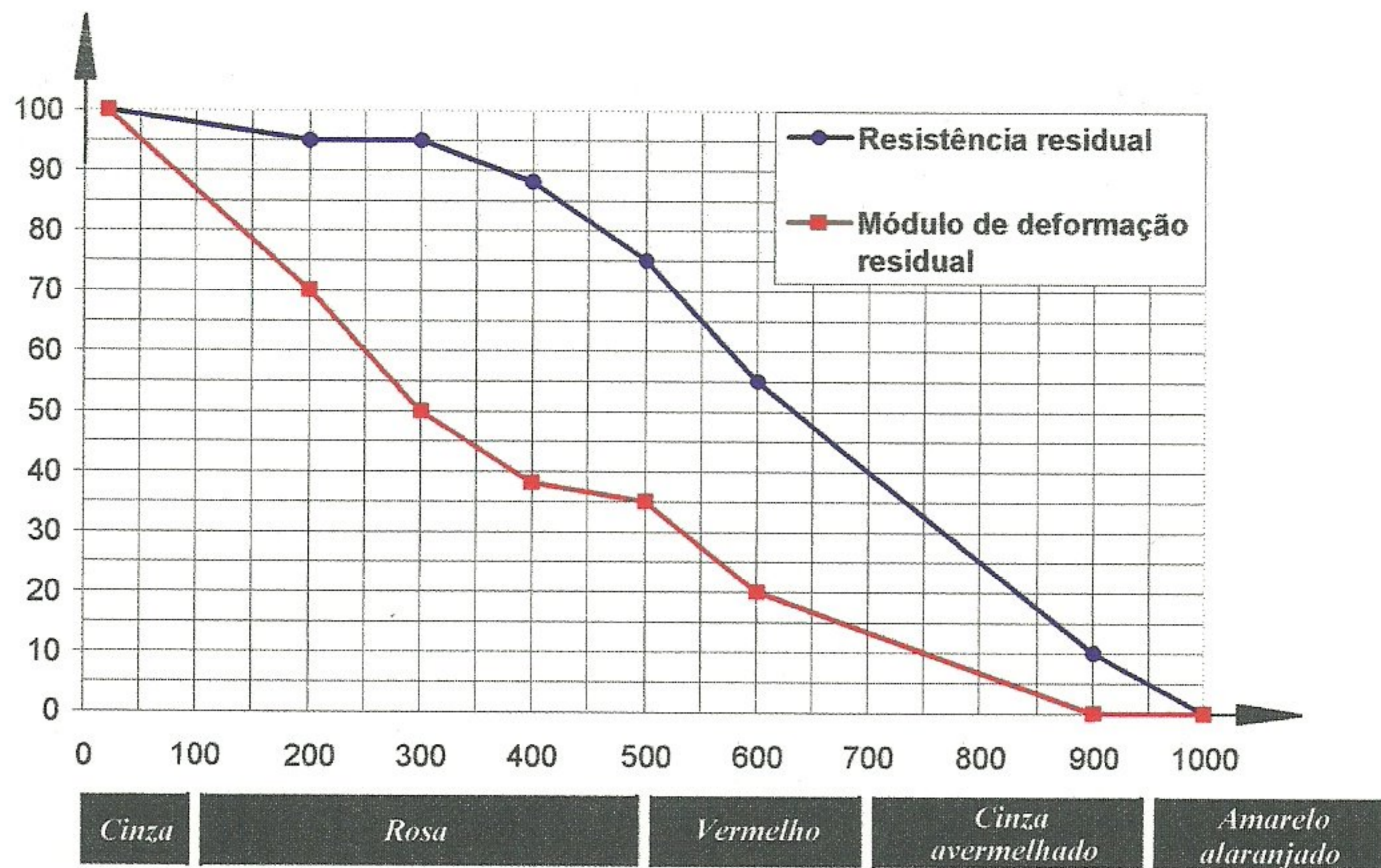
A partir de 950 °C inicia-se a calcinação do concreto. Quando alcança temperaturas superiores a 1000 °C, a sua resistência é praticamente nula, restando somente um material calcinado e mole.

No processo de elevação de temperatura o concreto sofre uma série de mudanças de coloração, o que pode nos servir de índice das perdas de sua resistência. Na figura 2.57 estão relacionadas as etapas de elevação de temperatura com as mudanças de coloração, os percentuais de resistência a compressão e o módulo de elasticidade residuais.

Segundo Cánovas [4], se a temperatura do concreto não ultrapassar a 500 °C, ele pode ser reidratado posteriormente de modo a recuperar até 90% de sua resistência inicial após um ano.

Peças esbeltas com pouca espessura, como lajes e placas, são fortemente afetadas pelo fogo, tendo em vista que, o módulo de deformação do concreto é muito influenciado pela ação do fogo, modificando a deformabilidade ou a rigidez dessas peças, figura 2.57.





**Figura 2.57 - Resistência, módulo de elasticidade e coloração do concreto frente ao fogo. [6]**

Como pode ser observado pela figura 2.57, a resistência e o módulo de elasticidade do concreto praticamente não são afetados pela ação fogo para temperaturas inferiores a 100°C. Acima dessa temperatura o módulo de elasticidade diminui rapidamente com o aumento da temperatura. Somente após os 400°C que a perda da resistência do concreto passa a ser significativa.

Para combater o fogo, emprega-se água lançada sob pressão sobre a superfície dos materiais e aos elementos estruturais das edificações. Durante o incêndio, os materiais absorvem calor e dilatam-se causando estragos. A água, por sua vez, produz resfriamentos e contrações repentinas que provocam novos danos aos materiais.



## 2.8.6 - Patologias devidas ao material concreto [3] [14] [15] [16]

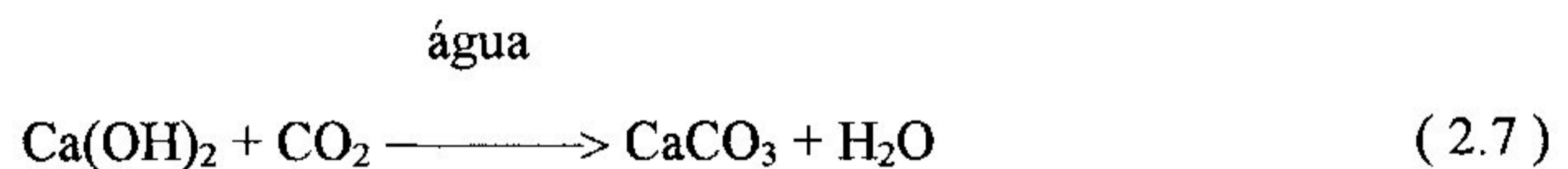
### 2.8.6.1 - Eflorescência

#### A - Considerações preliminares

A eflorescência é um termo geral usado frequentemente para descrever depósitos ou manchas brancas no concreto. O termo eflorescência abrange diferentes tipos de depósitos, que variam na sua composição química e mecanismo de formação.

O tipo de eflorescência mais comum é o resultantes da carbonatação do hidróxido de cálcio.

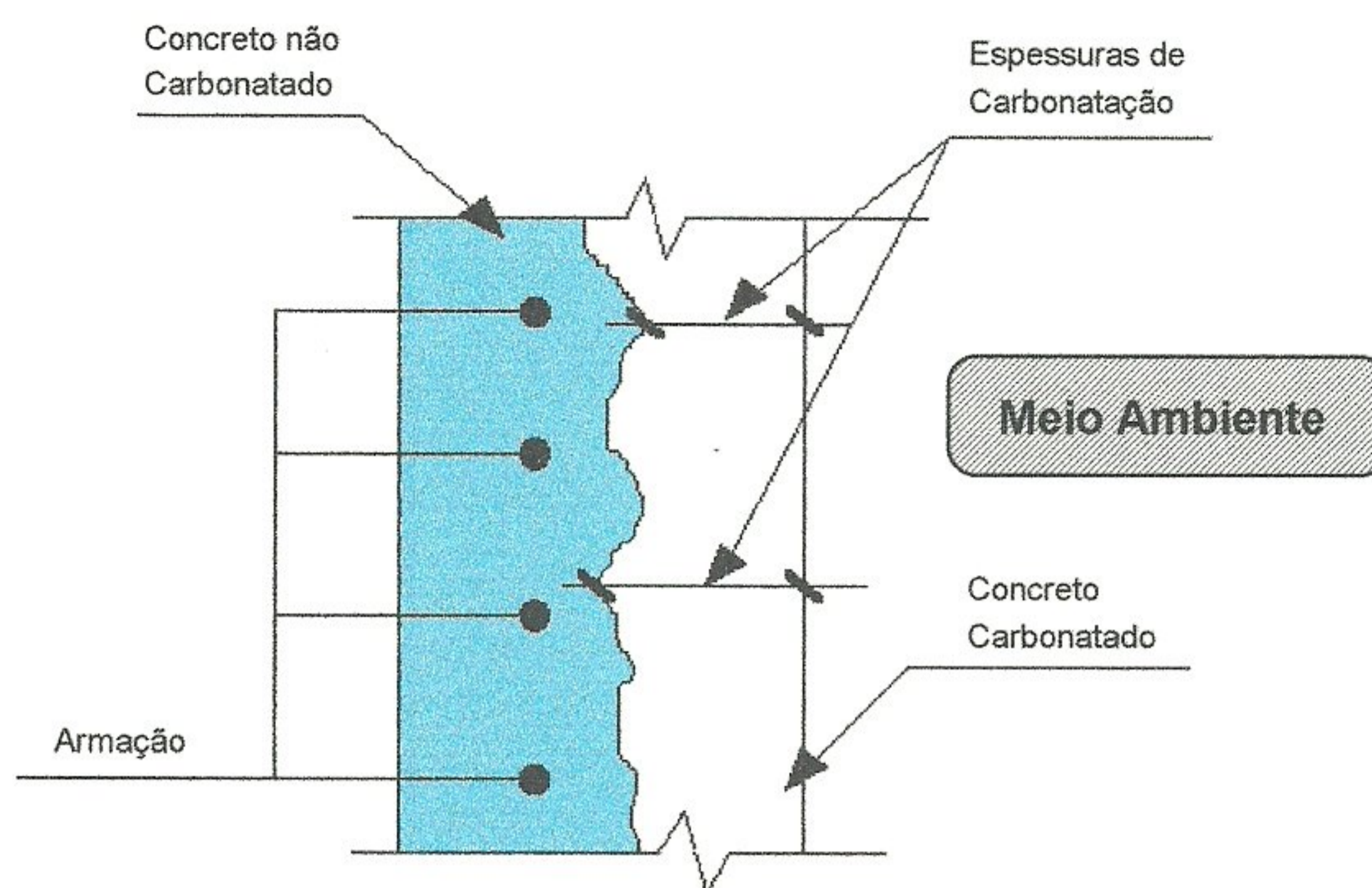
A carbonatação é um processo químico que sofre o concreto quando o hidróxido de cálcio, responsável pela alcalinidade do concreto, reage com o dióxido de carbono transformando-se em carbonato de cálcio mais água, segundo a equação abaixo [15] :



A velocidade desse processo e a espessura de concreto carbonatado são consequências da permeabilidade do concreto, do tipo e volume de cimento utilizados, da concentração de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera e da umidade do meio-ambiente.

A espessura de carbonatação, figura 2.58, em um mesma superfície submetida às mesmas condições, também varia de acordo com a constituição local do concreto.





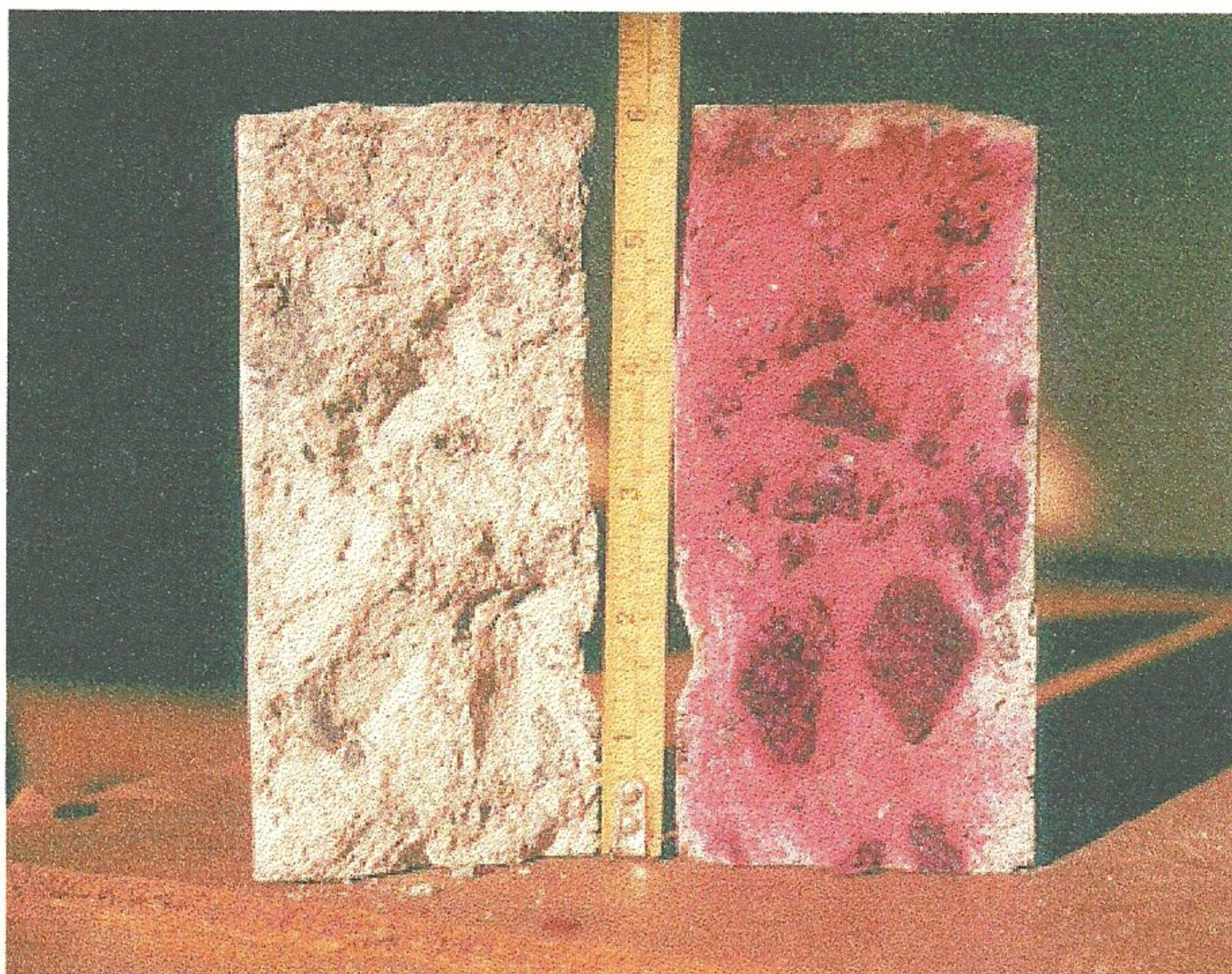
**Figura 2.58 - Medida da espessura de carbonatação. [23]**

À medida que é formado o carbonato de cálcio, produto insolúvel, os poros de concreto vão se colmatando, tornando-se impermeáveis e dificultando a penetração de  $\text{CO}_2$ . Sendo assim, a velocidade de carbonatação é decrescente com o tempo.

Se a carbonatação já atingiu a armadura, o processo de oxidação se instala, levando ao processo degradativo. A partir desse momento, a recuperação de uma estrutura fica mais cara.

Como já foi mencionado anteriormente no item 2.8.3.3, existem vários ensaios para detectar a carbonatação do concreto. O mais simples é a aplicação direta do indicador de fenolftaleína sobre ele.





**Figura 2.59 - Aplicação de fenolftaleína em um corpo de prova carbonatado. [23]**

Através da figura 2.59, verifica-se que nas bordas externas a cor da fenolftaleína não se alterou, ou seja, o hidróxido de cálcio presente nessa região já se encontra com carbonatação.

Dependendo das condições de contorno a que a estrutura de concreto armado está sujeita, o mecanismo de formação e as características da eflorescência apresentam algumas diferenças.

Os dois mecanismos mais comuns de eflorescência são :

- Eflorescência de cal
- Filtrações de cal



## **B - Eflorescência de cal**

A água é um notável solvente. Isso responde pela presença de muitos íons e gases capazes de causar decomposição química de materiais sólidos.

A eflorescência de cal é uma eflorescência temporária. Ela ocorre quando o concreto é molhado e fica úmido por vários dias. Podem ocorrer em qualquer lugar onde o concreto se encontre exposto à umidade.

Quando a água entra em contato com a pasta de cimento Portland ela tende a hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio. Uma vez que a solução de contato atinge o equilíbrio químico, a hidrólise da pasta de cimento se extingue.

A eflorescência de cal é um fino depósito superficial, de cor branca, de carbonato de cálcio, junto a outros sais, que desaparecem depois de alguns dias ou semanas.



### C - Filtrações de cal

No caso de água corrente ou de infiltrações sob pressão, irá ocorrer a diluição da solução de contato, proporcionando, portanto, a condição para a continuação da hidrólise.

Filtração de cal é uma incrustação muito mais grossa que as eflorescências de cal e, geralmente, tem a característica a de ser permanente. É o tipo mais comum de eflorescência.

As filtrações de cal geralmente ocorrem em pequenas áreas localizadas que apresentem umidade.

As eflorescências de cal devido à filtração podem, em casos extremos, crescer e chegar a formar estalactites, figura 2.60.



**Figura 2.60 - Formação de estalactites devido à infiltração da água no concreto.**



As filtrações de cal formam-se pelo mesmo mecanismo que as eflorescências de cal, mas formam depósitos de carbonato de cálcio muito mais grossos. Esta maior espessura indica que a água está continuamente movendo-se dentro do concreto.

Frequentemente podem-se observar filtrações de cal, em estruturas que permitem o acúmulo de água como reservatórios, figura 2.61, ou lajes de cobertura onde continuamente escorre água como resultado de filtrações, ou devido a permeabilidade do concreto, figura 2.62.



**Figura 2.61 - Eflorescência de carbonato de cálcio em superfície de concreto, devido a percolação de água através de junta de concretagem.[24]**





**Figura 2.62 - Eflorescência de carbonato de cálcio de uma laje de cobertura.[23]**

A permeabilidade do concreto é o fator principal no controle da ocorrência da eflorescência. Quanto maior for a permeabilidade, maior será a facilidade do hidróxido de cálcio passar pelo processo de carbonatação e reagir na formação do carbonato de cálcio. Controlar a relação água/cimento, a quantidade de cimento por  $m^3$  de concreto e garantir uma cura do concreto mais adequada são fatores que reduzem a permeabilidade do concreto diminuindo assim o grau de eflorescência.

---

<sup>5</sup> Operação que consiste em fazer passar um solvente através de um material, para separar dele os constituintes solúveis.



O processo de eflorescência pode facilitar o aparecimento de outros efeitos de deterioração do concreto, por exemplo, a corrosão da armadura presente na estrutura de concreto e expõem outros constituintes cimentícios à decomposição química.

Além da perda de resistência, a lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto pode ser considerada indesejável por razões estéticas.



### 2.8.6.2 - Reação álcali-agregado [3], [15], [16]

A reação álcali-agregado é uma reação química envolvendo íons alcalinos presentes no cimento ( ou de outras fontes ) e certos constituintes silicosos que podem estar presentes nos agregados utilizados na fabricação do concreto. Em algumas literaturas essa reação é referenciada como reação álcali-sílica, devido aos componentes envolvidos.

A reação álcali-agregado é uma das causas de deterioração de estruturas localizadas em ambientes úmidos, tais como barragens, estacas de pontes e estruturas marinhas.

A reação álcali-agregado ocorre somente quando coincidem as seguintes condições :

- os agregados usados são reativos,
- há suficiente álcali no concreto (  $> 3 \text{ kg/m}^3$  de concreto ) e
- o concreto apresenta-se constantemente com uma certa umidade.

Essa reação química pode resultar em expansão e fissuração, levando à perda de resistência, elasticidade e durabilidade do concreto.

O pipocamento e a exsudação de um fluido viscoso de cor branca são outras manifestações do fenômeno.



### **2.8.6.3 - Segregação e Exsudação [3] [15] [16]**

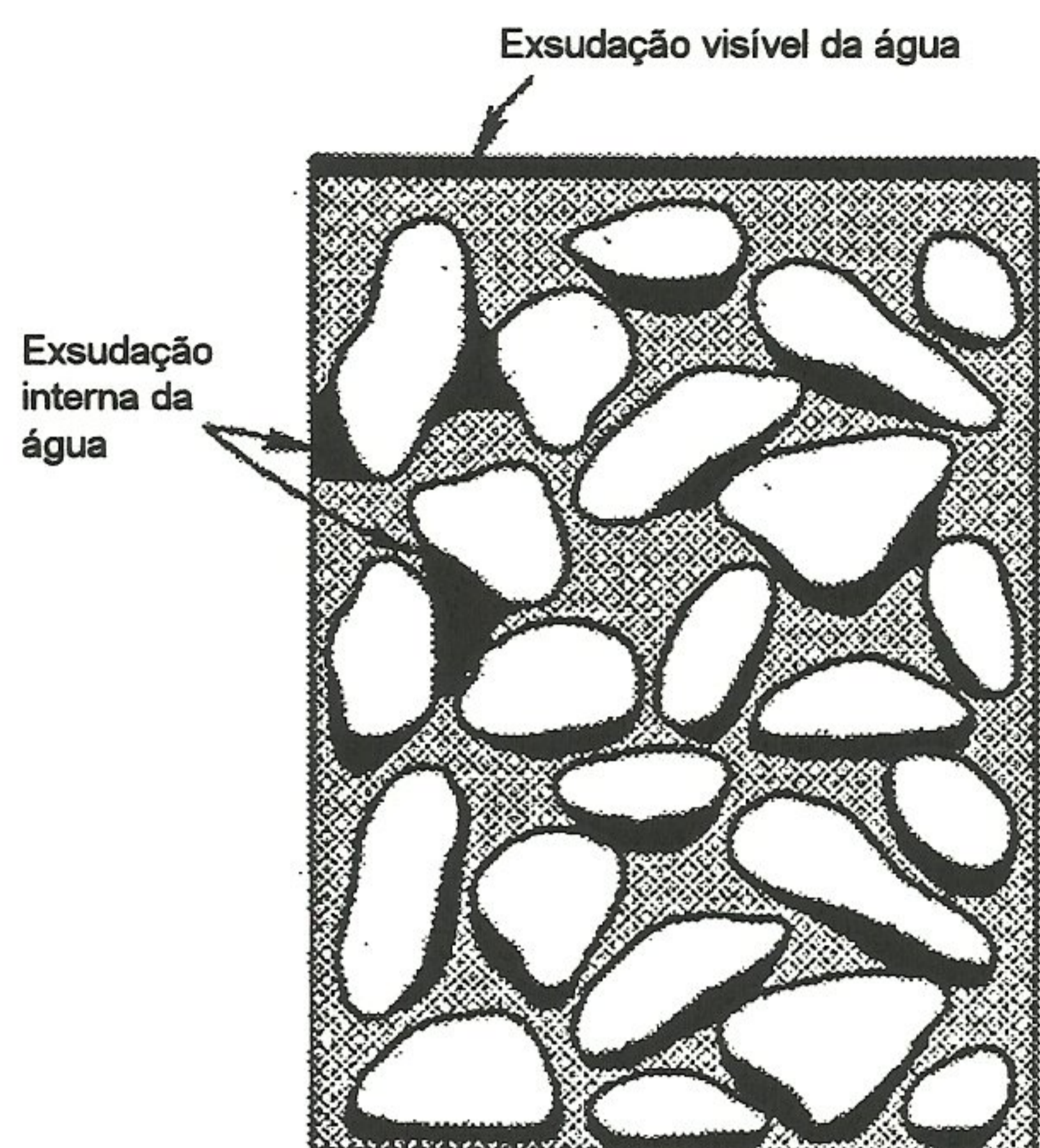
#### **A - Segregação**

A segregação pode ser definida como sendo a separação dos componentes do concreto fresco, através da sedimentação dos grãos de cimento de tal forma que sua distribuição não é mais uniforme, nem homogênea.

#### **B - Exsudação**

A exsudação é a consequência natural da sedimentação das partículas sólidas no concreto fresco. Apresenta-se como um acúmulo de água na superfície do concreto. Esse fenômeno ocorre após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de ocorrer a sua pega. A água é o componente mais leve da mistura do concreto, conseqüentemente a exsudação é uma forma de segregação, onde as partículas em suspensão tendem a se sedimentar pela força da gravidade.





**Figura 2.63 - Representação esquemática da exsudação em concreto recém lançado. [15]**

Na figura 2.63 é mostrado um esquema da exsudação que ocorre no concreto recém lançado. Através dela nota-se que somente parte da água de exsudação sobe à superfície, e que uma grande parte dessa água fica retida embaixo dos agregados maiores e nas barras horizontais da armadura, quando esta existe.

O fenômeno da exsudação continua até que a pasta de cimento tenha adquirido pega suficiente para parar com a sedimentação das partículas sólidas. A exsudação ocorre em qualquer parte onde se tenha colocado e compactado o concreto fresco, especialmente em seções profundas e em misturas moles com muita água.

A formação de uma camada de argamassa é um dos resultados diretos da exsudação. A parte superior do concreto contém uma camada residual de argamassa não desejada, que é muito fina e porosa como indica seu nome, a superfície é frequentemente mais clara. Ela é formada durante o processo da exsudação devido a água trazer com ela cimento e partículas finas de areia não desejadas.



#### **2.8.6.4 - Ataque por sulfato [3] [14] [15] [16]**

##### **A - Considerações preliminares**

A maioria dos solos apresentam concentrações baixas de sulfato sob a forma de gipsita. Concentrações maiores de sulfatos ocorrem nas águas subterrâneas devido à presença de magnésio e sulfatos alcalinos; nos solos e águas de agricultura onde é encontrado o sulfato de amônia; na decomposição de material orgânico em pântanos; lagos poucos profundos; poços de mineração e canos de esgotos que levam à formação de  $H_2S$ , que pode ser transformado em ácido sulfúrico por bactérias; em indústrias químicas contendo ácido sulfúrico e outros. Resumindo, o sulfato pode ser encontrado na natureza sob diversas formas e concentrações algumas vezes prejudiciais quando em contato com o concreto.

Os sais sólidos não atacam o concreto, mas presentes em solução podem reagir com a pasta de cimento endurecido.



## **B - Mecanismos do ataque por sulfato**

Concentrações de 150 mg/l de  $\text{SO}_4$  na água põem o concreto em perigo. Mais de 2.000 mg/l de  $\text{SO}_4$  na água pode causar sérios efeitos no concreto normal.

O sulfato ataca o concreto, reagindo com o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e com o aluminato tricálcio hidratado  $\text{C}_3\text{A}$ , presentes na pasta de cimento. Os compostos resultantes dessas reações apresentam um volume consideravelmente maior que os compostos originais, de modo que a reação com os sulfatos leva o concreto à expansão e à desagregação do concreto.

As reações de sulfato com o hidróxido de cálcio resultam na formação da etringita, já com aluminato tricálcio hidratado resultam na formação da gipsita. A presença desses dois compostos são característicos em concretos atacados por sulfato.



## CAPÍTULO 3

---

### 3 - APLICATIVO PATOLOGIA

#### 3.1 - Objetivos do aplicativo *Patologia*

Nas estruturas, os problemas patológicos se manifestam por um conjunto de sistemas muito variados tais como mudanças na coloração, expansões, esfoliações, trincas e etc, tornando o diagnóstico dessas patologias, geralmente árduo e intrincado.

O aplicativo **Patologia** é um *software* desenvolvido para a área de análise de Patologias das Estruturas de Concreto Armado, possibilitando ao usuário interagir em parceria com o aplicativo na busca da patognomonía<sup>6</sup> nas estruturas em questão.

O aplicativo apresenta também dois bancos de dados onde estão armazenados vários assuntos referentes à patologia das estruturas e a descrição dos problemas patológicos mais comuns nas estruturas de concreto armado levando-se em conta problemas ligados às tensões e deformações das estruturas e às patologias devidas ao material concreto.

---

<sup>6</sup> Parte da Patologia que trata dos diagnósticos das doenças



Diante disso os objetivos principais do aplicativo desenvolvido são :

- auxiliar o profissional da área de patologia na busca do diagnóstico dos problemas evidenciados em uma estrutura de concreto armado,
- servir como fonte de pesquisa e aprendizado dos profissionais das áreas da Engenharia de Estruturas, Materiais e da Construção,
- propiciar melhor compreensão e retenção do assunto em comparação com os tradicionais métodos de análise.

O último item dessa lista refere-se ao fato da não existência de uma cadeira específica sobre esse assunto nas Universidades do país. Nos cursos de Engenharia Civil os professores limitam-se a citar, esporadicamente, alguns casos de estruturas com problemas patológicos.

Na maioria das vezes, como já comentado no capítulo 1, os problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado são originados por erros cometidos nas fases de projeto e da construção propriamente dita. Esses erros, geralmente, são devidos ao não conhecimento dos materiais utilizados na confecção do concreto e dos processos deletérios do concreto armado.

Esse fato contribui para o elevado número de estruturas de concreto armado existentes, sejam elas recentes ou não, com problemas patológicos sendo necessários então gastos astronômicos para se efetuar a recuperação de tais estruturas. A tentativa de melhorar o método de ensino nessa área tem como o objetivo final diminuir o quadro existente.



### 3.2 - Justificativa da escolha do aplicativo utilizado para a elaboração do *Software Patologia*.

Como foi dito no item anterior, o objetivo final desse trabalho de dissertação é o desenvolvimento de um *software* na área de análise de Patologia das Estruturas em Concreto Armado, em ambiente *Windows*.

Em Janeiro de 1995, iniciou-se a procura, no mercado, por *softwares* com a finalidade de criar aplicativos para o ambiente *Windows*.

Nesta época existiam alguns aplicativos capazes de realizar tal tarefa, como :

- BORLAND C++ 4.5;
- Visual Basic;
- Visual C++

Os dois últimos pertencem à Microsoft.

Qual aplicativo escolher ?

Pesquisando em revistas especializadas em informática e mantendo contato com pessoas ligadas ao curso de Computação da UFMG<sup>7</sup>, iniciou-se o estudo pelo aplicativo Borland C++ 4.5.

Deve-se salientar que, o mestrando Renato Martins Grossi nunca elaborou um *software* para o ambiente *Windows* e que o seu conhecimento em linguagem de programação, limitava-se ao aprendizado das linguagens, *Pascal* e *Fortran*.

---

<sup>7</sup> Universidade Federal de Minas Gerais



Para a utilização do Borland C++ 4.5 devia-se adquirir conhecimentos sobre a linguagem C++. Hoje, a linguagem C++ está sendo altamente utilizada entre os programadores de *softwares*, por ser esta linguagem considerada portátil, flexível e poderosa.

Por esta razão, iniciou-se o estudo pela linguagem C, depois passou-se para a linguagem C++ e por fim, migrou-se para o Borland C++ 4.5, para realizar a interface gráfica. Teve-se certa dificuldade, no início, na escolha do material a ser utilizado e que rumo tomar para o aprendizado dessas linguagens, pois no DEES<sup>8</sup> não existiam programadores destas linguagens. Foi conseguida ajuda através de um engenheiro programador que indicou a bibliografia inicial para tal estudo. Após essa fase não foi encontrada grandes dificuldade para o aprendizado das duas linguagens computacionais, pois são, em parte, familiares ao *Pascal*, linguagem esta que o mestrando já apresentava experiência. Ao migrar para o Borland C++ 4.5 para elaborar a interface gráfica, as dificuldades aumentaram muito pois não existia material adequado para o seu estudo e nem pessoas habilitadas para trocar idéias. O estudo foi feito através dos manuais e de alguns livros adquiridos com o passar do tempo. Após dois meses foi constatado que era possível realizar algumas tarefas com a ajuda dos livros, porém não era obtido êxito em interligar tais tarefas em um só programa.

Foi constatado também que esse aplicativo não apresentava recursos satisfatórios para a criação de um banco de dados, parte essencial do aplicativo proposto. Seria necessário implementar um. Para isto foi adquirido conhecimentos sobre Listas Encadeadas<sup>9</sup> e rotinas para ordenar dados em bancos de dados, utilizando para isto uma literatura suplementar [20].

Nessa época, início de Agosto de 1995, tomou-se conhecimento do aplicativo denominado "*Borland DELPHI*". Utilizando os manuais desse *software*, foi realizado em duas semanas quase tudo que não fora conseguido até então. Inclusive foram criados

---

<sup>8</sup> Departamento de Engenharia de Estruturas

<sup>9</sup> Lista Encadeadas - "dispositivo" que executa determinada operação de armazenamento e recuperação de uma determinada informação solicitada.



vários programas exemplos, o que até então era praticamente impossível utilizando-se o Borland C++ 4.5, por falta de uma maior familiaridade com esse aplicativo.

Utilizando manuais e lendo artigos em revistas especializadas, foi constatado também, que este aplicativo era descrito primeiramente como um *software* para elaboração de bancos de dados.

Por essas razões, o aplicativo DELPHI foi utilizado para elaborar e executar o programa proposto no início deste projeto.



### 3.3 - Borland Delphi para *Windows*

A versão comercial do Borland DELPHI foi lançada no segundo trimestre de 1995. O DELPHI fornece tanta força quanto qualquer linguagem verdadeiramente orientada a objetos e é tão amigável com os não programadores quanto o Visual Basic. O programa trabalha com herança<sup>10</sup> e gera executáveis compilados. Utiliza ainda uma interface baseada em formulários para o projeto de aplicativos e permite implementar algumas tarefas sem a necessidade de elaborar qualquer codificação. Pode-se citar como exemplo a implementação dos menus suspensos e a criação e manipulação de bancos de dados.

O DELPHI apresenta um banco de dados completo, o SQL-92, com diversos controles pré-estabelecidos, protegendo o programador da codificação desnecessária. No caso do Borland C++, seria necessário criar os bancos de dados e os seu controles para manipulá-los manualmente. Somente nessa tarefa seria gasto um tempo desnecessário. O depurador do DELPHI deixa cada bit tão poderoso quanto o do Borland C++.

Utilizando este *software* é possível comprovar a versatilidade das ferramentas produzidas pela Borland. Através do DELPHI, pode-se criar aplicativos em 16 bits para o *Windows 3.x* ou *Windows 95*, que utilizem os recursos de som e imagem, ou seja, *softwares* em Multimídia.

Em Maio de 1996 foi lançado o BORLAND DELPHI versão 2.0, para *Windows95*. Com ele é possível elaborar aplicativos em 32 bits, utilizando todo o potencial do *Windows95*, ou seja, a multitarefa.

Por estes motivos, foi resolvido migrar para o Borland DELPHI, para o desenvolvimento do aplicativo proposto neste projeto de dissertação.

---

<sup>10</sup> Capacidade de uma classe derivada de herdar as características de uma classe-base. A classe é a principal ferramenta da programação orientada para objetos. é muito semelhante a uma estrutura, em pascal.



### 3.4 - Considerações preliminares

O aplicativo é composto por mais de 200 fotos, figuras e gráficos para o desenvolvimento do assunto proposto. As fotos foram scaneadas através do scanner de mesa, presente no CCE<sup>11</sup>. Todas as fotos, figuras e gráficos foram salvos em arquivos BITMAP aceito pelo DELPHI. Para as fotos serem visualizadas com nitidez, através do monitor do micro, a placa de vídeo e o monitor do micro computador em questão, devem ser configurados de tal forma que possibilitem a visualização de fotos e figuras com, no mínimo, 256 cores, pois as mesmas foram scaneadas com 16 milhões de cores e logo depois convertidas para 256.

O aplicativo **Patologia** é composto por 11 “Forms” ou telas e 9 bancos de dados. Posteriormente serão apresentados todos esses elementos com clareza e de forma concisa. Para facilitar a compreensão do funcionamento do aplicativo, junto com a dissertação, foram entregues dois disquetes com uma versão demonstrativa do *software Patologia*. No item 3.8 é indicado o procedimento necessário para sua instalação.

Para o desenvolvimento do aplicativo **Patologia**, foi utilizado um micro computador 486DX4 com 100MHZ, tendo o *Windows95* como sistema operacional. As telas presentes no aplicativo foram projetadas e desenhadas para funcionar em um micro cuja resolução da placa de vídeo permita a utilização da resolução 800x600 pixels, pois atualmente esta é configuração mais comum nos micros. Caso seja rodado em um monitor cuja resolução da placa de vídeo seja de 640x480, as telas não aparecerão de maneira satisfatória no monitor. Posteriormente, caso necessário, será feita uma codificação para o funcionamento em ambas as resoluções.

---

<sup>11</sup> Centro de Cálculo Eletrônico



O *software* empregado para sua elaboração foi o “*Borland Delphi for Windows*”. A versão utilizada é a de número 1.0. Atualmente já existe a versão 2.0, para o Delphi. Trata-se de um versão para *windows95*. O aplicativo desenvolvido rodará tanto no *Windows 3.x* quanto no *Windows95*, porém quando executado no ambiente *windows95* alguns recursos oferecidos por ele não estarão disponíveis. Por exemplo : os nomes dos arquivos salvos pelo aplicativo **Patologia** só podem ter oito letras e a extensão três letras. Os aplicativos desenvolvidos para *Windows95* permitem arquivos com mais de oito letras. São detalhes que felizmente não influem no funcionamento do aplicativo.



### 3.5 - Convenções adotadas

Nos itens subsequentes será feita uma descrição detalhada do aplicativo **Patologia** desenvolvido através de exemplos. Serão evidenciados todos os recursos implementados no *software*. Visando a facilitar a leitura desses itens, algumas convenções serão adotadas :

- os botões presentes nas telas serão escritos em negrito e entre os sinais < e >, exemplo : < **Sair** > e < **OK** > ,
- os nomes dos bancos de dados serão sobrescritos , exemplo : Slist,
- os nomes dos campos presentes nos bancos serão escritos em negrito, itálico e em letras maiúsculas, exemplo : ***COD***,
- os nomes das variáveis, contidas no aplicativo e citadas no texto serão escritas em negrito e em letras maiúsculas, exemplo : **CASOCAT**.

### 3.6 - Observação

O ambiente *Window95* foi adotado tanto no desenvolvimento do aplicativo quanto para a descrição dos exemplos descritos nesse capítulo, logo todas as telas visualizadas no decorrer dos itens apresentam a configuração característica ao ambiente *Windows95*. É importante salientar novamente que o aplicativo **Patologia** é capaz de ser executado também no *Windows3.x*.

### 3.7 - Esquema

O aplicativo desenvolvido é composto, ao todo, por 11 telas (FORMS) e 09 bancos de dados separados de tal forma, que cubra os objetivos propostos no item anterior.



A seguir serão descritas, de forma sucinta, as funções atribuídas a cada um desses 20 componentes que constituem o aplicativo denominado **Patologia**.

### 3.7.1 - Telas

O aplicativo **Patologia** é formado por 11 telas (FORMS). Um esquema com o fluxograma das telas presentes no *software* é mostrado na figura 3.1.

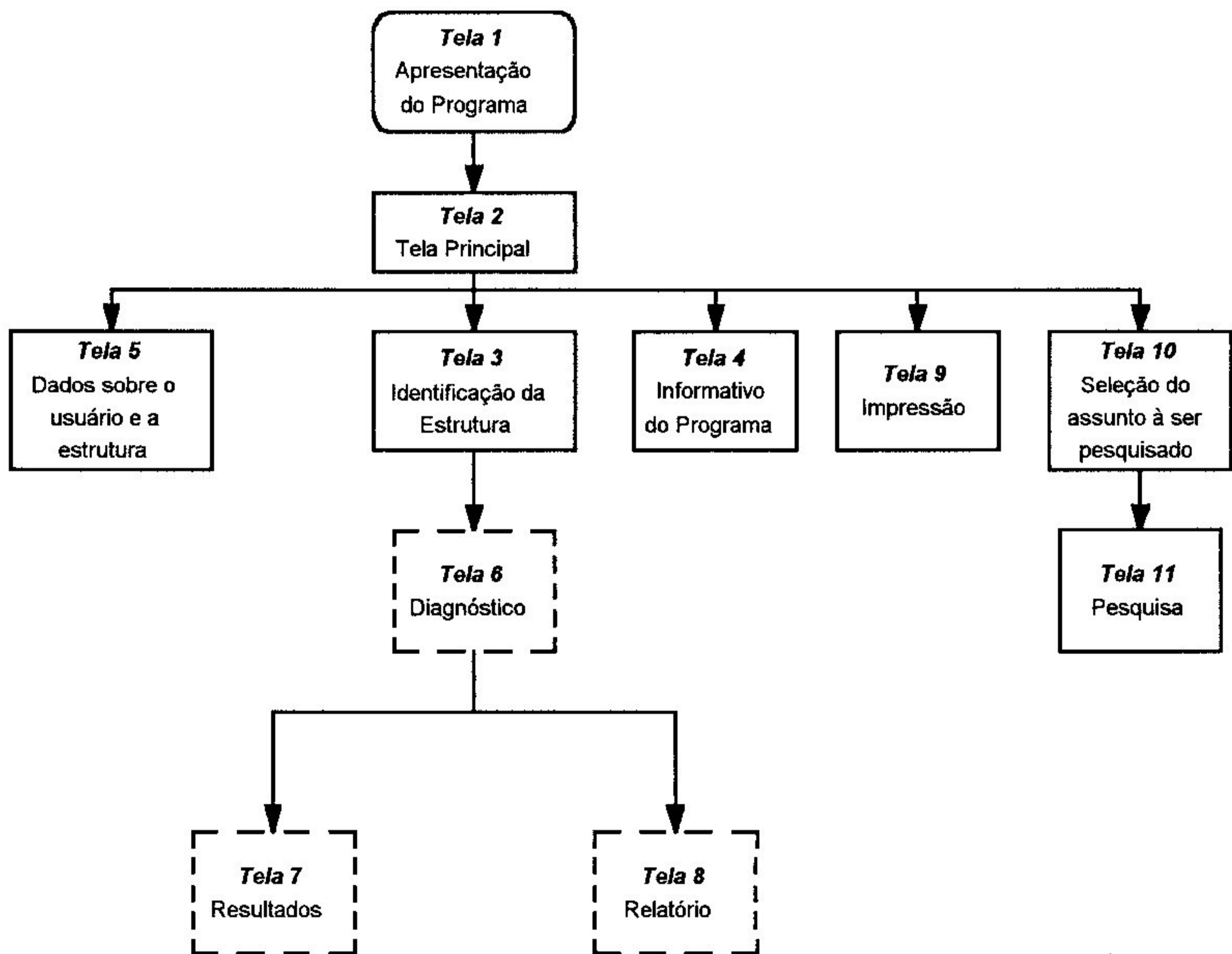


Figura 3.1 - Esquema do Esqueleto do Programa *Patologia*.



A **tela 1** é apenas uma tela de apresentação do programa. Nela estão presentes as seguintes informações :

- Nome do Aplicativo ,
- Logotipo da Universidade Federal de Minas Gerais,
- Nome do curso e ano em que foi desenvolvido.

A **tela 2** é a tela principal do aplicativo. É a partir dela que o *software* mostrará as demais telas.

A **tela 4** assemelha-se muito com **tela 1** pois trata-se apenas de uma tela informativa, sem importância no que se diz a respeito aos objetivos propostos. Ela apenas permite ao usuário obter informações complementares sobre o aplicativo tais como :

- informações sobre o programador e a instituição de ensino e o
- termo de responsabilidade do aplicativo.

Como já foi enfatizado, o aplicativo tem dois objetivos principais :

- auxiliar, o usuário, na obtenção de diagnósticos de problemas patológicos em estruturas de concreto armado,
- permitir, ao usuário, realizar uma pesquisa dentre os vários assuntos referentes a patologia das estruturas armazenados nos bancos de dados do aplicativo.



As telas enumeradas de 3 a 8, realizam a primeira tarefa. Já as telas 10 e 11 concluem a segunda.

A **tela 3** é utilizada, pelo o usuário, para identificar a estrutura e elemento estrutural que apresenta problema patológico a ser diagnosticado a seguir.

Utilizando a **tela 5**, o usuário, poderá inserir no relatório final, o seu nome ou o nome da empresa requerente e um comentário qualquer sobre o problema patológico ou sobre a estrutura. Esse texto não afetará de forma alguma o processo de diagnóstico. Trata-se apenas de um texto que constará no relatório final.

Note no diagrama apresentado que as telas enumeradas de 6 a 8 estão tracejadas. Pois a **tela 6** só poderá ser ativada após ter sido feita a identificação descrita na **tela 3**. A **tela 7** poderá ser acessada após ter sido obtido o diagnóstico e por último a **tela 8** dependerá do resultado final da análise do diagnóstico.

A obtenção do diagnóstico é feita através da **tela 6**,. Nesta tela são apresentados os textos e fotos armazenadas em um banco de dados, permitindo ao usuário decidir se o texto descreve ou não o problema apresentado na estrutura analisada.

Finalizando o diagnóstico, utilizando o procedimento presente na **tela 6**, o aplicativo permite o acesso às telas 7 e 8.

A **tela 7** apresenta a análise final do diagnóstico, indicando os diagnósticos prováveis para o problema patológico da estrutura.

Já a **tela 8** permite ao usuário visualizar o relatório final do diagnóstico, com todas as informações inseridas pelo usuário.



A **tela 10** é utilizada pelo usuário para selecionar qual o assunto a ser pesquisado. Esse assunto pode ser tanto na área estrutural quanto na área de materiais.

Essa pesquisa é feita através de apresentação de textos, fotos, figuras e gráficos que são apresentados a partir da **tela 11**.

A única tela ainda não descrita é a **tela 9**. Ela é responsável pela impressão do relatório final da análise feito através das tela enumeradas de 3 a 8 e também efetua a impressão de qualquer item selecionado e pesquisado pelo usuário.



### 3.7.2 - Banco de dados

É através dos bancos de dados, que compõem o aplicativo, que é possível realizar todas as tarefas propostas pelo *software*, desde a identificação da estrutura e do elemento estrutural com problemas patológicos até a elaboração e impressão dos resultados da análise. Os casos pesquisados também dependem de bancos de dados.

Na tabela 3.1, estão listados os nomes dos 09 bancos de dados presentes no *software*. Para cada banco de dados também é mostrado em que tela ele está sendo utilizado e sua função dentro do aplicativo **Patologia**.

Numero	Nome do Banco de Dados	Tela	Função
1	<u>Lest</u>	10	Lista com os casos patológicos ligados à área estrutural.
2	<u>Lmat</u>	10	Lista com os casos patológicos ligados à área de materiais.
3	<u>Test</u>	11	Textos, fotos, figuras e gráficos referente a um caso patológico, ligado à área estrutural, selecionado para pesquisa.
4	<u>Tmat</u>	11	Textos, fotos, figuras e gráficos referente a um caso patológico, ligado à área de materiais, selecionado para pesquisa.
5	<u>Caso</u>	3	Informa ao aplicativo que elemento estrutural foi selecionado pela tela 3.
6	<u>Slist</u>	3	Informa ao aplicativo o número de perguntas que serão feitas e o número diagnósticos possíveis ( combinações ).
7	<u>Plist</u>	6	Apresenta os textos ( perguntas ), fotos, figuras e gráficos referentes ao elemento estrutural com problemas patológicos.
8	<u>Clist</u>	6	Lista das perguntas referente a cada diagnóstico provável para cada elemento estrutural selecionado.
9	<u>Dlist</u>	7	Lista dos diagnósticos prováveis.

Tabela 3.1 - Resumo dos Bancos de Dados presentes no Programa *Patologia*.



Os quatro primeiros bancos de dados são responsáveis pela tarefa de pesquisa de problemas patológicos, os demais são utilizados na obtenção de diagnósticos de problemas patológicos em estruturas de concreto.

As tabelas 3.2 a 3.8, a seguir, mostram a estrutura de dados de todos bancos de dados listados na tabela 3.1. A descrição, detalhada, de todos esses bancos de dados juntamente com o papel que cada um executa no aplicativo, será evidenciado nos próximos itens.

### 3.7.3 - Relação dos Bancos de Dados presentes no Programa *Patologia*

Campos	
Nome	Tipo
Numero	Integer
Estudo	String
Cont	Short

**Tabela 3.2 - Estrutura de dados do banco de dados *Lest* e *Lmat*.**

Campos	
Nome	Tipo
Cod	Short
Numero	Integer
Texto	Memo
RGP1	String
RGP2	String
RGP3	String
NRGP1	String
NRGP2	String
NRGP3	String
TRGP1	Memo
TRGP2	Memo
TRGP3	Memo

**Tabela 3.3 - Estrutura de dados do banco de dados *Test* e *Tmat*.**



Campos	
Nome	Tipo
Item	String
Numero	Integer

---

**Tabela 3.4 - Estrutura de dados do banco de dados *Caso*.**

Campos	
Nome	Tipo
Numero	Integer
Quantidade	Short
Comb	Short

---

**Tabela 3.5 - Estrutura de dados do banco de dados *Slist*.**

Campos	
Nome	Tipo
Cod	Integer
Numero	Short
Depende	Short
Pergunta	Memo
RGP1	String
RGP2	String
RGP3	String
NRGP1	String
NRGP2	String
NRGP3	String
TRGP1	Memo
TRGP2	Memo
TRGP3	Memo

---

**Tabela 3.6 - Estrutura de dados do banco de dados *Plist*.**



Campos	
Nome	Tipo
Cod	Integer
Numero	Short
P1	Short
P2	Short
P3	Short
P4	Short
P5	Short
P6	Short
P7	Short
P8	Short
Dignose	Short

**Tabela 3.7 - Estrutura de dados do banco de dados *Clist*.**

Campos	
Nome	Tipo
Numero	Integer
Dpp	Memo

**Tabela 3.8 - Estrutura de dados do banco de dados *Dlist*.**

Os dados armazenados nos bancos de dados podem ser de vários tipos : valores inteiros, valores reais, textos, etc. Os tipos de dados, utilizados pelo aplicativo **Patologia** são apresentados na tabela 3.9.

Tipo	Descrição
Integer	Valor inteiro, podendo variar de -32627 a 32627
Short	Valor inteiro, podendo variar de 0 a 255
String	Em uma variável desse tipo podem-se armazenar textos com no máximo 256 caracteres
Memo	Em uma variável desse tipo podem-se armazenar textos com mais de 256 caracteres

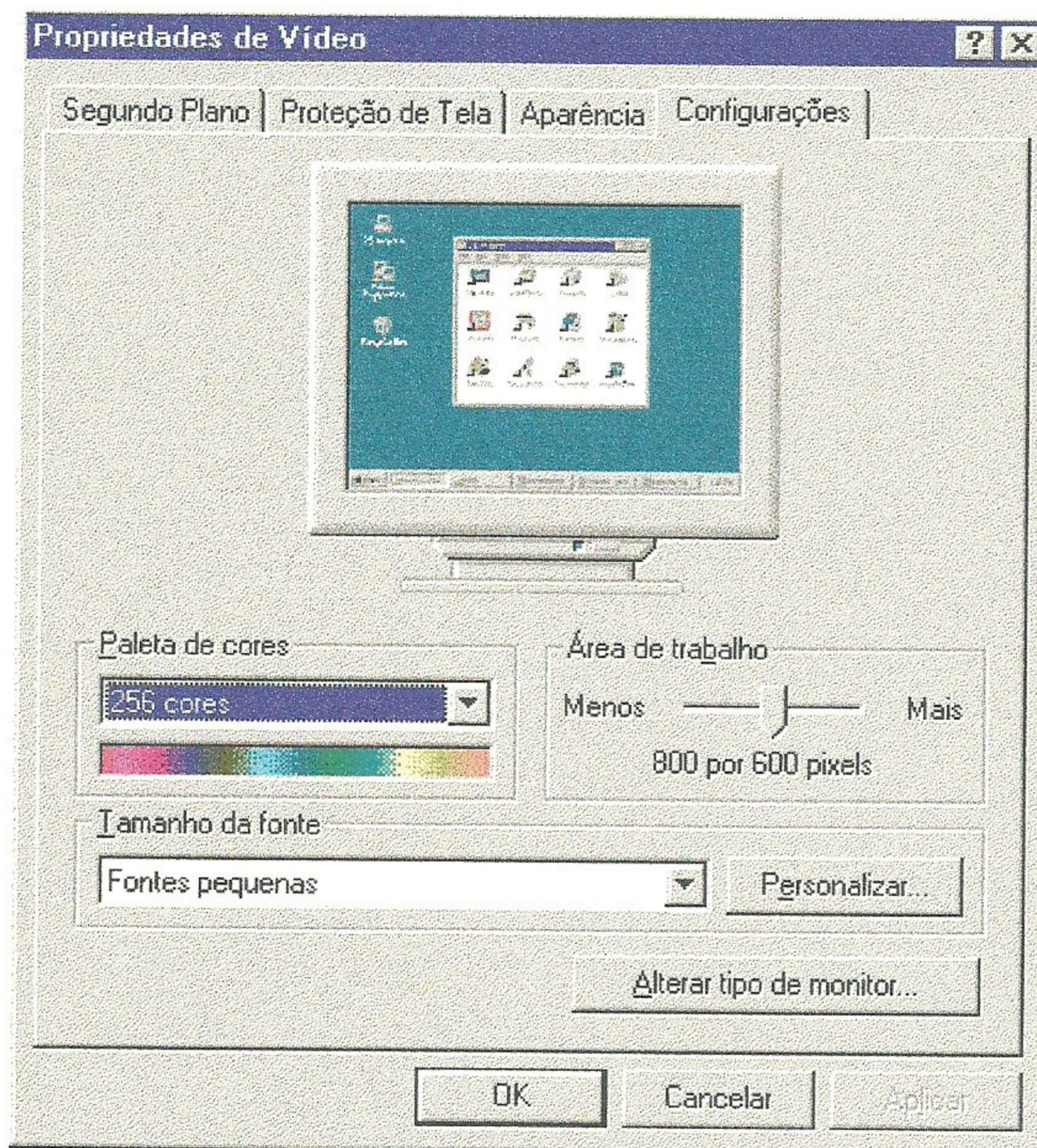
**Tabela 3.9 - Descrição dos tipos da variáveis utilizadas pelos bancos de dados.**



### 3.8 - Instalação do aplicativo *Patologia* ( versão demonstrativa )

#### 3.8.1 - Considerações preliminares

Antes de iniciar a instalação do aplicativo **Patologia** certifique-se que o adaptador de vídeo e o monitor apresentam as configurações indicadas na figura 3.2.



**Figura 3.2 - Configuração da placa de vídeo e do monitor.**

A área de trabalho do windows deve apresentar a resolução de 800 x 600 pixels. A placa de vídeo e o monitor devem ser capazes de exibir figuras com, no mínimo, 256 cores e o tamanho da fonte utilizada deve ser a indicada pela figura 3.2.



Caso não sejam observados essas configurações as telas presentes tanto no programa de instalação como no aplicativo **Patologia** aparecerão, na tela do monitor, de forma inadequada ou até ilegível.

### 3.8.2 - Procedimentos de Instalação do Aplicativo

Três disquetes acompanham essa dissertação. Eles contêm, além da versão demonstrativa do aplicativo **Patologia** desenvolvido, um programa de instalação.

Para iniciar a instalação do aplicativo o primeiro disquete de instalação deve ser introduzido na unidade de disco do microcomputador,. No ambiente *Windows95* o programa "**Setup**" contido no disquete deve ser executado. Os passos a serem seguidos para efetuar a instalação serão indicados pelas telas apresentadas.

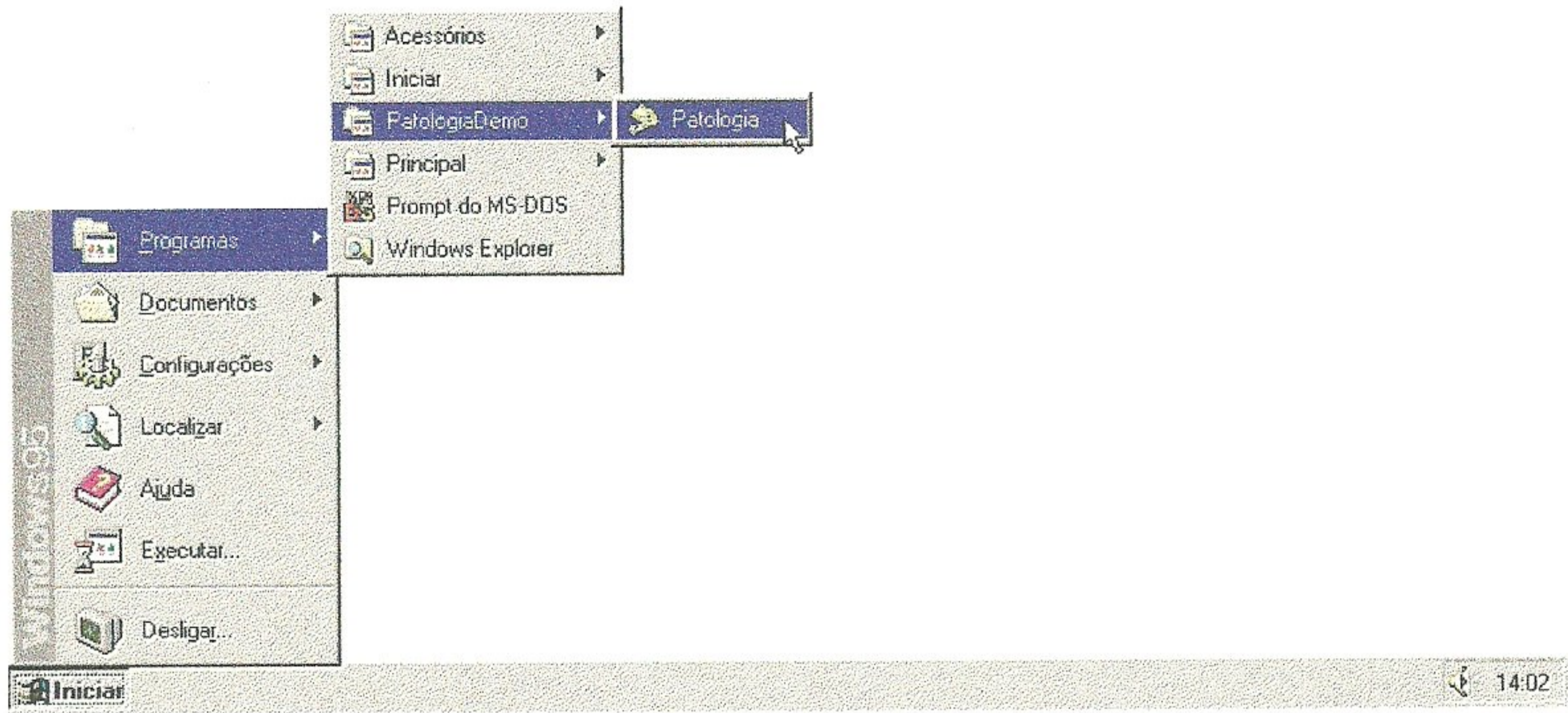
O programa de instalação irá criar dois diretórios no disco rígido com os seguintes nomes :

- *patolog*
- *idapi*

No primeiro diretório será armazenado o aplicativo **Patologia**. No diretório *idapi* serão armazenados os arquivos necessários para o funcionamento dos bancos de dados contidos no aplicativo. Caso já exista um diretório com o nome *patolog* no disco rígido altere o seu nome antes de efetuar a instalação.

Serão criados também um grupo ou pasta no *window95* e um ícone para o aplicativo **Patologia** conforme mostrado pela figura 3.3.





**Figura 3.3 - Grupo e ícone criados pelo aplicativo.**

Para executar o aplicativo **Patologia**, basta clicar em cima do nome "**Patologia**", conforme indicado pela figura 3.3.



### 3.9 - Telas iniciais do aplicativo

Ao executar o aplicativo **Patologia**, será mostrado na tela do *Windows95* a **tela 1** do software, figura 3.4.



Figura 3.4 - Tela 1 do Programa *Patologia*.

A **tela 1** trata-se apenas da apresentação do programa. Nela estão presentes as seguintes informações :

- Nome do Aplicativo
- Logotipo da Universidade Federal de Minas Gerais
- Nome do curso e ano em que foi desenvolvido.



Ela permanece na tela do *Windows95* durante o tempo em que o programa está criando as demais telas e inicializando as variáveis e alguns bancos de dados utilizados pelo aplicativo.

Após alguns segundos a **tela 4** será visualizada, tendo como fundo a **tela 2**.

Através da **tela 4**, figura 3.5, o usuário poderá ter mais informações sobre aplicativo em questão.

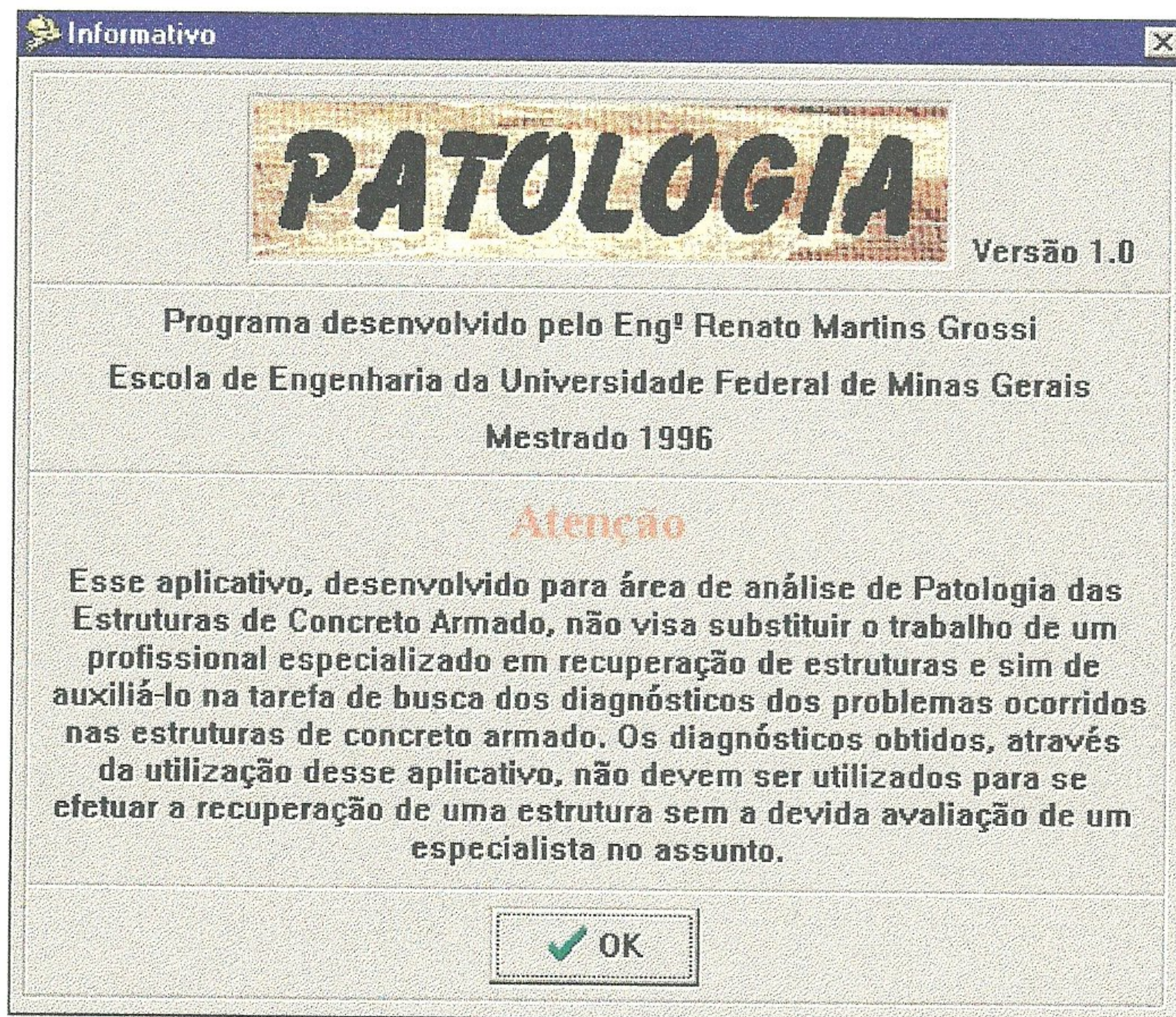


Figura 3.5 - Tela 4 - informativo sobre o aplicativo.

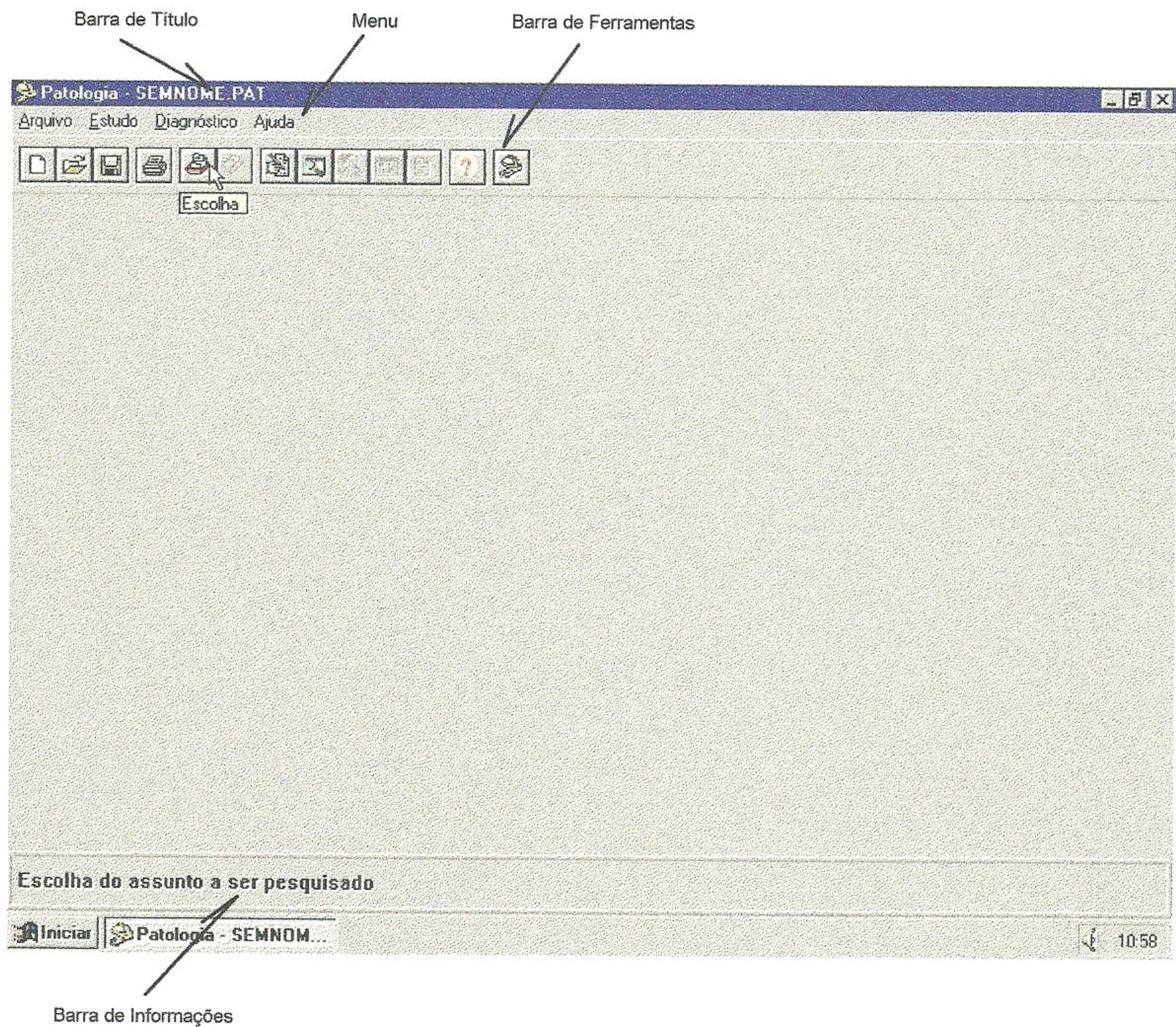


As informações presentes nela são as seguintes :

- nome do aplicativo
- versão do aplicativo
- nome do programador
- nome da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
- nome do curso e ano em que foi desenvolvido
- termo de responsabilidade, informando ao usuário que esse aplicativo não tem como intenção substituir o trabalho de um especialista em recuperação de estruturas e sim, exclusivamente, de auxiliar na tarefa de busca dos diagnósticos dos problemas ocorridos nas estrutura de concreto armado.

Ao pressionar o botão < **OK** >, essa tela será desativada permanecendo ativa, a **tela 2**, figura 3.6.





**Figura 3.6 - Tela 2 do aplicativo *Patologia*.**

A **tela 2** é a tela principal do aplicativo. É a partir dela que o software mostrará as demais telas.

Como pode ser visto pela figura 3.6, a **tela 2** apresenta as mesmas características de um programa “*for Windows*”, ou seja :

- uma barra com o título do aplicativo ao topo,
- um menu como todos os comandos implementados,
- uma barra de tarefa com os comandos principais do menu,
- e uma barra de informações, que apresenta explicação de cada comando selecionado



Passando o ponteiro do “*mouse*” por cima de qualquer botão da barra de tarefa, uma pequena caixa aparecerá para auxiliar o usuário quanto à função das mesmas, conforme mostrado na figura 3.6. Na barra de informações também aparecerá um texto com a explicação dos botões e comandos dos menus detalhados.

A barra de tarefa presente no aplicativo contém os comandos principais do menu para facilitar a utilização dos recursos implementados. Ela é constituída por treze botões conforme mostrado na figura 3.7.



---

**Figura 3.7 - Barra de tarefa do aplicativo *Patologia*.**

Na tabela 3.10 estão descritos todos os botões presentes na barra de tarefa, com o seu nome e função dentro do aplicativo.



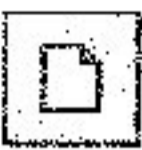







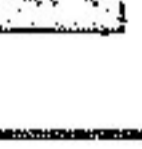

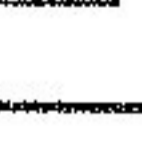


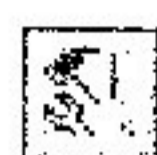

Botão	Título	Descrição
	Novo	Inicializa todas as variáveis do aplicativo para obter um novo diagnóstico.
	Abrir	Abre um arquivo do aplicativo salvo em disquete ou disco rígido.
	Salvar	Salva os dados vigentes no aplicativo em arquivo em disquete ou disco rígido
	Imprimir	Imprime um estudo selecionado e / ou o relatório final do diagnóstico realizado.
	Casos	Seleciona entre os casos catalogados, àquele que será pesquisado.
	Estudo	Mostra o caso catalogado selecionado.
	Dados	Usado pelo usuário para introduzir informações sobre si próprio e o problema patológico presente.
	Identificação	Identifica a estrutura e o elemento estrutural com problemas patológicos a ser analisado
	Diagnóstico	Realiza o diagnóstico dos problemas patológicos presente na estrutura em questão.
	Resultados	Apresenta os resultados finais do diagnóstico realizado.
	Relatório	Apresenta um relatório completo do diagnóstico e resultados.
	Ajuda	Oferece ajuda sobre qualquer componente ou procedimento implementados.
	Informativo	Mostra o informativo do software com alguns dados importantes sobre o mesmo.

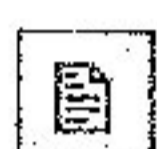
Tabela 3.10 - Função dos botões presentes na barra de tarefa.



Quando o programa é inicializado os botões :

 → *Diagnóstico*

 → *Resultados*

 → *Relatório*

presentes na barra de tarefa, encontram-se desativados, como já foi mencionado no item Esquemas das Telas.

Através dos dois itens subsequentes, serão mostrados, passo a passo, os procedimentos para se realizar as tarefas de “*Pesquisa*” e “*Diagnóstico*”, propostas pelo aplicativo. Em cada etapa serão descritos também, os bancos de dados envolvidos.



## 3.10 - Pesquisa

### 3.10.1 - Considerações preliminares

A pesquisa através de casos catalogados e armazenados de problemas patológicos em estruturas de concreto armado e assuntos ligados à patologia das estruturas é um dos objetivos propostos pelo aplicativo **Patologia**. Para essa tarefa são utilizadas as telas 10 e 11, figura 3.1 e os bancos de dados enumerados de 1 a 4 mostrados pela tabela 3.1.

Na segunda coluna da tabela 3.11 estão relacionados os 29 itens pesquisados e armazenados nos bancos de dados do aplicativo **Patologia**. Esses itens foram separados em duas categorias :

- assuntos ligados a área estrutural,
- assuntos ligados a área de materiais.

As letras “*M*” de materiais e “*E*” de estrutural contidas na última coluna da tabela 4.11 indicam que categoria cada assunto pertence.

Cada assunto presente na tabela 3.11 é composto por um texto e vários recursos gráficos tais como : figuras, fotos, gráficos, etc. Para facilitar a leitura do texto e a visualização desses recursos gráficos, cada caso pesquisado foi dividido em pequenas partes. Cada uma dessas partes foi denominada por **Faixa**. Cada **Faixa** apresenta obrigatoriamente um pequeno texto e pode conter até 3 recursos gráficos referentes a esse texto. O número de **Faixas** presentes em cada item armazenado nos bancos de dados são indicados pela terceira coluna da tabela 3.11.

A seguir será mostrado um exemplo de como proceder para efetuar uma pesquisa de um item armazenado nos bancos de dados do aplicativo **Patologia**.



<b>Item</b>	<b>Assunto Catalogado</b>	<b>Faixas</b>	<b>Categoria</b>
1	Ar incorporado	16	M
2	Ataque por sulfato	21	M
3	Bolor em edifício	09	M
4	Causas e efeitos da fissuração em concreto estrutural	53	E
5	Cimento Portland	30	M
6	Corrosão das armaduras	32	E
7	Danos causados por eflorescência	25	E
8	Deterioração do concreto devido ao congelamento	41	E
9	Deterioração por desgaste superficial	09	E
10	Diagnóstico de problemas patológicos em estruturas de concreto armado	17	E
11	Durabilidade	14	E
12	Fissuras causadas pela retração de produtos à base de cimento	03	E
13	Fissuras causadas por movimentações higroscópicas	14	E
14	Fissuras causadas por deformabilidade excessiva das estruturas de concreto armado	12	E
15	Fissuras provocadas por recalques diferenciados das fundações	15	E
16	Fissuras provocadas por variações de temperatura	24	E
17	Fissuras típicas em alvenarias devido ao carregamento	05	E
18	Fissuras típicas em lajes de concreto armado devido ao carregamento	09	E
19	Fissuras típicas em pilares de concreto armado devido ao carregamento	06	E
20	Fissuras típicas em vigas de concreto armado devido ao carregamento	10	E
21	Hidratação do cimento	13	M
22	Incêndio	16	E
23	O material concreto	29	M
24	Patologia em estruturas de concreto armado	16	E
25	Permeabilidade	09	M
26	Principais meios agressivos ao concreto	14	E
27	Reação álcali-agregado	11	M
28	Resistência do concreto	30	E
29	Segregação e exsudação	20	M

**Tabela 3.11 - Relação dos assuntos catalogados e armazenados no aplicativo *Patologia*.**



### 3.10.2 - Escolha do caso a ser pesquisado

#### 3.10.2.1 - Procedimento

Após inicializado o aplicativo, na barra de ferramentas, deve-se pressionar o quinto botão para iniciar o processo de pesquisa, figura 3.8.

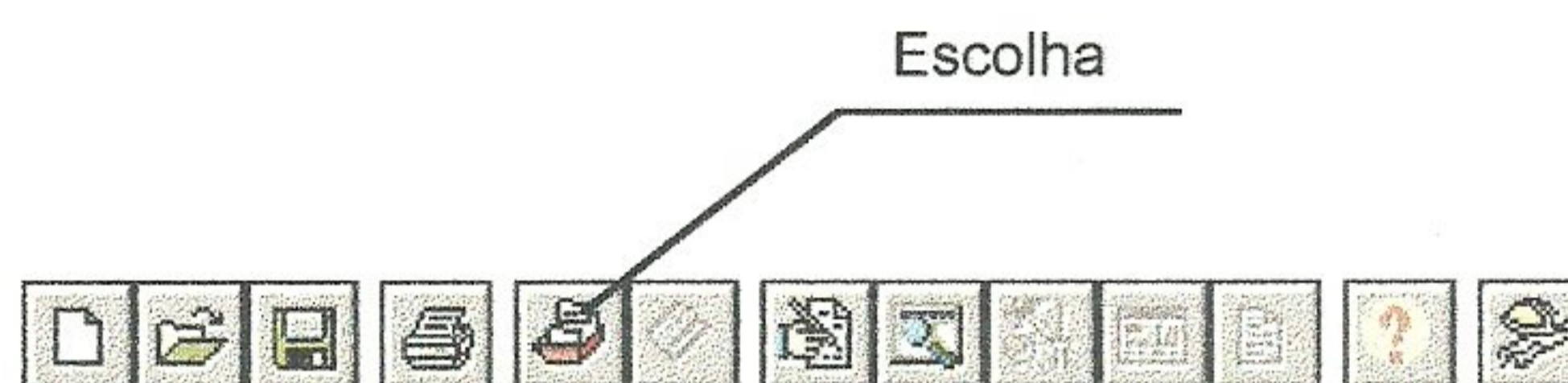
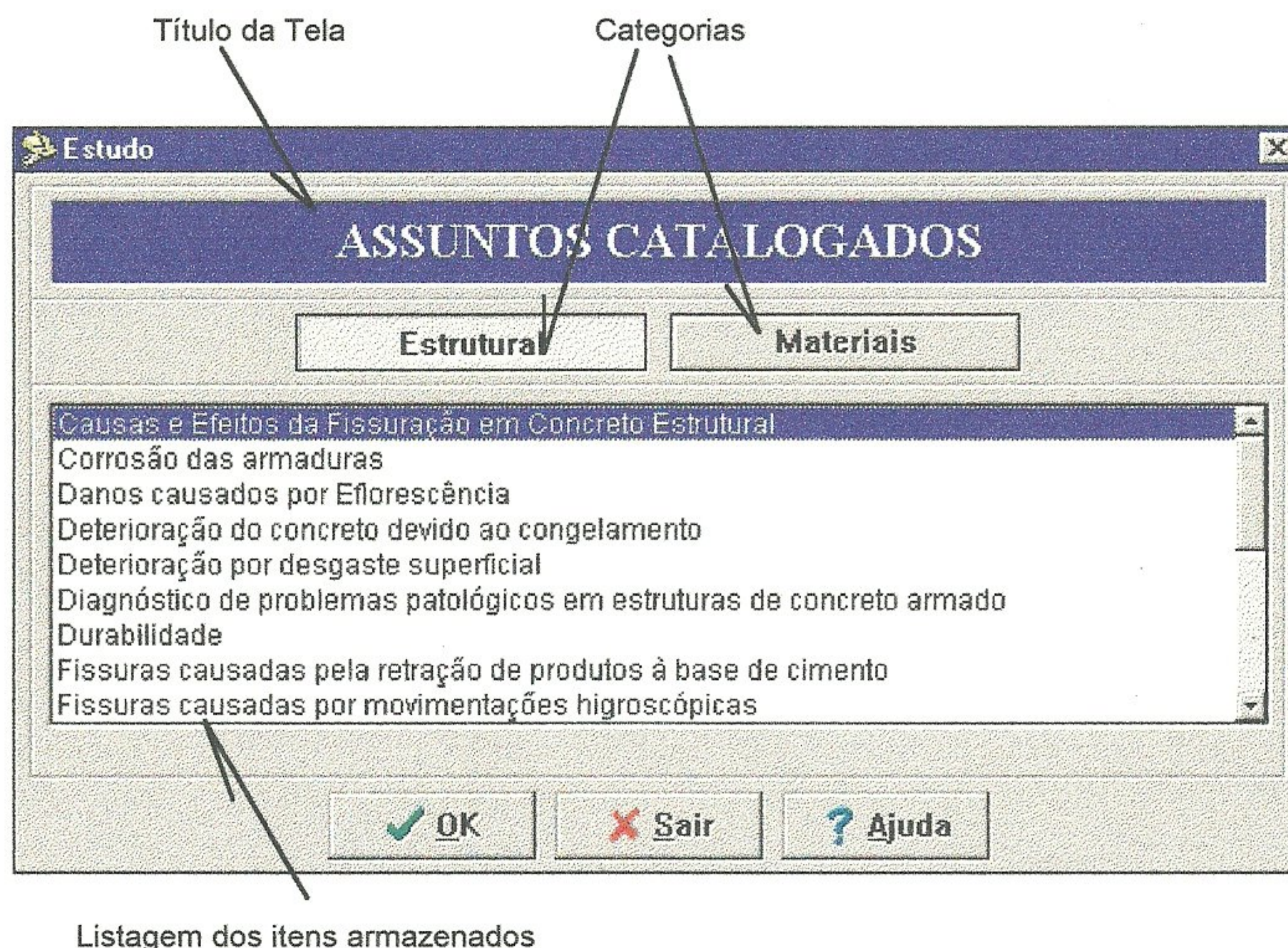


Figura 3.8 - Botão < Escolha > presente na barra de tarefa.

Pressionando esse botão aparecerá sobre a tela principal a tela 10, mostrada na figura 3.9.



Listagem dos itens armazenados

Figura 3.9 - Tela 10 - Estudo - Categoria *Estrutural* selecionada.



A **tela 10** apresenta os seguintes componentes :

- uma faixa com o título da tela,
- uma faixa com as duas categorias disponíveis :
  - *Estrutural* e
  - *Materiais*
- e uma lista de casos catalogados referente à categoria selecionada, listados em ordem alfabética.

Na figura 3.9 o item selecionado é : *Estrutural*.

Pressionando o botão < **Sair** > a tela desaparecerá sem que nenhum caso seja selecionado. Caso seja pressionado o botão < **OK** >, o caso selecionado pela tarja colorida será alvo da pesquisa e serão passadas, ao aplicativo três informações :

- a categoria assinalada na **tela 10**,
- o código do item selecionado pela tarja colorida,
- o número de Faixas que o item selecionado apresenta armazenado no banco de dados

Essas três informações são armazenadas respectivamente nas variáveis **CASOCAT**, **CASOCOD**, e **CASOQUANT**. A variável **CASOCAT** pode assumir somente um dos seguintes valores :

- 1, quando a categoria selecionada na **tela 10** for *Estrutural*,
- 2, caso a categoria selecionada for *Materiais*.



### 3.10.2.2 - Banco de dados

Na **tela 10** são utilizados dois bancos de dados Lest e Lmat. Como foi visto anteriormente esse dois bancos de dados apresentam a mesma estrutura de dados. Essa estrutura está indicada no tabela 3.12.

Campos	
Nome	Tipo
Numero	Integer
Estudo	String
Cont	Short

**Tabela 3.12 - Estrutura de dados do banco de dados *Lest* e *Lmat*.**

Os dois bancos de dados apresentam, cada um, três campos :

- No campo **NÚMERO** é armazenado o código de cada um dos assuntos a serem pesquisados. Por se tratar de uma variável do tipo inteiro conclui-se que cerca de 32.600 itens podem ser armazenados em cada banco de dados, ou seja, o número de itens catalogados pode ser aumentado facilmente sem que seja necessário alterar qualquer linha do código fonte do programa.
- O campo **ESTUDO** contém os textos referentes a cada um dos itens listados pela **tela 10**.
- O terceiro e último campo é o campo **CONT**. Ele armazena o número de **Faixas** que o respectivo item apresenta armazenado nos bancos de dados do aplicativo. A variável que armazena esse valor é do tipo short, ou seja, conclui-se que cada item a ser pesquisado poderá conter, no máximo, 256 **Faixas**. Consideramos esse valor satisfatório.



### 3.10.2.3 - Exemplo

Ao pressionar o quinto botão da barra de tarefa, figura 3.8, a **tela 10**, figura 3.9, será visualizada na tela do monitor. Selecionando, com a tarja colorida, o terceiro item, “*Danos causados por Eflorescência*”, presente no quadro da **tela 10** e pressionando a tecla < **OK** > os seguintes valores serão passados ao aplicativo :

- **CASOCAT = 1**
- **CASOCOD = 3**
- **CASOQUANT = 26**

O valor armazenado na variável **CASOCAT** é igual a 1 pois a categoria selecionada na **tela 10** é *Estrutural*. Os valores armazenados nas duas outras variáveis são encontrados no banco de dados Lest. Parte do banco de dados Lest encontra-se listado no quadro da figura 3.10. Caso a categoria selecionada pela **tela 10** fosse *Materiais* o banco de dados a ser utilizado seria o Lmat.

LEST	Numero	Estudo	Cont
1	1,00	Causas e Efeitos da Fissuração em Concreto Estrutural	53
2	2,00	Corrosão das armaduras	32
3	3,00	Danos causados por Eflorescência	26
4	4,00	Deterioração do concreto devido ao congelamento	41
5	5,00	Deterioração por desgaste superficial	9
6	6,00	Diagnóstico de problemas patológicos em estruturas de concreto a	17
7	7,00	Durabilidade	14
8	8,00	Fissuras causadas pela retração de produtos à base de cimento	3
9	9,00	Fissuras causadas por movimentações higroscópicas	14
10	10,00	Fissuras provocadas por deformabilidade excessiva das estruturas	12
11	11,00	Fissuras provocadas por recalques diferenciais das fundações	15

**Figura 3.10 - Parte do banco de dados *Lest*.**



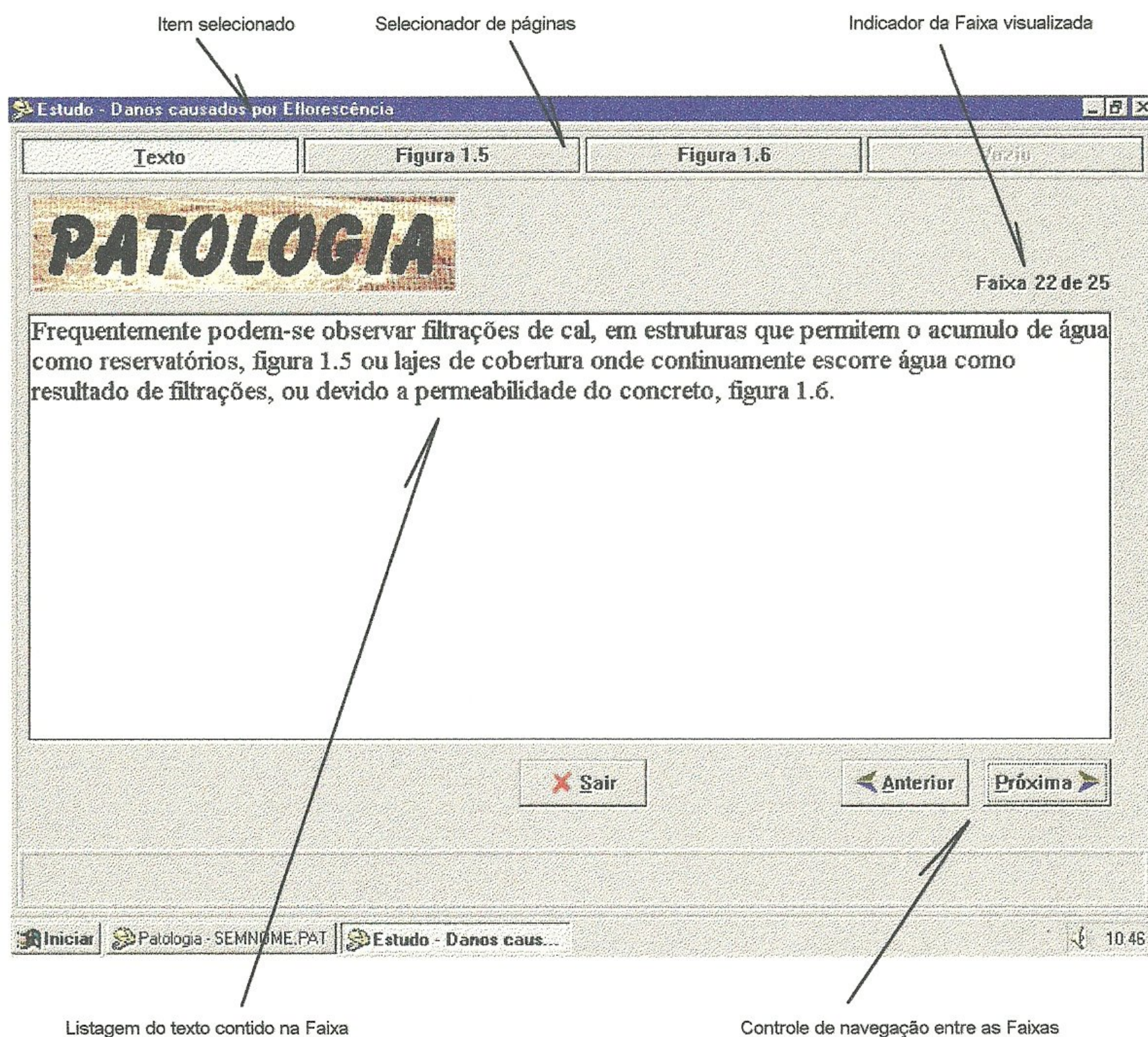
Ao pressionar o botão < **OK** >, presente na **tela 10**, o texto selecionado pela tarja colorida é comparado com o texto contido no campo *ESTUDO* do banco de dados Lest. Os valores dos campos *NUMERO* e *CONT* são armazenados respectivamente nas variáveis **CASOCAT** e **CASOQUANT**. Ver figura 3.10



### 3.10.3 - Visualização do item selecionado

#### 3.10.3.1 - Procedimento

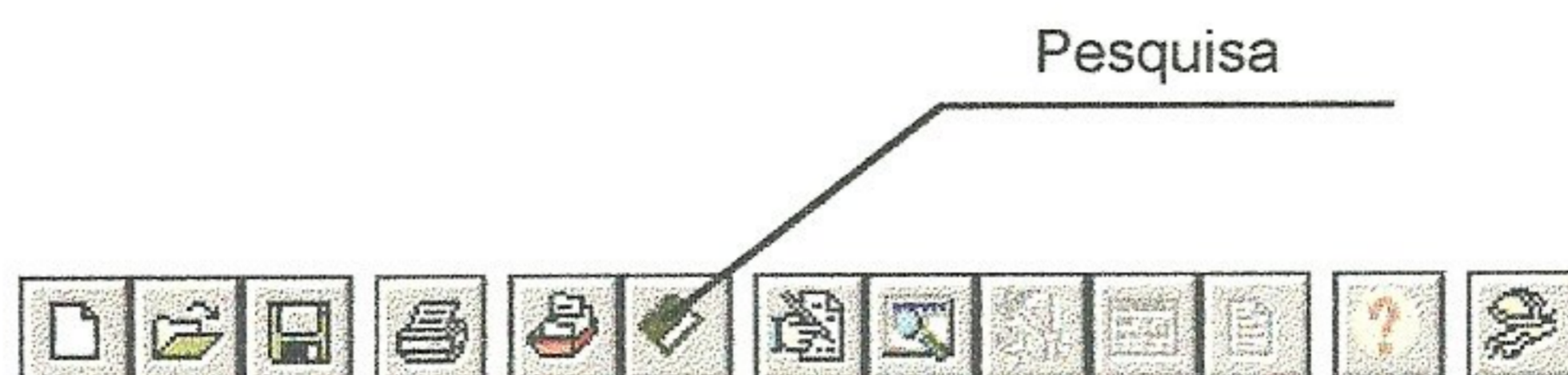
Após selecionado o item a ser pesquisado, o aplicativo permitirá o acesso à tela 11, figura 3.11, onde serão mostrados os textos e os recursos gráficos contidos em todas as **Faixas** que compõem esse item.



**Figura 3.11 - Exemplo da primeira página da tela 11.**



Para ter acesso a essa tela basta pressionar o sexto botão presente na barra de tarefa, figura 3.12.



**Figura 3.12 - Botão < Pesquisa > presente na barra de tarefa.**

Quando o aplicativo é iniciado pela primeira vez, esse botão encontra-se desativado, figura 3.8, pois somente após ter sido feita a escolha do item a ser pesquisado é que a **tela 11** poderá ser acessada.

No início desse tópico foi comentado que cada item a ser pesquisado é formado por um conjunto de **Faixas** e que cada **Faixa**, é composta, obrigatoriamente, por um pequeno texto e pode conter até 3 recursos gráficos referentes a esse texto.

A **tela 11** é composta por um fichário com quatro páginas, sendo cada página destinada à visualização de cada um dos quatro recursos contidos em uma **Faixa**. Na figura 3.11 é mostrada a configuração da primeira página da **tela 11**. Nessa página estão contidos os seguintes componentes :

- o título do item selecionado no topo da tela,
- uma faixa com quatro botões, abaixo do título, "*Seccionador de páginas*"
- um quadro central destinado para a visualização do texto contido na **Faixa**,
- um indicador da **Faixa** visualizada pela tela,
- um controle de navegação entre as **Faixas** formado pelos botões < Anterior > e < Próxima > e
- e o botão < Sair >



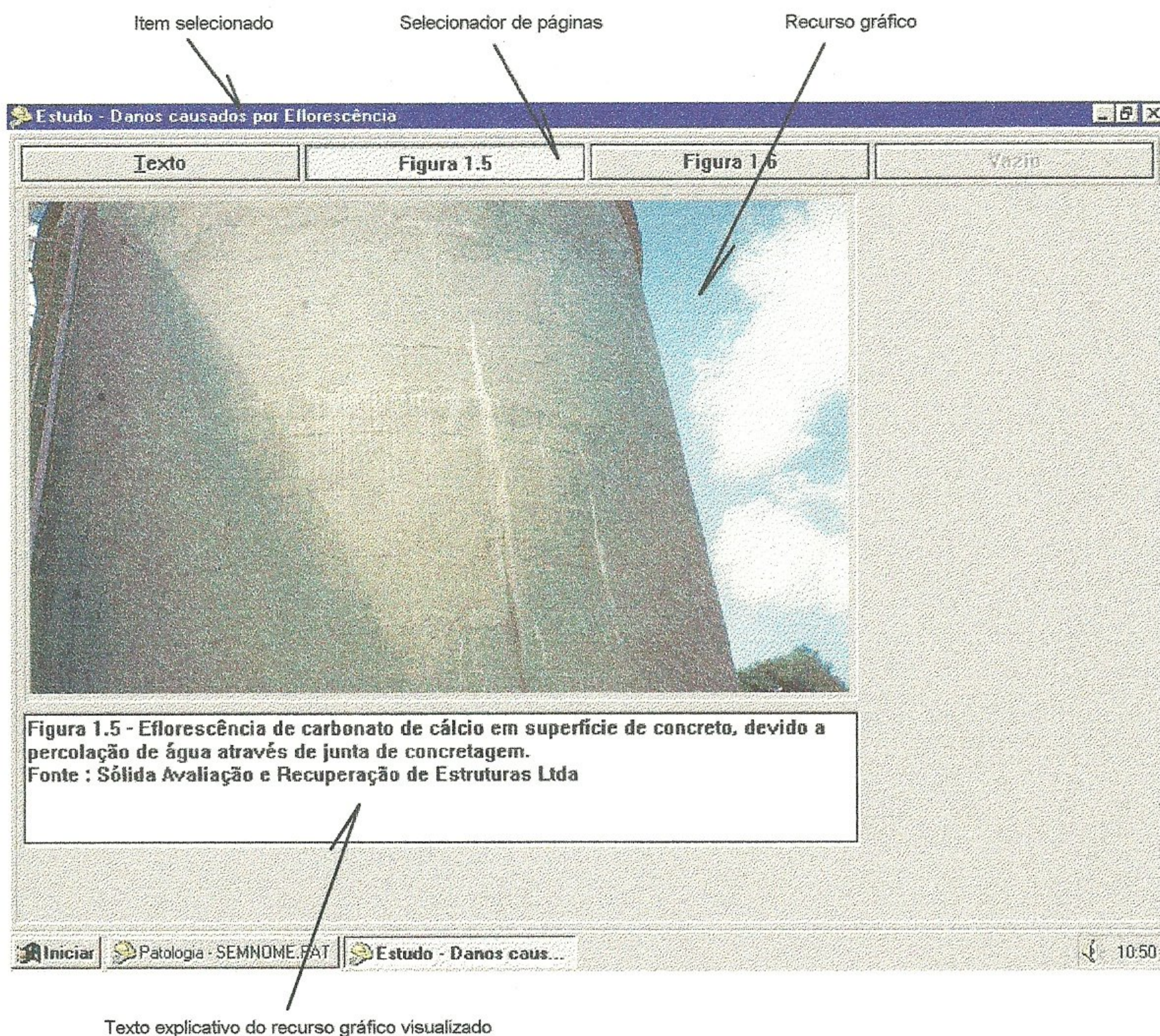
Na figura 3.11 o identificador informa que o item “*Danos causados por Eflorescência*” é composto por 26 **Faixas** e que a **Faixa** visualizada atualmente, pela **tela 11** e a de número 22.

Através do selecionador de páginas é possível obter o número de recursos disponíveis pela **Faixa** visualizada, por exemplo : a **Faixa 22** apresenta três recursos disponíveis, um texto e dois recursos gráficos, pois somente os três primeiros botões, presentes no selecionador de páginas, encontram-se habilitados. O último botão apresenta a palavra “*Vazio*” escrita no seu interior e encontra-se desativada.

Também é possível, através do selecionador de página identificar qual a página ativa, ou seja, visualizada pela tela e ativar as demais páginas presentes no fichário. Cada botão presente no selecionador de páginas corresponde a uma página do fichário, ou seja, o primeiro botão corresponde à primeira página, o segundo botão à segunda página e assim por diante. Para identificar a página ativa basta verificar qual botão presente no selecionador de páginas encontra-se pressionado. Somente uma página do fichário pode permanecer ativa de cada vez.

Pressionando o botão < **Figura 1.5** > presente na tela da figura 3.11, a segunda página do fichário, contendo o primeiro recurso gráfico da vigésima segunda **Faixa** do item “*Danos causados por Eflorescência*” é visualizada, conforme mostrado pela figura 3.13.





**Figura 3.13 - Exemplo da configuração das demais páginas na tela 11.**

Nessa página estão contidos os seguintes componentes :

- o título do item selecionado no topo da tela,
- uma faixa com quatro botões, abaixo do título, “*Selecionador de páginas*”
- um quadro destinado à visualização recurso gráfico contido na **Faixa**,
- um texto explicativo sobre o recurso gráfico visualizado,

Para retornar à página anterior basta pressionar o botão < **Texto** >. Para visualizar qualquer página, presente na **Faixa** do item, basta pressionar o botão correspondente no selecionador de páginas.



### 3.10.3.2 - Bancos de dados

Nessa tela são utilizados dois bancos de dados o Test e o Tmat. Esses dois bancos de dados apresentam a mesma estrutura. Na tabela 3.13 está indicada a estrutura desses dois bancos de dados.

Campos	
Nome	Tipo
Cod	Short
Numero	Integer
Texto	Memo
RGP1	String
RGP2	String
RGP3	String
NRGP1	String
NRGP2	String
NRGP3	String
TRGP1	Memo
TRGP2	Memo
TRGP3	Memo

**Tabela 3.13 - Estrutura de dados do banco de dados *Test* e *Tmat*.**

Os dois bancos de dados apresentam, cada um, 11 campos :

- No campo *COD* é armazenado o código de identificação do item a ser pesquisado,
- No campo número é armazenado o número de **Faixas** que o item a ser pesquisado contém armazenado no banco de dados,
- O campo *TEXTO* contém o texto referente ao primeiro componente de uma **Faixa**,
- Os campos *RGP1*, *RGP2* e *RGP3* podem conter, cada um, um nome de um recurso gráfico armazenado fora do banco de dados, no disco rígido ou “*winchester*” do micro. Esses recursos gráficos visa esclarecer qualquer dúvida com relação ao texto armazenado no campo *TEXTO*,



- Os campos *NRGP1*, *NRGP2* e *NRGP3* podem conter, cada um, uma palavra que será escrita, respectivamente, nos três últimos botões presentes no selecionador de páginas. Caso qualquer um desses campos estiver vazio, ou seja, sem uma palavra armazenada, o botão correspondente no selecionador de páginas, apresentará a palavra “*Vazio*”,
- Os três últimos campos, *TRGP1*, *TRGP2* e *TRGP3*, podem conter, cada um, um texto explicativo sobre os recursos gráficos contidos nos campos *NRGP1*, *NRGP2* e *NRGP3*.

### 3.10.3.3 - Exemplo

Ao pressionar o sexto botão da barra de tarefa, a **tela 11** será visualizada. Porém antes da **tela 11** ser visualizada três informações, armazenadas pelo aplicativo, são passadas a essa tela visando à determinação do banco de dados a ser utilizado :

- a categoria selecionada pelo usuário, armazenada na variável **CASOCAT**,
- o código do caso selecionado, armazenado na variável **CASOCOD** e
- o número de **Faixas** contidas no item selecionado, armazenado na variável **CASOQUANT**.

Todas essas informações foram obtidas através da **tela 10**. Nesse exemplo, os valores armazenados nas variáveis **CASOCAT**, **CASOCOD** e **CASOQUANT**, são respectivamente 1,3 e 26.

Como o valor armazenado na variável **CASOCAT** é igual 1, categoria *Estrutural*, o banco de dados utilizado será o Test. Se a categoria selecionada fosse *Materiais*, ou seja **CASOCAT** = 2, o banco de dados utilizado seria o Tmat.

Na figura 3.14 é mostrado o item “*Danos causados por Eflorescência*”, contido no banco de dados Test.



TEST	Cod	Numero	Texto	RGP1	RGP2	RGP3	NRGP1	NRGP2	NRGP3	TRGP1	TRGP2	TRGP3
11	3,00	1	A eflorescência é um termo geral usado									
12	3,00	2	O tipo de eflorescência mais comum é o									
13	3,00	3	A carbonatação é um processo químico que	Fig001			Figura 1.1			Figura 1.1 -		
14	3,00	4	A velocidade desse processo e a espessura	Fig002			Figura 1.2			Figura 1.2 - Medida		
15	3,00	5	A espessura de carbonatação, figura 1.2, em	Foto430			Figura 1.3			Figura 1.3 -		
16	3,00	6	A medida que é formado o carbonato de	Foto430			Figura 1.3			Figura 1.3 -		
17	3,00	7	Se a carbonatação já atingiu a armadura, o									
18	3,00	8	Existem vários ensaios para detectar a									
19	3,00	9	Através da figura 1.3, verifica-se que nas									
20	3,00	10	Dependo das condições de contorno que a									
21	3,00	11	Os dois mecanismos mais comuns de									
22	3,00	12	Eflorescência de cal									
23	3,00	13	A eflorescência de cal é uma eflorescência									
24	3,00	14	Quando a água entra em contato com a									
25	3,00	15	A eflorescência de cal é um fino depósito									
26	3,00	16	Como já foi mencionado anteriormente, a									
27	3,00	17	Filtrações de cal									
28	3,00	18	Filtração de cal é uma incrustação muito									
29	3,00	19	As filtrações de cal geralmente ocorrem em									
30	3,00	20	As eflorescências de cal devido a filtração	Foto500			Figura 1.4			Figura 1.4 -		
31	3,00	21	As filtrações de cal formam-se pelo mesmo									
32	3,00	22	Frequentemente podem-se observar filtrações	Foto201			Figura 1.5			Figura 1.5 -		
33	3,00	23	A permeabilidade do concreto é o fator									
34	3,00	24	O processo de eflorescência pode facilitar o									
35	3,00	25	Além da perda de resistência, a lixiviação do									
36	3,00	26	Bibliografia									

Figura 3.14 - Banco de dados Test - Item "Danos causados por Eflorescência".



A ordem em que os itens são mostrados pela tela 11 é ditada respectivamente pelos campos *COD* e *NÚMERO* do banco de dados *Test*. Como o valor armazenado na variável *CASOCOD* é igual a 3 a primeira *Faixa* a ser visualizada é *Faixa* cujo valor do campo *COD* for igual a 3, e o campo *NÚMERO* for igual a 1. Figura 3.15.

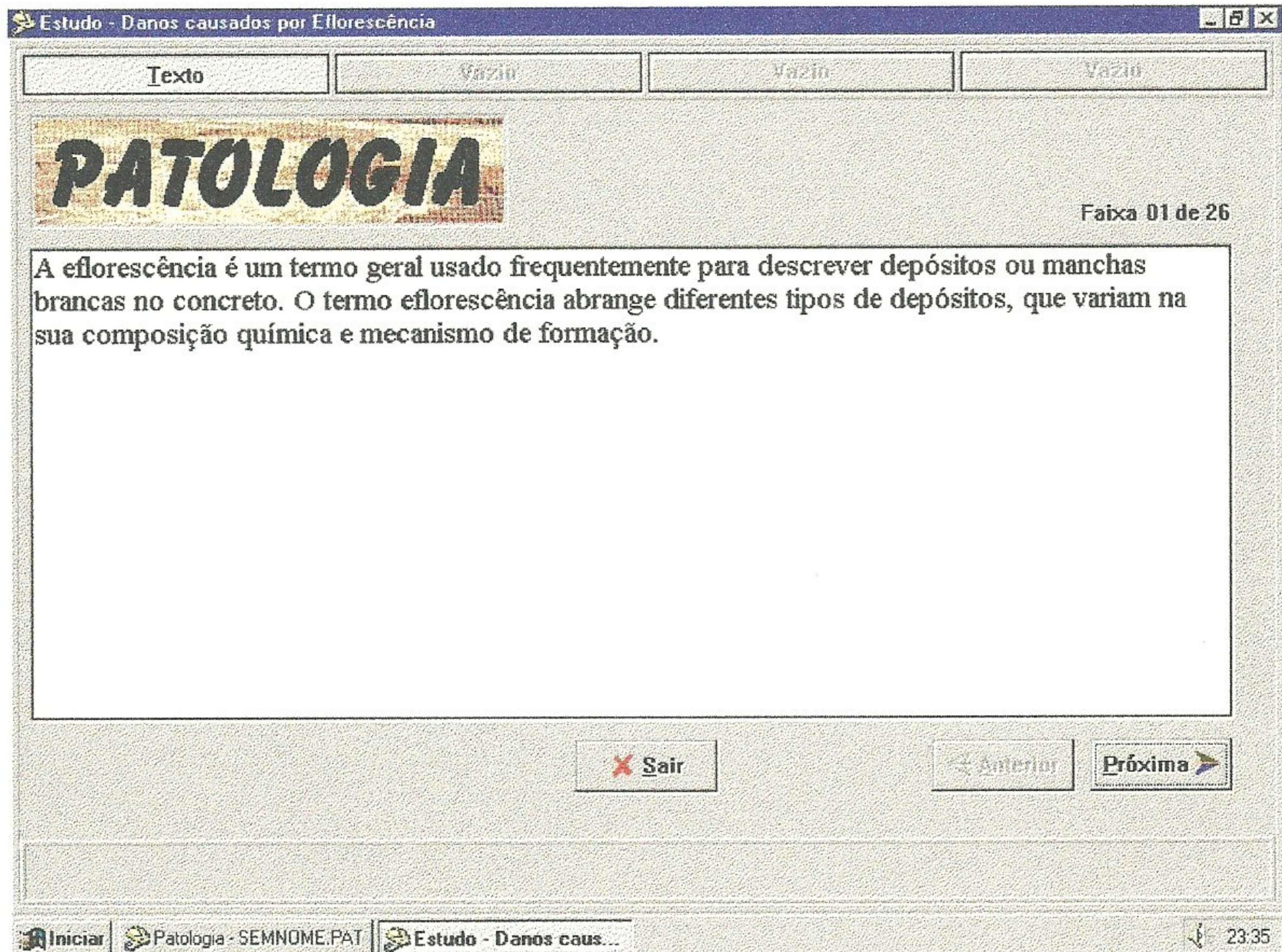
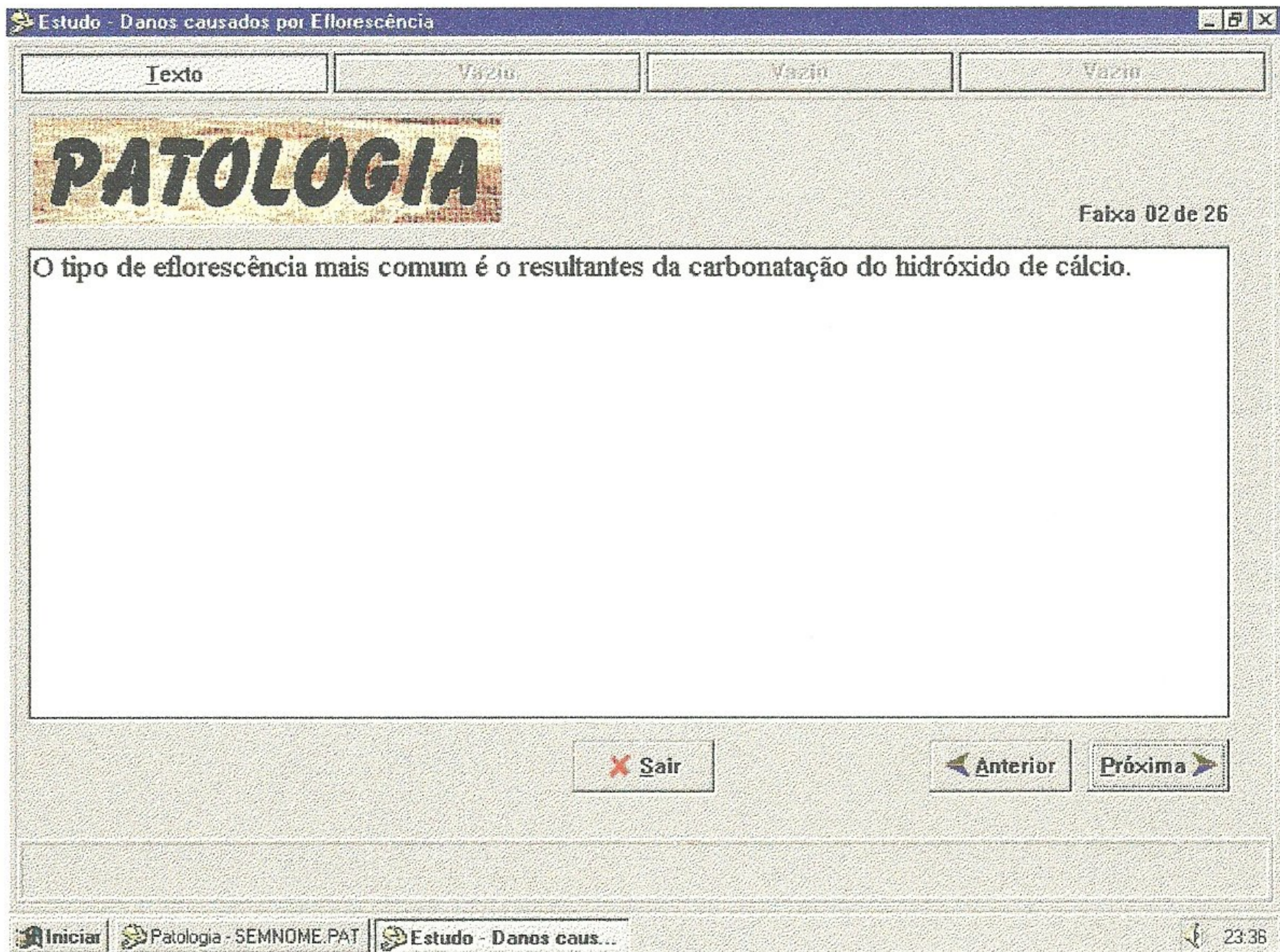


Figura 3.15 - Página 1 da Faixa 1 do item “Danos causados por Eflorescência”.

Nessa primeira *Faixa* do item “Danos causados por Eflorescência” existe somente o componente texto ( ver primeira linha do quadro da figura 3.14 ). Logo, as demais páginas encontram-se desativadas, ou seja, o três últimos botões do selecionador de páginas estão desativados e apresentam a palavra “Vazio”. Note que o botão < Anterior > encontra-se desativado, pois não existe nenhuma *Faixa* anterior a essa.



Para visualizar a próxima **Faixa** do item, basta pressionar o botão < **Próxima** >. A próxima **Faixa** a ser visualizada será a **Faixa** cujo o valor do campo **COD** for igual a 3 e o valor do campo **NÚMERO** for igual a 2. Figura 3.16.

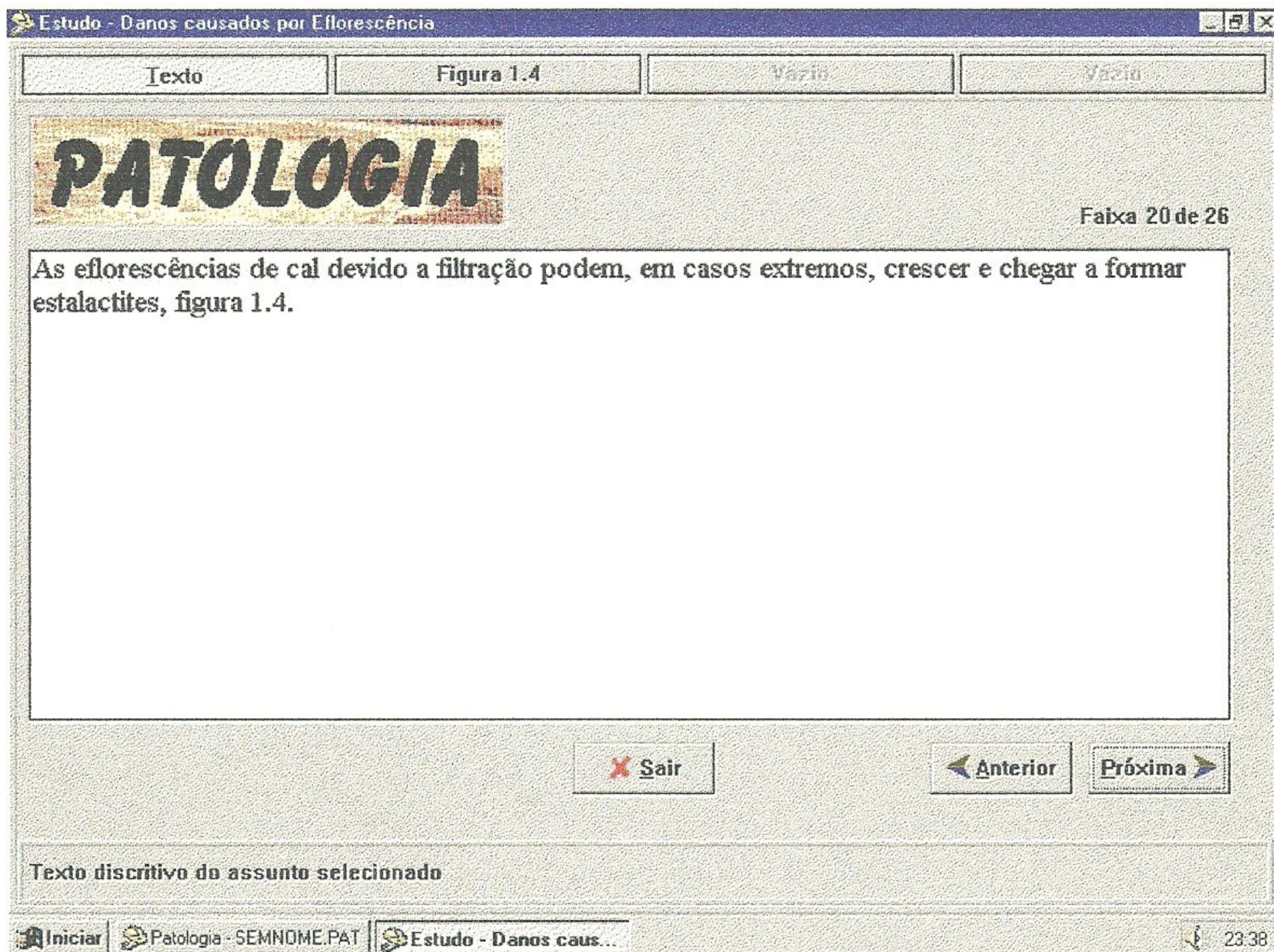


**Figura 3.16 - Página 1 da Faixa 2 do item “Danos causados por Eflorescência”.**

Novamente nessa **Faixa** do item “*Danos causados por Eflorescência*” existe somente o componente texto ( ver segunda linha do quadro da figura 3.14 ). Logo as demais páginas encontram-se desativadas, ou seja, o três últimos botões do selecionador de páginas estão desativados e apresentam a palavra “*Vazio*”. Para retornar à **Faixa** anterior basta pressionar o botão < **Anterior** >.

Pressionando o botão < **Próxima** > até o indicador da **Faixa** registrar “*Faixa 20 de 26*”, a **Faixa** 20, figura 3.17, será visualizada pela tela 11.



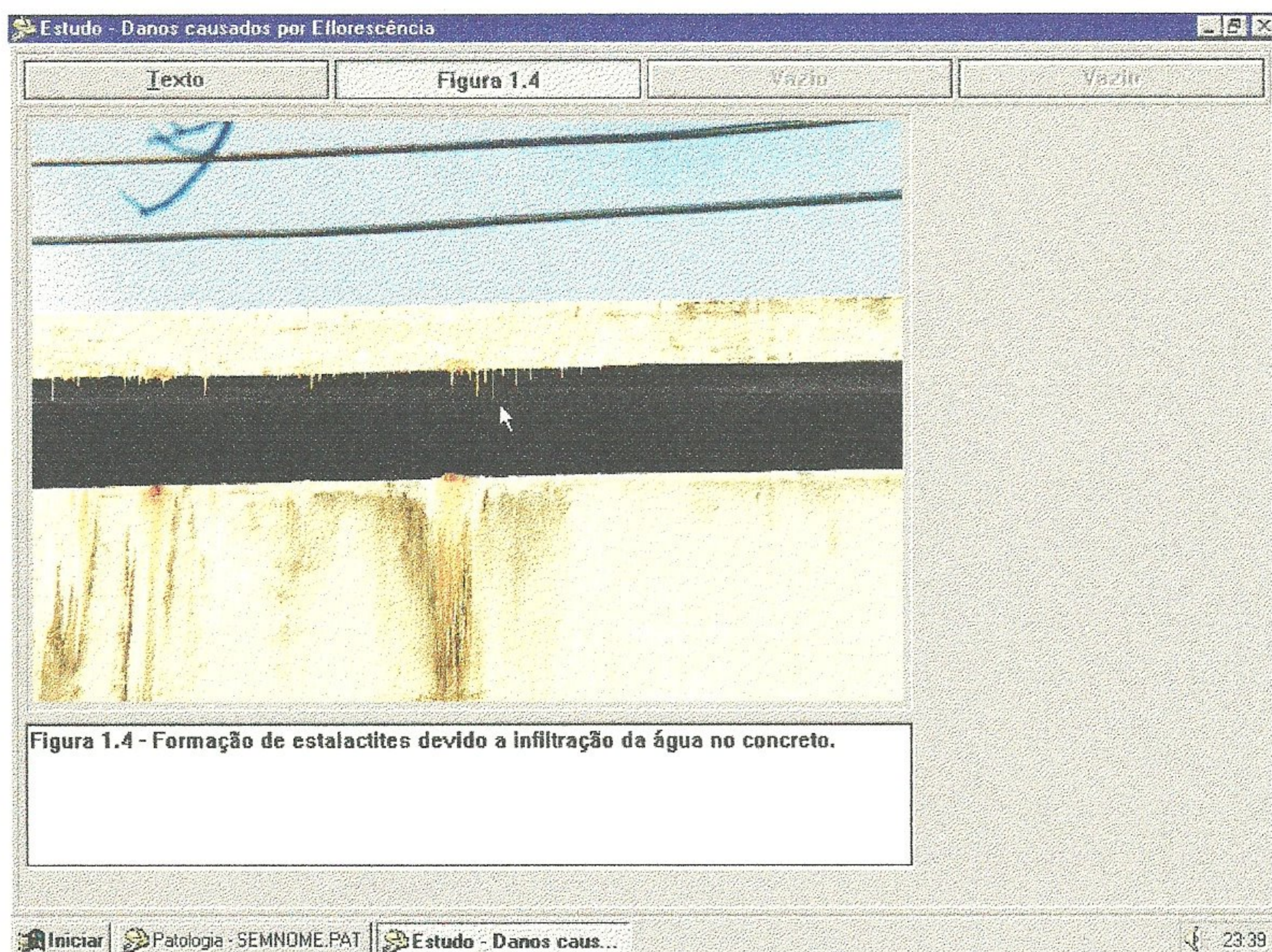


**Figura 3.17 - Página 1 da Faixa 20 do item “Danos causados por Eflorescência”.**

Nessa **Faixa** do item “*Danos causados por Eflorescência*”, como pode ser comprovado através da linha 20 do quadro da figura 3.14, existem dois componentes : um texto e um recurso gráfico. Os dois primeiros botões, do selecionador de páginas, encontram-se ativados, os demais estão desativados, ou seja, os dois últimos botões do selecionador estão desativados e apresentam a palavra “*Vazio*”. A palavra armazenada no campo **NRGP1** da vigésima linha do banco de dados Test, figura 3.14, aparece escrita no segundo botão presente no selecionador de páginas.

Para visualizar o recurso gráfico presente na segunda página dessa **Faixa**, basta pressionar o botão < **Figura 1.4** >. A segunda página da **Faixa 20** será visualizada, figura 3.18.



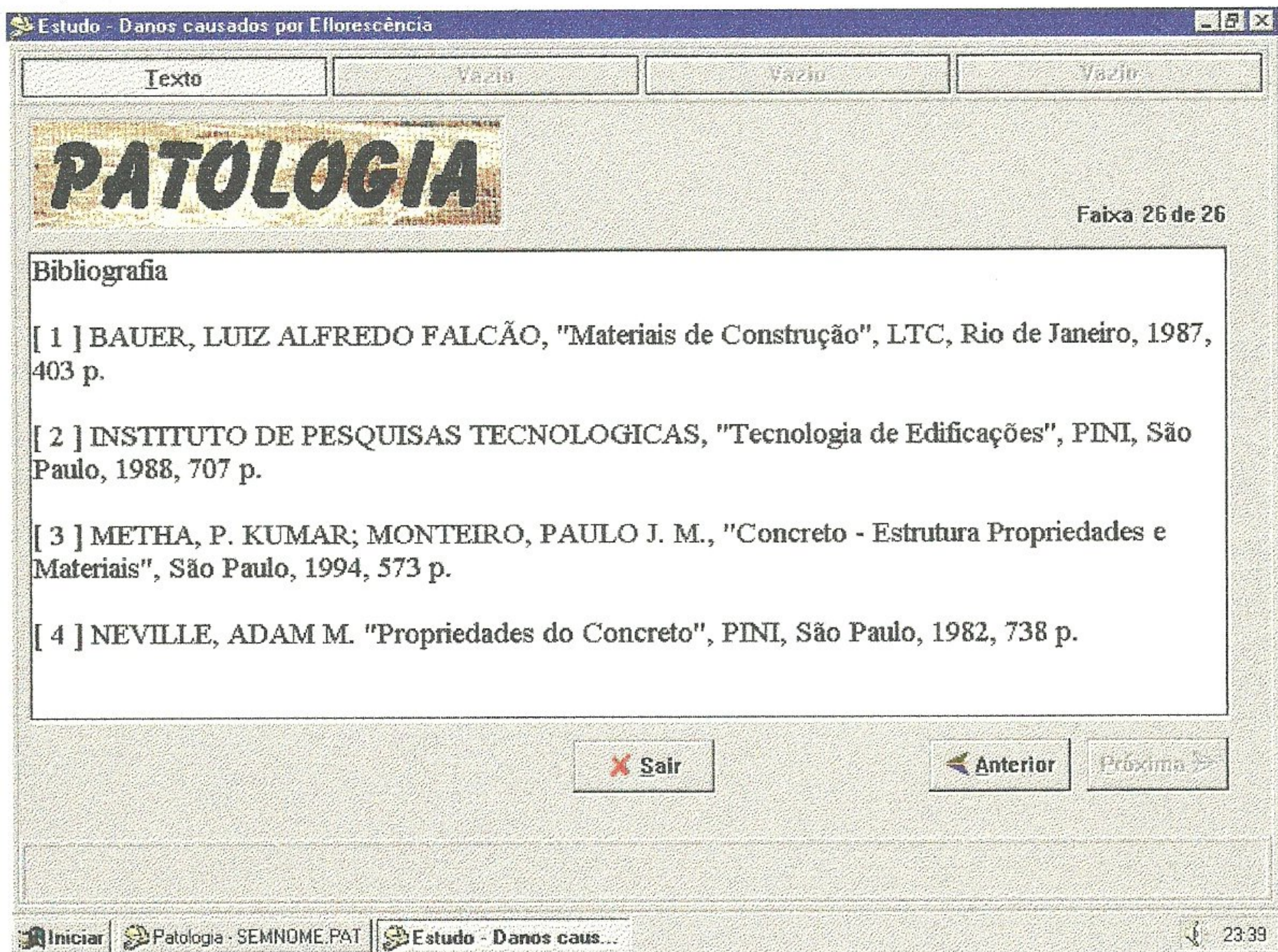


**Figura 3.18 - Página 2 da Faixa 20 do item “Danos causados por Eflorescência”.**

Repare, no selecionador de páginas, que o botão < **figura 1.4** >, encontra-se pressionado indicando ser a página 2 dessa **Faixa** a estar ativa. Ao pressionar o botão < **Texto** > a tela 11 volta a mostrar a primeira página da **Faixa 20**. Nessa página são visualizados o recurso gráfico cujo nome está armazenado no campo **RGP2** e o texto explicativo armazenado no campo **TRGP2**, ambos presentes na vigésima linha do banco de dados Test da figura 3.14.

Pressionando o botão < **Próxima** > até o indicador da **Faixa** registrar “**Faixa 26 de 26**”, a última **Faixa** do item “**Danos causados por Eflorescência**” será visualizada através da **tela 11**, figura 3.19.





**Figura 3.19 - Página 1 da Faixa 26 do item “Danos causados por Eflorescência”.**

Nessa última **Faixa** do item “*Danos causados por Eflorescência*” existe somente o componente texto, ver última linha do quadro da figura 3.14, logo as demais páginas estão desativadas. Note que o botão < **Próxima** > encontra-se desativado uma vez que não existe nenhuma **Faixa** além desta.

Para abandonar o processo de pesquisa basta pressionar o botão < **Sair** >, presente na primeira página de todas as **Faixas**. Isso pode ser feito a qualquer momento, durante o processo de pesquisa.



## **3.11 - Diagnóstico**

### **3.11.1 - Introdução**

O aplicativo **Patologia** tem como um dos objetivos auxiliar o profissional da área de patologia na busca do diagnóstico dos problemas evidenciados em uma estrutura de concreto armado. Para essa tarefa são utilizadas as telas de 3 a 8, figura 3.1 e os bancos de dados enumerados de 5 a 9, mostrados na tabela 3.1.

Na tabela 3.14 estão relacionados os tipos de estruturas e seus respectivos elementos estruturais analisados e armazenados nos bancos de dados do aplicativo. Foram analisados e armazenados nos bancos de dados do aplicativo os sintomas e os diagnósticos mais comuns referentes às estruturas e aos elementos estruturais contidos na tabela 3.14. O usuário poderá, dentre os casos implementados, obter os diagnósticos mais prováveis ocorridos nas estruturas bem como em seus elementos estruturais.

A apresentação das telas e dos bancos de dados visando à obtenção de diagnósticos de problemas patológicos presentes em uma estrutura de concreto armado será feita através de um exemplo. Para esse exemplo vamos supor uma viga pertencente à super estrutura de um edifício com mais de 10 anos de construção, situado em área urbana. Trata-se de uma viga isolada com alvenaria sem carga concentrada ao longo do comprimento. O único carregamento existente sobre a viga é a reação da laje e a carga distribuída da alvenaria existente ao longo de todo o seu comprimento. Há a presença de alvenaria sob a viga também. Essa viga apresenta problemas causando os seguintes sintomas visíveis :

- fissuras aproximadamente verticais no seu terço médio e
- fissuras inclinadas a 45 graus próximas aos apoios.



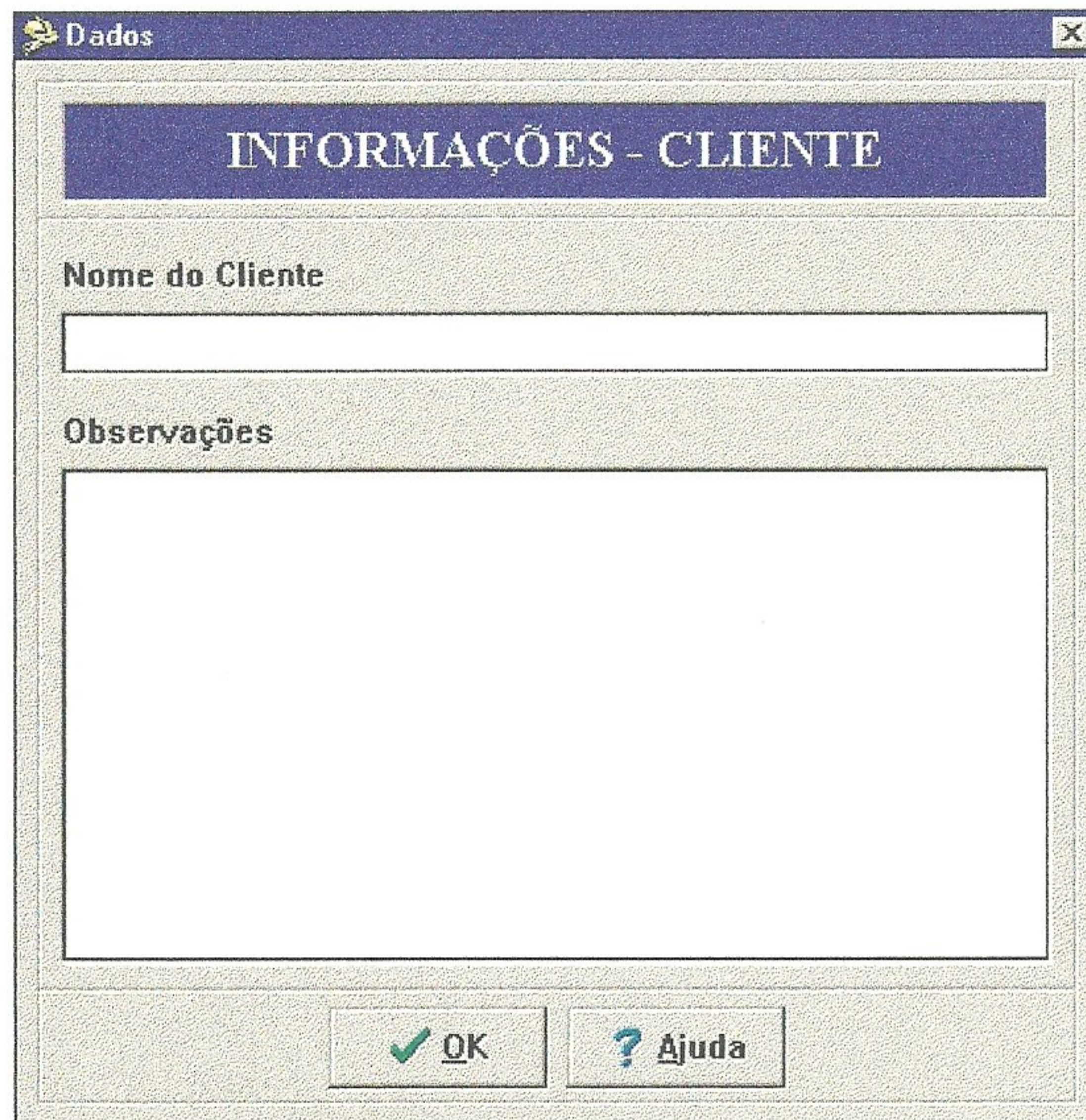
<b>Tipo de Estrutura</b>	<b>Caraterística</b>	<b>Localização Global</b>	<b>Elemento Estrutura I</b>	<b>Característica</b>
Reservatório	Circular / sobre o solo	Super - Estrutura	Geral	-
	Circular / suspenso			
	Retangular / sobre o solo			
	Retangular / suspenso			
Muro	-	Super - Estrutura	Geral	-
Marquise	-	Super - Estrutura	Geral	-
Edifício Convencional	Estruturado	Super - Estrutura	Laje	Convencional
			Alvenaria	Intermediária
				Em contato com o solo
			Viga	Isolada
			Contínua	
	Pilar	-		
	Cobertura	Super - Estrutura	Laje	-
	Não - Estruturado	Super - Estrutura	Laje	Convencional
			Alvenaria	Intermediária
Em contato com o solo				
Pilar			-	
Cobertura			Laje	Convencional
Residência	Estruturada	Super - Estrutura	Laje	Convencional
			Alvenaria	Intermediária
				Em contato com o solo
			Viga	Isolada
			Contínua	
	Pilar	-		
	Cobertura	Super - Estrutura	Laje	Convencional
	Não - Estruturada	Super - Estrutura	Laje	Convencional
			Alvenaria	Intermediária
Em contato com o solo				
Pilar			-	
Cobertura			Laje	Convencional

**Tabela 3.14 - Tipo de estrutura e elementos estruturais analisados pelo aplicativo *Patologia*.**



### 3.11.2 - Introdução dos dados referentes ao usuário

Antes de iniciar o diagnóstico propriamente dito, o usuário pode inserir no relatório final o seu nome ou o nome da empresa requerente e um resumo do problema patológico que o elemento estrutural apresenta, utilizando para isso a **tela 5**, figura 3.20.

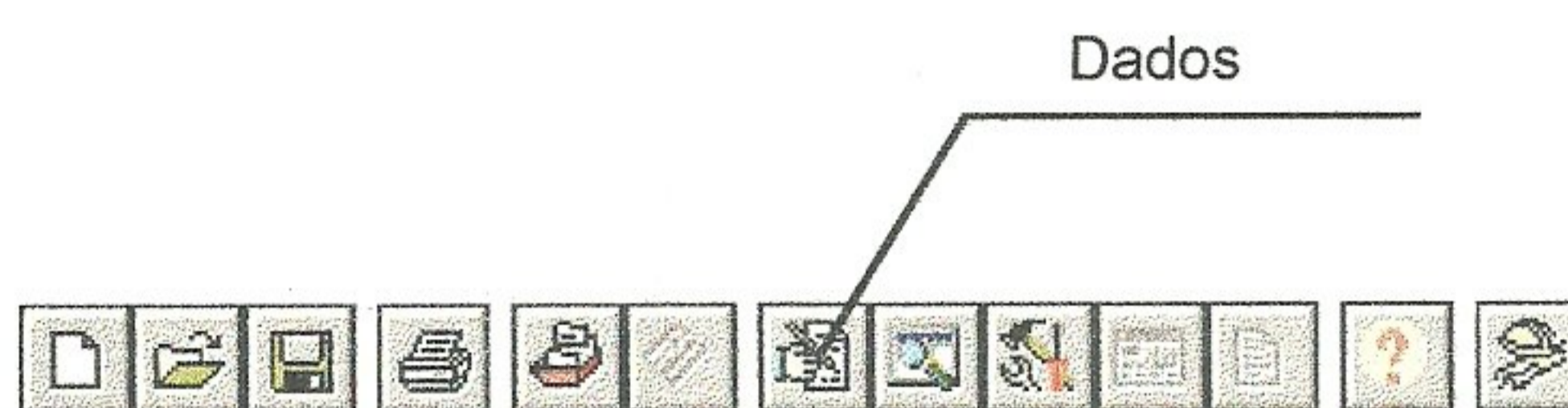


The image shows a screenshot of a software window titled "Dados". The window has a dark blue header bar with the text "INFORMAÇÕES - CLIENTE" in white. Below the header, there are two main sections: "Nome do Cliente" with a single-line text input field, and "Observações" with a larger, empty text area. At the bottom of the window, there are two buttons: "OK" with a green checkmark icon and "Ajuda" with a blue question mark icon. The window title bar includes a close button (X) in the top right corner.

Figura 3.20 - Tela 5 - Dados.



Para selecionar essa tela basta pressionar o sétimo botão presente na barra de tarefa, figura 3.21.



**Figura 3.21 - Botão < Dados > - Barra de tarefa.**

Deve ficar claro que este texto não afetará de forma alguma as fases diagnóstica, da análise ou dos resultados. Trata-se apenas de um texto que o usuário terá a seu dispor, ao final, caso assim o deseje.

Na tabela 3.15 está indicado um exemplo do preenchimento dos quadros presentes na **tela 5**. Esses dados serão considerados para o prosseguimento do exemplo proposto.

Quadro	Texto
Nome do cliente	Renato Martins Grossi
Observações	Carregamento da viga : alvenaria sobre a viga. Presença de fissuras verticais na parte central da viga e inclinadas próximas aos apoios.

**Tabela 3.15 - Exemplo do preenchimento dos quadros da tela 5.**



### 3.11.3 - Identificação do elemento estrutural com problemas patológicos

O usuário irá iniciar o diagnóstico identificando, para o aplicativo, o tipo de estrutura e o elemento estrutural com problemas. A **tela 3**, que foi descrita na figura 3.1, é responsável por essa identificação.

Para selecionar a **tela 3** basta pressionar o oitavo botão presente na barra de tarefa, figura 3.22.



**Figura 3.22 - Botão < Identificação > - Barra de tarefa.**


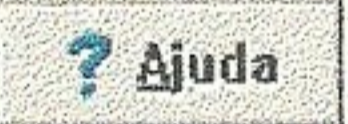
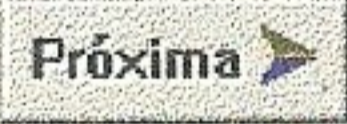
A **tela 3** é composta por duas páginas. A primeira, figura 3.23, é utilizada para a identificação da estrutura e do elemento estrutural com problemas.



Patologia - SEMNOME.PAT

## IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

<h3 style="text-align: center;">Quanto ao Tipo</h3> <p><b>Categoria</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Edifício Convencional</li> <li>Marquise</li> <li>Muro</li> <li>Reservatório</li> <li>Residência</li> </ul> <p><b>Característica Principal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estruturado</li> <li>Não Estruturado</li> </ul>	<h3 style="text-align: center;">Localizada em área</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial</li> <li>Marítima</li> <li>Rural</li> <li>Urbana</li> </ul> <h3 style="text-align: center;">Quanto a Idade</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>em torno de ano</li> <li>entre 1 e 5 anos</li> <li>de 5 a 10 anos</li> <li>mais de 10 anos</li> </ul> <h3 style="text-align: center;">Localização Global</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>Super - estrutura</li> <li>Cobertura</li> </ul>	<h3 style="text-align: center;">Localização Pormenorizada</h3> <p><b>Elemento Estrutural</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alvenaria</li> <li>Geral</li> <li>Laje</li> <li>Pilar</li> <li>Viga</li> </ul> <p><b>Característica Principal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contínua</li> <li>Isolada</li> </ul>
---	---	---

Identifique, utilizando os quadros presentes, a estrutura e o elemento estrutural com problemas patológicos

Iniciar | 
 Patologia - SEMNOME.PAT | 
 Patologia - SEMNOM...
10:36

**Figura 3.23 - Página 1 da tela 3.**

Através dessa página a estrutura é classificada segundo os seguintes critérios : “quanto ao tipo”, “localizada em área” e “quanto a idade”. Já o elemento estrutural é identificado segundo sua localização global e pormenorizada.

Após ter sido concluída esta identificação, deve-se pressionar o botão < **Próxima** >, presente na página 1 dessa tela, para prosseguir com a identificação. Ao pressionar esse botão o aplicativo passará para a segunda página da **tela 3** figura 3.24.



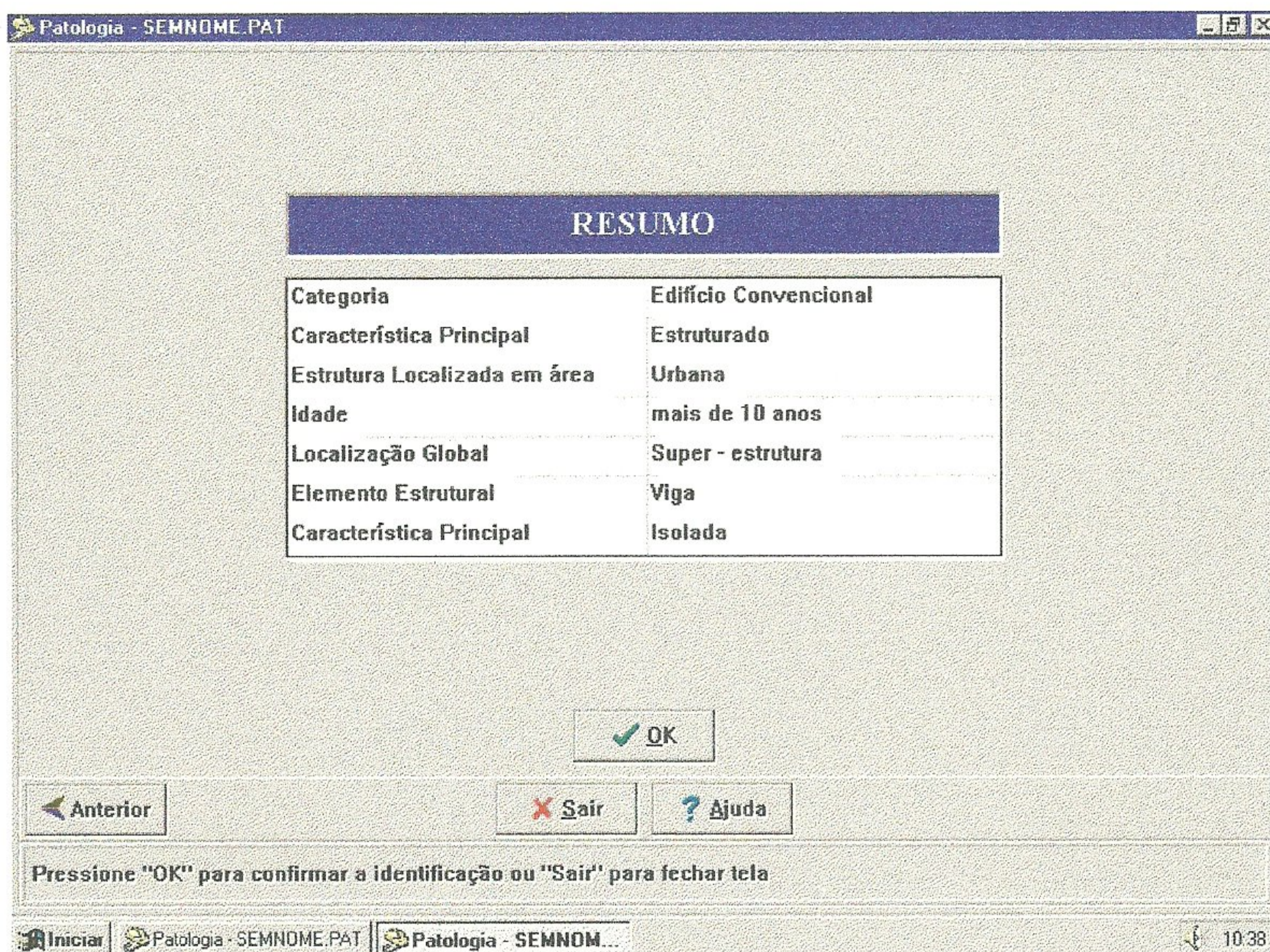


Figura 3.24 - Página 2 da tela 3.

A página 2 da **tela 3** é formada basicamente por quadro com o resumo de todos dos dados selecionados através da página anterior. Caso o usuário queira alterar algum dos dados selecionados, que julgue ter sido escolhido incorretamente, basta voltar para a página anterior utilizando o botão < **Anterior** > presente nessa página, modificar os dados e retornar à página 2 novamente.

No centro da tela, abaixo do quadro, existem três botões : < **OK** >, < **Sair** > e < **Ajuda** >. O terceiro botão será abordado em outro item. Ao pressionar o botão < **OK** >, o aplicativo será informado sobre os dados presentes no quadro resumo presente na página 2 da **tela 3**. Caso seja pressionado o botão < **Sair** >, a **tela 3** será desativada e o aplicativo não terá conhecimento da identificação presente no quadro de resumo.



### 3.11.3.1 - Banco de dados

Na **tela 3** são utilizados dois bancos de dados. Os bancos de dados Caso e Slist. Nas tabelas 3.16 e 3.17 estão indicadas as estruturas de dados desses dois bancos, respectivamente.

Campos	
Nome	Tipo
Item	String
Numero	Integer

**Tabela 3.16 - Estrutura de dados do banco de dados *Caso*.**

Campos	
Nome	Tipo
Numero	Integer
Quantidade	Short
Comb	Short

**Tabela 3.17 - Estrutura de dados do banco de dados *Slist*.**

O banco de dados Caso apresenta, dois campos :

- o campo *ITEM* armazena um texto numérico que corresponderá a um código e
- no campo *NÚMERO* é armazenado o código do caso selecionado.

O banco de dados Slist apresenta, três campos :

- o campo *NÚMERO* contém o código de acesso às perguntas que serão feitas visando a diagnosticar o problema patológico,



- o campo *QUANTIDADE* contém o número total de perguntas que serão feitas ao usuário e
- no campo *COMB* é armazenado um valor que indica o número de combinações possíveis para esse caso, ou seja, o número de diagnósticos prováveis para o caso selecionado.

### 3.11.3.2 - Exemplo

Nos quadros presentes na página 1 da **tela 3**, figura 3.23, foram selecionados os seguintes itens indicados na tabela 3.18.

Classificação	Item Selecionado	Número Correspondente
<b>Quanto ao tipo</b>	-	
Categoria	Edifício Convencional	1
Característica principal	Estruturado	1
<b>Localizada em área</b>	Urbana	4
<b>Quanto a idade</b>	mais de 10 anos	5
<b>Localização Global</b>	Super - Estrutura	1
<b>Localização Pormenorizada</b>	-	-
Elemento estrutural	Viga	5
Característica Principal	Isolada	2

**Tabela 3.18 - Resumo dos itens selecionados na página 1 da tela 3.**

A terceira coluna indica, para cada quadro presente na página 1 da **tela 3**, a posição do item selecionado. Exemplo : no quadro 1, "*Categoria*", o item selecionado foi o primeiro, logo o valor contido na coluna 3 da tabela 3.18 é igual 1.

Os valores contidos na última coluna da tabela 3.18 é armazenado na variável **AUX**, do tipo string ( texto ). Nesse caso, o valor armazenado na variável é o seguinte :



**01010405010502**

Cada grupo de dois dígitos corresponde a um dos itens seleccionados, ou seja cada grupo de 2 dígitos pode variar de **00**, caso não haja item disponível no quadro presente na página 1 da **tela 3**, a 99.

Ao pressionar o botão **< OK >** contido na página 2 da **tela 3**, figura 3.24, o aplicativo será informado da escolha dos itens feita através da **tela 3**.

O valor contido na variável **AUX**, 01010405010502, é comparado com os valores contidos no campo **ITEM** do banco de dados Caso. Parte dos valores armazenados em Caso estão listados na figura 3.25. O valor contido no campo **NÚMERO**, correspondente ao valor contido no campo **ITEM** é armazenado na variável **DIAGNUMERO** do aplicativo, trata-se do código do elemento estrutural com problemas patológicos seleccionado. Nesse exemplo o valor armazenado em **DIAGNUMERO** é igual a 4, ver figura 3.25.

CASO	Item	Numero
1	01010101010101	2
2	01010101010201	7
3	01010403010102	3
4	01010405010502	4
5	01020302020101	8

---

**Figura 3.25 - Parte do banco de dados *Caso*.**

O valor contido na variável **DIAGNUMERO** é então comparado como o campo **NUMERO** do banco de dados Slist, figura 3.26 e mais duas informações são passadas para o aplicativo :

- a quantidade total de perguntas que poderão ser feitas pelo software e
- o número diagnósticos possíveis para esse elemento.



Esse dois valores são armazenados respectivamente nas variáveis **DIAGQUANT** e **DIAGCOMB**. Nesse exemplo, os valores passados são 21 e 9 respectivamente, ver figura 3.26.

Os valores contidos nos campos **QUANTIDADE** e **COMB** foram limitados da seguinte forma :

- o valor contido no campo **QUANTIDADE** pode variar de 1 a 30, ou seja para a obtenção dos diagnósticos referentes a um elemento estrutural com problemas 30 perguntas, no máximo, poderão ser feitas;
- o valor contido no campo **COMB** pode variar de 1 a 10, ou seja, para cada elemento estrutural analisado poderá ter no máximo 10 diagnósticos prováveis.

Esses limites podem ser modificados caso necessário.

SLIST	Numero	Quantidade	Comb
1	1,00	21	8
2	2,00	22	10
3	3,00	18	7
4	4,00	21	9
5	5,00	26	10

---

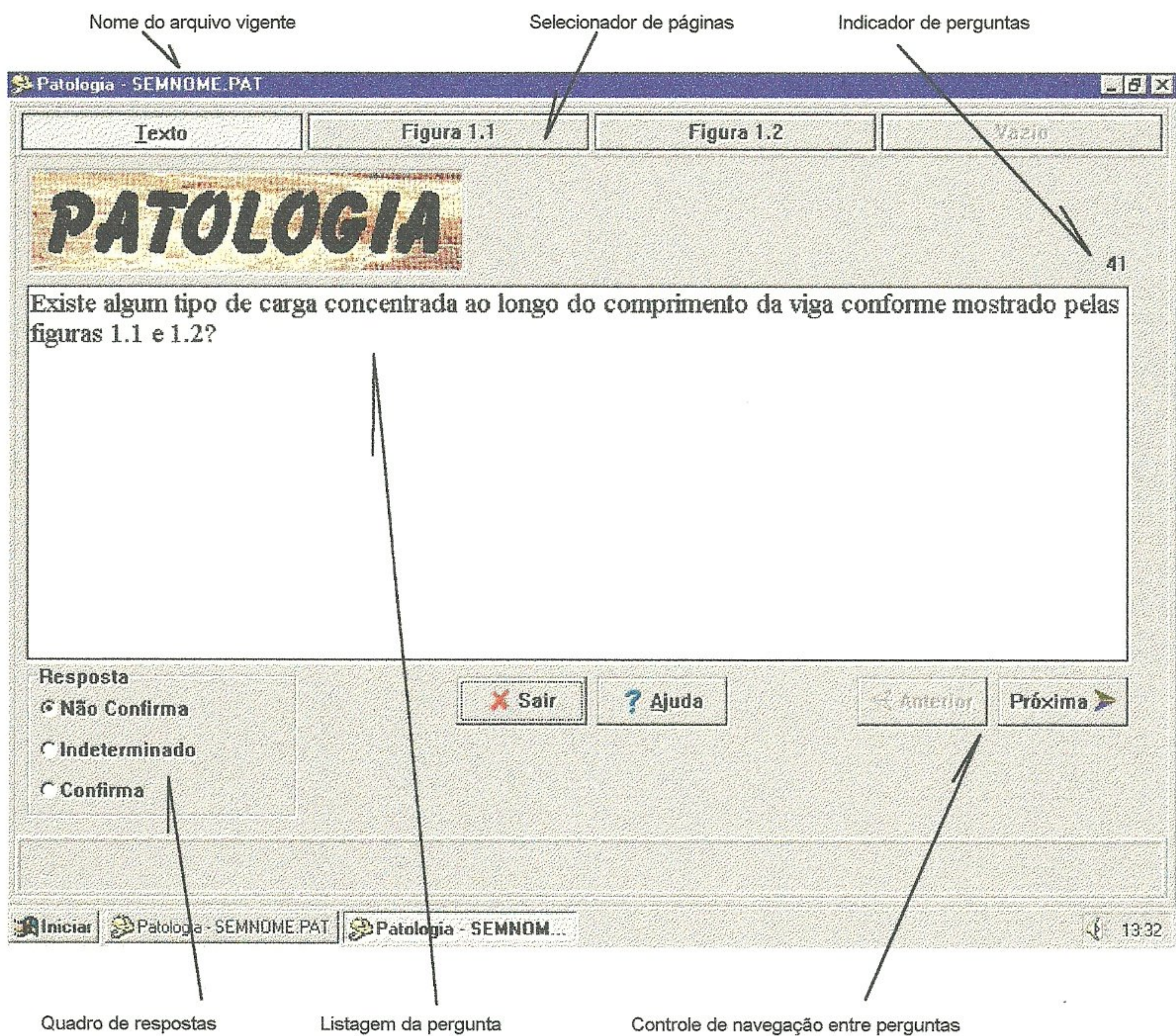
**Figura 3.26 - Parte do banco de dados *Slist*.**



### 3.11.4 - Diagnóstico

#### 3.11.4.1 - Procedimentos

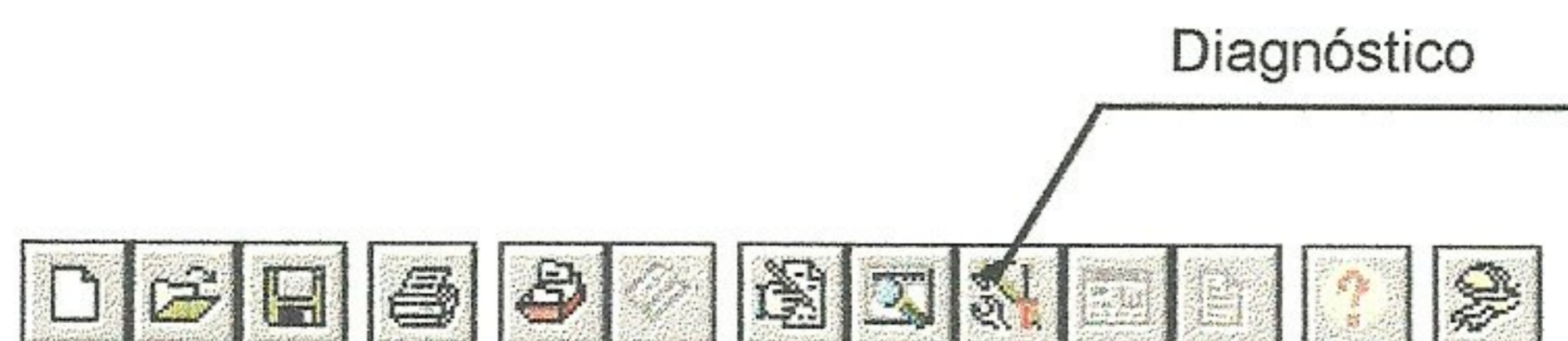
Ao terminar a identificação, a **tela 6**, figura 3.27 poderá ser selecionada, pois tornar-se-á ativa.



**Figura 3.27 - Tela 6 - Diagnóstico do problema patológico.**



Para selecionar essa tela basta pressionar o nono botão presente na barra de tarefa, figura 3.28.



**Figura 3.28 - Botão < Diagnóstico > - Barra de tarefa.**

Essa tela é similar à **tela 11** mostrada pela figura 3.11 no item 3.10.3.1. A única diferença é a presença de um quadro de repostas com três opções para ser utilizado pelo usuário. O usuário lerá a pergunta listada no quadro central da **tela 6** e responderá, utilizando o quadro de repostas. As repostas possíveis são :

- *Não Confirma*
- *Indeterminado*
- *Confirma*

A opção indeterminado deve ser selecionada caso exista alguma dúvida quanto à veracidade da informação contida na pergunta listada no quadro central. Futuramente a resposta dada a essa pergunta poderá ser alterada.

Para prosseguir para a próxima pergunta ou retornar uma pergunta, basta pressionar respectivamente os botões < **Próxima** > e < **Anterior** >.

Existe um indicador da pergunta visualizada pela tela 6. Esse indicador é composto do código do elemento estrutural selecionado através da **tela 3** e a ordem da pergunta armazenada no banco de dados do aplicativo. Esse indicador serve, tão somente, com auxílio para o usuário na busca de uma pergunta.



A utilização dos componentes presentes nessa tela são idênticos aos contidos na **tela 11**, descrita através do item 3.10.3.1. Logo os procedimentos contidos naquele item não serão repetidos aqui.

### 3.11.4.2 - Banco de dados

Na tela 6 é utilizado somente o banco de dados Plist. Na tabela 3.19 está indicada a estrutura de dados desse banco de dados.

Campos	
Nome	Tipo
Cod	Integer
Numero	Short
Depende	Short
Pergunta	Memo
RGP1	String
RGP2	String
RGP3	String
NRGP1	String
NRGP2	String
NRGP3	String
TRGP1	Memo
TRGP2	Memo
TRGP3	Memo

**Tabela 3.19 - Estrutura de dados do banco de dados *Plist*.**

Esse banco de dados apresenta, 11 campos :

- No campo **COD** é armazenado o código de identificação do elemento estrutural com problemas patológicos, obtido através da **tela 3**, figuras 3.23 e 3.24.
- No campo **NUMERO** é armazenado o número de perguntas referentes ao elemento estrutural selecionado.



- O campo *DEPENDE* indica se existe alguma pergunta, posterior a esta, que depende de sua resposta para ser ativada.
- O campo *PERGUNTA* contem um texto ( pergunta ) sobre o elemento estrutural selecionado.
- Os campos *RGP1*, *RGP2* e *RGP3* podem conter, cada um, um nome de um recurso gráfico armazenado fora do banco de dados, no disco rígido ou “*winchester*” do micro. Esses recursos gráficos visam esclarecer qualquer dúvida com relação à pergunta armazenada no campo *PERGUNTA*.
- Os campos *NRGP1*, *NRGP2* e *NRGP3* podem conter, cada um, uma palavra que será escrita, respectivamente, nos três últimos botões presentes no selecionador de páginas. Caso qualquer um desses campos estiver vazio, ou seja, sem uma palavra armazenada, o botão correspondente no selecionador de páginas, apresentará a palavra “*Vazio*”,
- Os três últimos campos, *TRGP1*, *TRGP2* e *TRGP3*, podem conter, cada um, um texto explicativo sobre os recursos gráficos contidos nos campos *NRGP1*, *NRGP2* e *NRGP3*.

#### 3.11.4.3 - Exemplo

Após concluída a identificação da estrutura e do elemento estrutural feita através da tela 3, os valores armazenados nas variáveis **DIAGNUMERO**, **DIAGQUANT** e **DIAGCOMB** são respectivamente 4, 21 e 9.

Para armazenar as respostas às perguntas feitas pelo aplicativo, foi criada uma variável chamada **DIAGRESP**. Ela foi declarada no programa da seguinte forma :

***DiagResp : array [1..30,1..3] of byte;***



Essa variável equivale a uma matriz de 30 linhas com 3 colunas. A terceira coluna é reservada às respostas das perguntas feitas pelo software. As funções das duas primeiras colunas serão explicadas no decorrer do exemplo. Os valores possíveis para cada componente da terceira coluna estão indicados na tabela 3.20.

<b>Respostas</b>	<b>Valor armazenado</b>
Não Confirma	0
Indeterminado	1
Confirma	2

---

**Tabela 3.20 - Valores correspondentes para cada resposta dada pelo usuário.**

Quando a **tela 6**, figura 3.27 é ativada pela primeira vez, todos os componentes da terceira coluna da variável **DIAGRESP** apresentam como valor default ( inicial ) o valor 0, ou seja, como se todas as respostas às perguntas fossem respondidas com “*Não Confirma*”.

Os valores das duas outras colunas são preenchidos de acordo com os valores armazenados no banco de dados Plist. Na figura 3.29 é mostrada a parte do banco de dados Plist referente ao elemento estrutural selecionado através da **tela 3**, ou seja, todos os itens cujo o campo **COD** apresente o valor igual a 4.



FLIST	Cod	Numero	Depende	Pergunta	RGP1	RGP2	RGP3	NRGP1	NRGP2	NRGP3	TRGP1	TRGP2	TRGP3
18	4	1	99	Existe algum tipo de carga conc. fig003	fig004			Figura 1.1	Figura 1.2		Figura 1.1 -	Figura 1.2 -	
19	4	2	1	Abaixo desse ponto de aplicação fig005	fig006			Figura 1.3	Figura 1.4		Figura 1.3 -	Figura 1.4 -	
20	4	3	1	Sendo o apoio de uma outra viga fig004	fig007			Figura 1.2	Figura 1.5		Figura 1.2 -	Figura 1.5 -	
21	4	4	99	Existe alvenaria acima ou abaixo	fig010	fig011		Figura 1.6	Figura 1.7	Figura 1.8	Figura 1.6 -	Figura 1.7 -	Figura 1.8 -
22	4	5	4	Essa alvenaria apresenta fissura fig009									
23	4	6	4	Observa-se uma deformação exc.				Figura 1.9			Figura 1.9 -		
24	4	7	0	A viga apresenta fissuras aproxir Foto218				Figura 1.10			Figura 1.10 -		
25	4	8	0	A viga apresenta fissuras inclinadas Foto219				Figura 1.11			Figura 1.11 -		
26	4	9	0	Há fissuras horizontais no topo d Foto220									
27	4	10	0	O concreto utilizado para a confe				Figura 1.12			Figura 1.12		
28	4	11	99	Existem fissuras ao longo da arm fig008									
29	4	12	11	Existem manchas avermelhadas									
30	4	13	11	As armaduras da viga apresentam Foto214				Figura 1.13			Figura 1.13 -		
31	4	14	11	O local onde situa-se a estrutur									
32	4	15	11	Na atmosfera ou na superfície da									
33	4	16	11	A armadura principal e dos estrit									
34	4	17	0	O valor do espaçamento entre os									
35	4	18	0	A quantidade de armadura principl									
36	4	19	99	Existem fissuras verticais ou ire Foto216	Foto217			Figura 1.14	Figura 1.15		Figura 1.14 -	Figura 1.15 -	
37	4	20	19	Essa viga encontra-se sob efeito									
38	4	21	0	Na viga existem fissuras inclinad Foto322				Figura 1.16			Figura 1.16 -		

Figura 3.29 - Banco de dados *Plist*.



Na tabela 3.21 são mostrados os valores armazenados nos componentes da variável **DIAGRESP** após a tela 6 ter sido ativada pela primeira vez.

<b>Componente ( pergunta )</b>	<b>Coluna 1</b>	<b>Coluna 2</b>	<b>Coluna 3</b>
1	99	1	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	99	1	0
5	4	0	0
6	4	0	0
7	0	1	0
8	0	1	0
9	0	1	0
10	0	1	0
11	99	1	0
12	11	0	0
13	11	0	0
14	11	0	0
15	11	0	0
16	11	0	0
17	0	1	0
18	0	1	0
19	99	1	0
20	19	0	0
21	0	1	0

**Tabela 3.21 - Valores armazenados nos componentes da variável *DiagResp* após a tela 6 ter sido ativada pela primeira vez.**

Os componentes da variável **DIAGRESP** enumerados de 22 a 30 não aparecem na tabela 3.21, pois não serão utilizados durante o processo de elaboração dos diagnósticos.



Comparando-se os valores contidos na tabela 3.21 com os valores armazenados no campo *DEPENDE* contido no banco de dados Plist, figura 3.29 nota-se que :

- a coluna 1 é preenchida com os valores armazenados no campo *DEPENDE* contido em Plist;
- a coluna 2 é preenchida de acordo com a coluna 1, ou seja, quando o valor contido na coluna 1 é igual a 0 ou 99 o valor armazenado na coluna 2 é igual a 1, caso contrário a coluna 2 é preenchida com o valor 0.

A coluna 2 indica ao aplicativo se a pergunta está ou não disponível para ser feita ao usuário. As perguntas cujo valor armazenado na coluna 2 é igual a 1 estão disponíveis, já as demais ficam na dependência da resposta de outras perguntas para poderem ser ativadas.

A coluna 1 indica essa dependência. No caso desse exemplo, as perguntas 1, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 17, 18, 19 e 21 não dependem de nenhuma outra pergunta para serem ativadas, pois os valores armazenados na coluna 1, de cada pergunta, são iguais a 0 ou 99 e os valores correspondentes a coluna 2 são iguais a 1.

O valor 99 presente na coluna 1 das perguntas 1, 4, 11 e 19, tabela 3.21, meramente informa ao aplicativo que existem perguntas, a seguir, que dependem das suas respostas para serem ativadas. Por exemplo :

A coluna 1 da pergunta 1 apresenta o valor 99, logo existem perguntas que dependem da resposta dada à pergunta 1 para serem ativadas. Essas perguntas seriam todas aquelas cujo valor armazenado na coluna 1 for igual a 1, ou seja, as perguntas 2 e 3. Se a primeira pergunta for respondida como sendo diferente de “*Não Confirma*”, ou seja, valor armazenado na coluna 3 diferente de 0, as perguntas 2 e 3 serão ativadas pelo aplicativo trocando o valor 0, armazenados na coluna 2 de cada uma pelo valor 1. Caso contrário, a próxima pergunta feita pelo aplicativo, após a pergunta 1, será a pergunta 4. O mesmo acontece com as perguntas 5 e 6 que dependem da resposta à pergunta 4; com



as perguntas 12, 13, 14, 15 e 16 que dependem da resposta à pergunta 11 e com a pergunta 20 que depende da resposta à pergunta 19.

Na figura 3.30 é mostrado um fluxograma do processo de elaboração das perguntas ( **tela 6** ), onde fica mais claro o significado dos valores contidos na tabela 3.21.



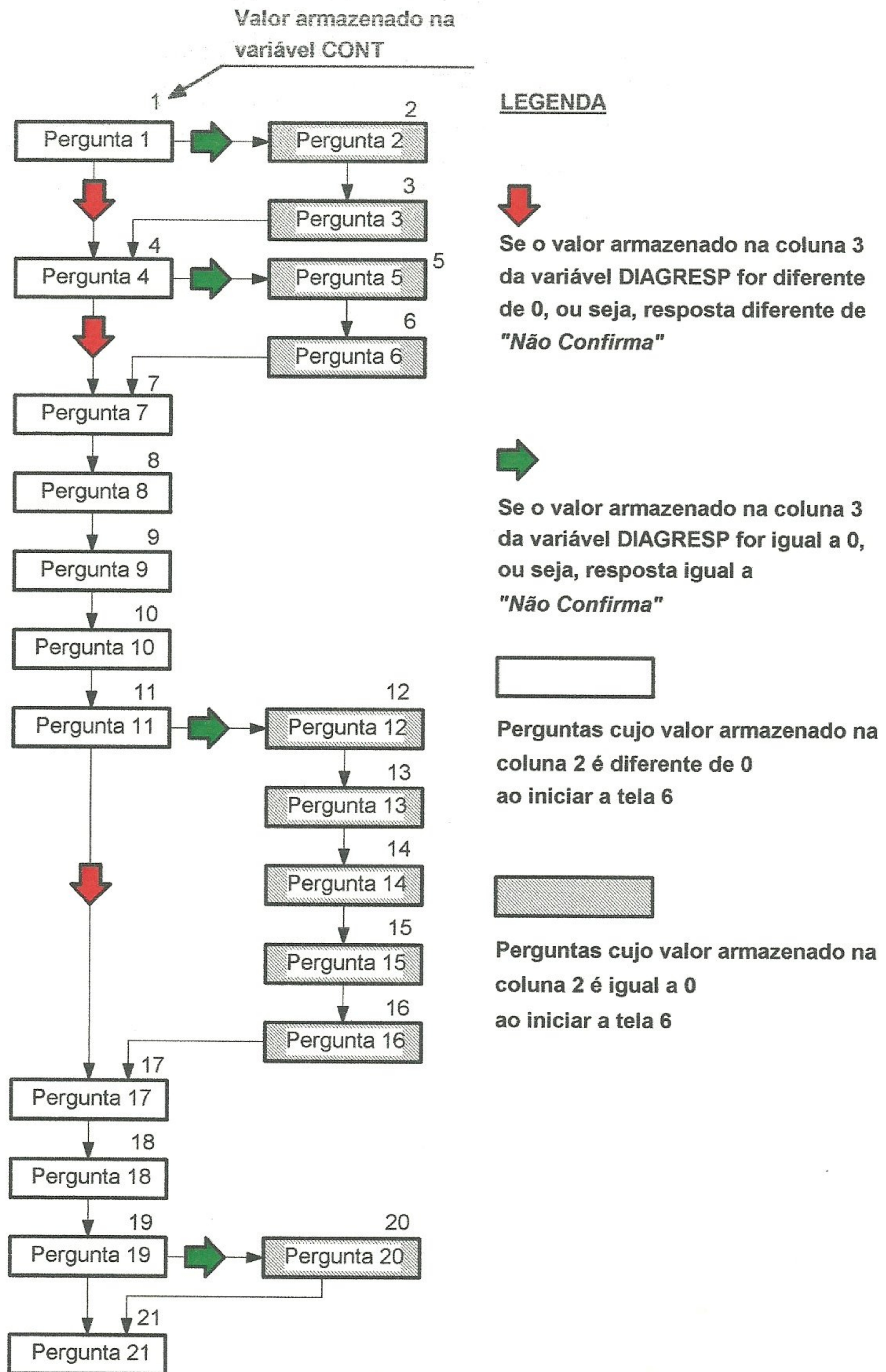


Figura 3.30 - Fluxograma do processo de elaboração das perguntas ( tela 6 ).



Esse fluxograma funciona da seguinte forma :

Será criado um contador chamado **CONT**, ele representa o número da pergunta que está sendo feita pelo aplicativo. ( o indicador presente na **tela 6** ). No fluxograma da figura 3.30, esse valor está indicado pelo número acima de cada pergunta, à direita.

#### **CONT = 1**

A pergunta 1 é mostrada pelo aplicativo. A resposta é feita através do quadro de respostas. O valor da resposta é armazenado na coluna 3, linha 1, da variável **DIAGRESP**. Para passar para a próxima pergunta basta pressionar o botão < **Próxima** >, contido na **tela 6**. Ao pressionar o botão < **Próxima** > o aplicativo verifica se existe alguma pergunta que depende da resposta dada à pergunta 1, ou seja, verifica o valor armazenado na coluna 1, linha 1 da variável **DIAGRESP** ( primeira pergunta ). Nesse caso existe, pois o valor armazenado é igual a 99. Se o valor armazenado na coluna 3, linha 1 da variável **DIAGRESP** for diferente de 0, o aplicativo ativará todas as perguntas cujo valor contido na coluna 1, linha 1 seja igual ao contador, trocando os valores armazenados na coluna 2 dessas perguntas de 0 para 1. Consequentemente as perguntas 2 e 3 serão as próximas a serem feitas, ou seja, **CONT** variando de 2 a 3. Caso contrário o contador passará a valer 4.

#### **CONT = 2**

Se o valor contido na segunda coluna 2, linha 2 da variável **DIAGRESP** for igual a 1 a pergunta 2 será mostrada pelo aplicativo, caso contrário o contador passará para a pergunta seguinte, pergunta 3. Sendo esse valor igual a 1 a pergunta 2 é feita pelo aplicativo e a resposta é feita através do quadro de respostas. O valor da resposta é armazenado na coluna 3, linha 2, da variável **DIAGRESP**. Ao pressionar o botão < **Próxima** >, para passar para a próxima pergunta, o aplicativo verifica se existe alguma pergunta que depende da resposta dada à pergunta 2. Nesse caso não existe, pois o valor



armazenado na coluna 1 linha 2 da variável **DIAGRESP** é igual a 1. O contador é incrementado.

Para **CONT** igual a **3, 5, 6, 12, 13, 14, 15, 16 e 20** o procedimento é idêntico ao descrito quanto **CONT = 2**.

Para **CONT** igual a **4, 11 e 19** o procedimento é idêntico ao descrito quanto **CONT = 1**.

Para **CONT** igual a **7, 8, 9, 10, 17 e 18** o procedimento é idêntico ao descrito quanto **CONT = 2**. A única diferença é que o valor armazenado na coluna 1 da variável **DIAGRESP**, dessas perguntas é igual a 0.

Para **CONT** igual a **21** o procedimento idêntico ao descrito quanto **CONT = 2**. A única diferença é que o valor armazenado na coluna 1 linha 21 da variável **DIAGRESP** é igual a 0. O contador não será mais incrementado.

Na tabela 3.22 estão listadas todas as perguntas contidas no aplicativo referente ao elemento estrutural e as respostas de acordo com os sintomas descritos no item 3.11.1.



<b>N<sup>12</sup></b>	<b>D<sup>13</sup></b>	<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>
41		Existe algum tipo de carga concentrada ao longo do comprimento da viga conforme mostrado pelas figuras 1.1 e 1.2?	Não Confirma
42	1	Abaixo desse ponto de aplicação da carga concentrada existem fissuras semelhantes às presentes nas figuras 1.3 e 1.4?	-
43	1	Essa carga concentrada é devida ao apoio de uma outra viga conforme mostrado pela figura 1.2?	-
44		Existe alvenaria acima ou abaixo dessa viga?	Confirma
45	4	Essa alvenaria apresenta fissuras similares às indicadas pelas figuras 1.6, 1.7 e 1.8?	Não Confirma
46	4	Observa-se uma deformação excessiva da viga?	Não Confirma
47		A viga apresenta fissuras aproximadamente verticais no seu terço médio, conforme mostrado pelas figuras 1.9?	Confirma
48		A viga apresenta fissuras inclinadas a 45° próximas aos apoios conforme ilustrado nas figuras 1.10?	Confirma
49		Há fissuras horizontais no topo da viga? Figuras 1.11.	Não Confirma
410		O concreto utilizado para a confecção da viga apresenta resistência à compressão inferior à especificada no projeto?	Indeterminado
411		Existem fissuras ao longo da armadura principal ou dos estribos da viga, tornando a superfície do concreto toda irregular conforme a figura 1.12?	Não Confirma
412	11	Existem manchas avermelhadas ao longo dessas fissuras?	-
413	11	As armaduras da viga apresentam um aspecto semelhante ao mostrado pela figura 1.13?	-
414	11	O local, onde situa-se a estrutura, apresenta umidade relativa do ar variando entre 40% e 80%?	-
415	11	Na atmosfera ou na superfície da estrutura há a evidência da existência de sais nocivos ao concreto tais como os sais de magnésio, sódio, potássio, sulfatos e etc?	-
416	11	A armadura principal e a dos estribos apresentam cobrimento mínimo exigido pela norma NB-1?	-
417		O valor do espaçamento entre os estribos é superior ao especificado pelo projeto?	Não Confirma
418		A quantidade armadura principal ou de estribos é inferior ao especificado em projeto?	Indeterminado
419		Existem fissuras verticais ou irregulares, na superfície da viga, ao longo de seu comprimento conforme mostrado através das figuras 1.14 e 1.15?	Não Confirma
420	19	Essa viga encontra-se sob efeito da insolação térmica?	-
421		Na viga existem fissuras inclinadas a 45° conforme mostrado nas figuras 1.16?	Não Confirma

**Tabela 3.22 - Lista das perguntas feitas pelo aplicativo e as respectivas respostas.**

<sup>12</sup> Valor mostrado pelo indicador presente na tela 6.

<sup>13</sup> Mostra a dependência entre as perguntas.



Somente as perguntas selecionadas na tabela 3.22 foram feitas pelo aplicativo, as demais não foram ativadas. De acordo com essas respostas os valores finais, armazenados na variável **DIAGRESP** estão indicados na tabela 3.23.

Componente ( pergunta )	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3
1	99	1	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	99	1	2
5	4	1	0
6	4	1	0
7	0	1	2
8	0	1	2
9	0	1	0
10	0	1	1
11	99	1	0
12	11	0	0
13	11	0	0
14	11	0	0
15	11	0	0
16	11	0	0
17	0	1	0
18	0	1	1
19	99	1	0
20	19	0	0
21	0	1	0

**Tabela 3.23 - Valores armazenados nos componentes da variável *DiagResp* após a ter sido respondido as perguntas.**

A qualquer momento o procedimento descrito nesse item pode ser abandonado, basta pressionar o botão < Sair >. Ao pressionar esse botão as respostas serão processadas pelo aplicativo e o a tela 6 será desativada, retornado assim para a tela principal.



### 3.11.5 - Visualização da análise do diagnóstico

#### 3.11.5.1 - Procedimentos

Para visualizar o resultado da análise feita pelo aplicativo através das respostas dadas às perguntas feitas, basta pressionar o décimo botão presente na barra de tarefa, figura 3.31.



**Figura 3.31 - Botão < Resultados > - Barra de tarefa.**

Pressionado esse botão a tela 7, figura 3.32, será ativada.



Patologia - SEMNOME.PAT

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

RESUMO		RESPOSTAS	
Categoria	Edifício Convencional	Resposta	Quantidade
Característica Principal	Estruturado	Não Confirma	8
Localizada em área	Urbana	Indeterminado	2
Idade	mais de 10 anos	Confirma	3
Localização Global	Super - estrutura	Total	13
Elemento Estrutural	Viga	<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Ajuda"/>	
Característica Principal	Isolada		

### DIAGNÓSTICOS PROVÁVEIS

Fissuras devidas a flexão da viga. A baixa resistência do concreto utilizado na confecção da viga, a existência de sobrecarga não prevista em projeto, a insuficiência de armadura principal e a ancoragem insuficiente são as principais causas para o aparecimento de tais fissuras.

Fissuras devidas ao cisalhamento. A baixa resistência do concreto utilizado na confecção da viga, a existência de sobrecarga não prevista em projeto e a insuficiência de estribos ou barras inclinadas são as principais causas para o aparecimento de tais fissuras.

Tela com a análise final do problema Patológico.

Iniciar Patologia - SEMNOME.PAT Patologia - SEMNOM... 06:43

**Figura 3.32 - Tela 7 - Resultados do diagnóstico.**

Essa tela é composta de duas tabelas e um quadro com a listagem dos diagnósticos possíveis para o problema presente no elemento estrutural selecionado. A primeira tabela apresenta um resumo sobre a estrutura e o elemento estrutural com problemas patológicos. A segunda tabela contém a estatística das respostas dadas às perguntas feitas pelo aplicativo referente ao caso selecionado.



### 3.11.5.2 - Banco de dados

Na **tela 7** são utilizados dois bancos de dados : o Clist e o Dlist. Nas tabelas 3.24 e 3.25 estão indicadas as estruturas de dados desses bancos de dados respectivamente.

Campos	
Nome	Tipo
Cod	Integer
Numero	Short
P1	Short
P2	Short
P3	Short
P4	Short
P5	Short
P6	Short
P7	Short
P8	Short
Dignose	Short

**Tabela 3.24 - Estrutura de dados do banco de dados *Clist*.**

Campos	
Nome	Tipo
Numero	Integer
Dpp	Memo

**Tabela 3.25 - Estrutura de dados do banco de dados *Dlist*.**

O banco de dados Clist apresenta 11 campos :

- O campo **NUMERO** enumera as combinações das respostas que correspondem a um diagnóstico.



- Os campos *P1* a *P8* apresenta armazenados em cada um deles um número que representa uma pergunta contida no banco de dados Plist.
- No campo *DIAGNOSE* contém armazenado um número que representa o código de um diagnóstico presente no banco de dados a seguir.

O banco de dados Dlist apresenta 2 campos :

- O campo *NUMERO* que representa o código de cada diagnóstico contido nesse banco de dados.
- No campo *DPP* está armazenado um texto, o diagnóstico, sobre o problema patológico do elemento estrutural selecionado, correspondente a cada código.

### 3.11.5.3 - Exemplo

É através dos bancos de dados Clist e Dlist que são encontrados os diagnósticos prováveis para os problemas patológicos presentes no elemento estrutural. O número máximo de diagnósticos possíveis, para cada elemento estrutural, foi limitado em 10, como já comentado no item 3.11.3.2.

Para armazenar os diagnósticos possíveis, foi criada uma variável chamada **DIAGNOSTICOS**. Ela foi declarada no aplicativo da seguinte forma :

*Diagnosticos : array[1..10] of byte*

Essa variável corresponde a um vetor de 10 componentes. Ao iniciar o processo de obtenção dos diagnósticos, pela primeira vez, todos os componentes dessa variável contêm o valor 0 armazenado. O aplicativo utiliza, para obter a lista dos diagnósticos possíveis, os valores armazenados nas variáveis **DIAGRESP**, **DIAGNUMERO** e **DIAGCOMB** e os dois bancos de dados citados anteriormente.



A lista de diagnósticos é obtida da seguinte maneira:

Ao iniciar a **tela 7**, o aplicativo primeiro verifica qual o código do elemento estrutural selecionado armazenado na variável **DIAGNUMERO**, nesse caso ele é igual a 4. Utilizando-se esse código, o aplicativo acessa o banco de dados Clist, figura 3.33 e procura a linha ou item, do banco de dados, onde o valor do campo **COD** seja igual a 4 e o valor armazenado no campo **NUMERO** seja igual a 1.

CLIST	Cod	Numero	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Diagnose
11	4,00	1	1	2	10	0	0	0	0	0	17
12	4,00	2	1	2	3	0	0	0	0	0	4
13	4,00	3	7	0	0	0	0	0	0	0	13
14	4,00	4	8	0	0	0	0	0	0	0	23
15	4,00	5	9	0	0	0	0	0	0	0	21
16	4,00	6	11	12	13	0	0	0	0	0	33
17	4,00	7	21	0	0	0	0	0	0	0	12
18	4,00	8	4	5	6	0	0	0	0	0	6
19	4,00	9	19	20	0	0	0	0	0	0	9

**Figura 3.33 - Parte do banco de dados *Clist*.**

Os valores armazenados nos campos **P1** a **P8** dessa primeira linha são armazenados na variável **P** com 8 componentes. Os valores contidos nessa variável referente a essa primeira linha estão indicados na tabela 3.26.

Componente de P	Valor Armazenado
1	1
2	2
3	10
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0

**tabela 3.26 - Valores armazenados na variável *P*.**



O aplicativo irá comparar os valores contidos na coluna 2 da variável **P**, tabela 3.25 com as respostas contidas na coluna 2 da variável **DIAGRESP**, tabela 3.22.

Duas condições devem ser verificadas para que o diagnóstico, associado a esse item do banco de dados Clist, contido no campo **DIAGNOSE**, seja considerado provável :

- Menos de 50% das respostas devem ser “*Não Confirma*”.
- Mais de 20% das respostas devem ser “*Confirma*”.

Para esse item, as perguntas 1 e 2 foram respondidas com “*Não Confirma*”, pois os valores contidos na coluna 3, da tabela 3.22, correspondentes a essas perguntas é igual a 0. A pergunta 10 foi respondida com “*Indeterminado*”, pois o valor contido na coluna 3, da tabela 3.22, correspondente a essa pergunta é igual a 1. Nesse caso o diagnóstico não foi confirmado pois as duas condições não foram atendidas :

- 67% das respostas foram “*Não Confirma*” e
- 0% das respostas foram “*Confirma*”.

O valor do campo **DIAGNOSE** referente a esse item não é armazenado no primeiro componente da variável **DIAGNOSTICOS**. O valor armazenado na variável **DIAGCOMB** é igual a 9, logo esse procedimento é repetido mais 8 vezes. Como pode ser visto através da figura 3.33, 9 itens apresenta o valor 5 armazenado no campo **COD**. Após ter sido executado esse procedimento os valores armazenados na variável **DIAGNOSTICOS** são os mostrados na tabela 3.27.

Componente	Valor
1	13
2	23

---

**Tabela 3.27 - Valores armazenados na variável DIAGNOSTICOS.**



O valor armazenado nos componentes enumerados de 3 a 8, da variável **DIAGNOSTICOS** é igual a 0.

Terminado esse procedimento, o aplicativo, utilizando a variável **DIAGNOSTICOS** e o banco de dados Dlist, figura 3.34, listará no quadro presente na figura 3.32, os diagnósticos cujos número estão armazenados na variável **DIAGNOSTICOS**. Nesse caso, serão listados os diagnósticos cujo campo **NUMERO**, do banco de dados Dlist forem iguais a 13 e 23, como mostrado pela figura 3.32.

DLIST	Numero	Dpp
1	4,00	Fissuras na viga devidas a deformação linear de
2	6,00	A deformação diferencial das vigas podem causar
3	9,00	Fissuras de retração do concreto causadas pelo
4	12,00	Fissuras devidas a rotação da viga em torno de
5	13,00	Fissuras devidas a flexão da viga. A baixa
6	17,00	Fissuras devidas a carga concentrada sobre a
7	21,00	Esmagamento do concreto devido a flexão da viga.
8	23,00	Fissuras devidas ao cisalhamento. A baixa
9	33,00	Sob certas circunstâncias, nas armaduras

**Tabela 3.34 - Parte do banco de dados *Dlist*.**

Se nenhum diagnóstico for selecionado pelo aplicativo, aparecerá listado no quadro da tela 7, figura 3.32, a seguinte mensagem.

*Não há diagnóstico satisfatório ou caso não implementado.*

*Verificar respostas.*



### 3.11.6 - Visualização do Relatório Final

Terminada a etapa anterior, o relatório final poderá ser visualizado. Na figura 3.35 está o resultado final desse exemplo, presente na **tela 8** do aplicativo.

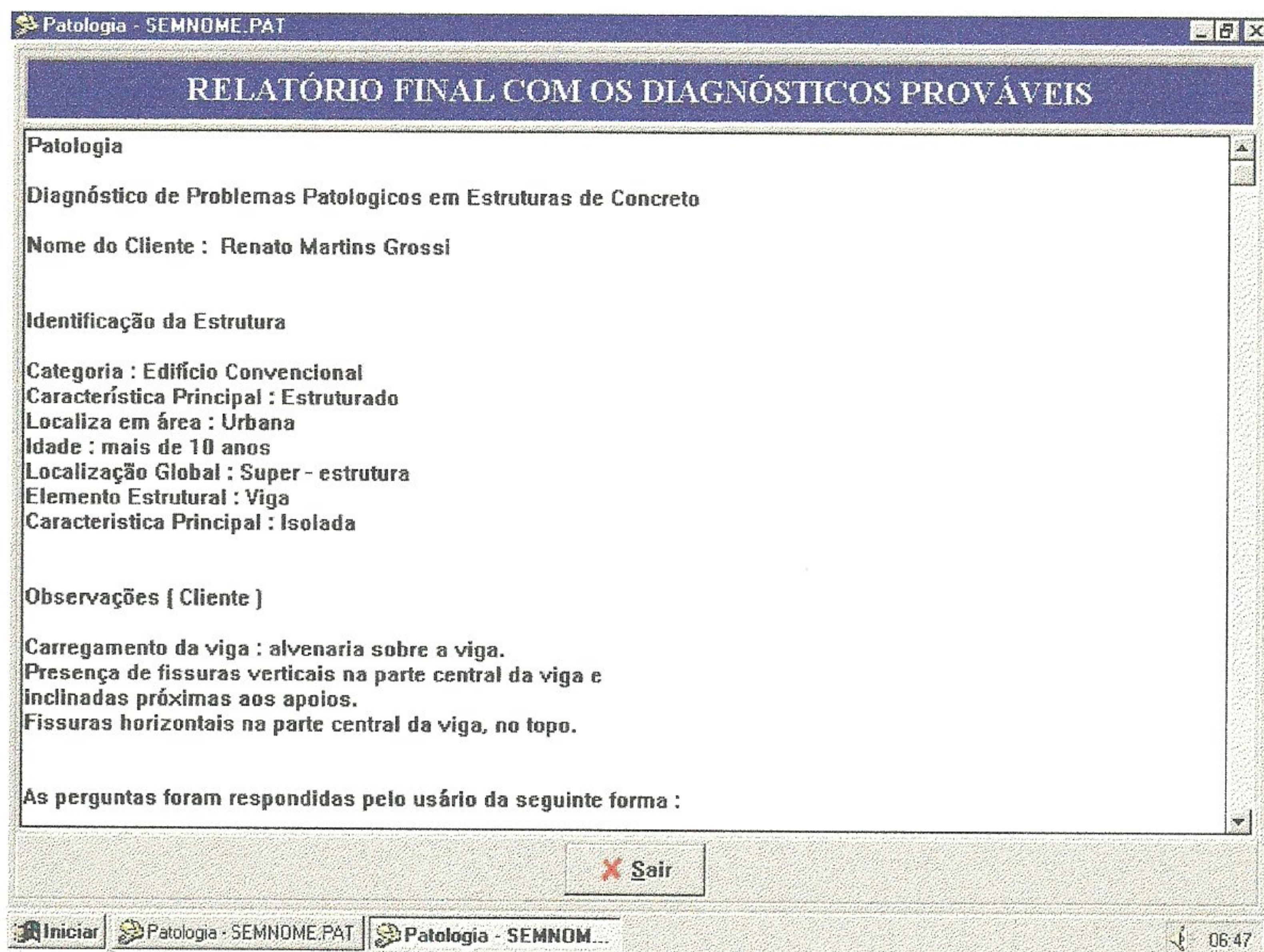


Tabela 3.35 - Tela 8 - Relatório final do aplicativo.



Para visualizar o relatório final basta pressionar o décimo primeiro botão presente na barra de tarefa, figura 3.36.



**Tabela 3.36 - Botão < Relatório > barra de tarefa.**

Fazem parte desse relatório as seguintes informações :

- nome do aplicativo,
- nome do usuário ou firma requerente,
- quadro resumo, indicando a estrutura e o elemento estrutural selecionado pelo usuário,
- as observações feitas pelo usuário através da **tela 5**, figura 3.20,
- quadro resumo com as respostas às perguntas feitas pelo aplicativo e respondidas pelo usuário,
- lista das perguntas ou sintomas assinalados com “*Confirma*” pelo usuário,
- lista das perguntas ou sintomas assinalados com “*Indeterminado*”, pelo usuário, para futuras revisões,
- lista dos diagnósticos para os problemas patológicos selecionados pelo aplicativo e
- o termo de responsabilidade sobre os resultados.

A seguir é mostrado, na íntegra, o conteúdo do relatório final, contido no quadro da figura 3.35.



## *Patologia*

### *Diagnóstico de Problemas Patológicos em Estruturas de Concreto*

*Nome do Cliente : Renato Martins Grossi*

### *Identificação da Estrutura*

*Categoria : Edifício Convencional*

*Característica Principal : Estruturado*

*Localiza em área : Urbana*

*Idade : mais de 10 anos*

*Localização Global : Super - estrutura*

*Elemento Estrutural : Viga*

*Característica Principal : Isolada*

### *Observações ( Cliente )*

*Carregamento da viga : alvenaria sobre a viga.*

*Presença de fissuras verticais na parte central da viga e inclinadas próximas aos apoios.*

*As perguntas foram respondidas pelo usuário da seguinte forma :*

*Não Confirmadas : 8*

*Indeterminadas : 2*

*Confirmadas : 3*



*Lista dos Sintomas Confirmados :*

*Existe alvenaria acima ou abaixo dessa viga?*

*A viga apresenta fissuras aproximadamente verticais no seu terço médio, conforme mostrado pelas figuras 1.9?*

*A viga apresenta fissuras inclinadas a 45 graus próximo aos apoios conforme ilustrado nas figuras 1.10?*

*Lista dos Sintomas Indeterminados :*

*O concreto utilizado para a confecção da viga não apresenta resistência à compressão adequada segundo especificado em projeto?*

*A quantidade de armadura principal e / ou a de estribos é inferior ao especificado em projeto?*

*Diagnósticos Prováveis :*

*Fissuras devido a flexão da viga. A baixa resistência do concreto utilizado na confecção da viga, a existência de sobrecarga não prevista em projeto, a insuficiência de armadura principal e a ancoragem insuficiente são as principais causas para o aparecimento de tais fissuras.*

*Fissuras devidas ao cisalhamento. A baixa resistência do concreto utilizado na confecção da viga, a existência de sobrecarga não prevista em projeto e a insuficiência de estribos ou barras inclinadas são as principais causas para o aparecimento de tais fissuras.*



*Mensagem :*

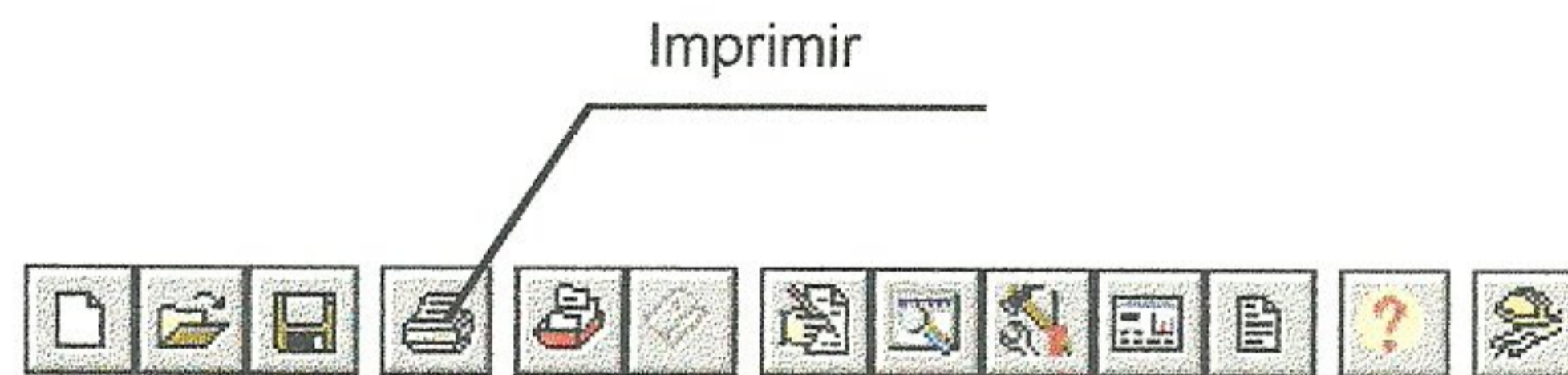
*Esse aplicativo, desenvolvido para área de análise de Patologia das estruturas de concreto armado, não visa substituir o trabalho de um profissional especializado em recuperação de estruturas e sim de auxiliá-lo na tarefa de busca dos diagnósticos dos problemas ocorridos nas estruturas de concreto armado. Os diagnósticos obtidos, através da utilização desse aplicativo, não devem ser utilizados para se efetuar a recuperação de uma estrutura sem a devida avaliação de um especialista no assunto.*



### 3.12 - Impressão dos Resultados

Tanto o relatório obtido pelo processo de diagnóstico e análise descrito anteriormente, quanto um assunto de pesquisa selecionado, poderá ser impresso através do aplicativo.

Para realizar tal tarefa basta pressionar o quarto botão presente na barra de tarefa, figura 3.37.



**Figura 3.37 - Botão “Imprimir”- barra de tarefa.**

Pressionando esse botão a tela 8, figura 3.38 será visualizada.



**Figura 3.38 - Tela de Impressão.**



Para imprimir o relatório final do diagnóstico realizado, basta pressionar o botão < **Relatório** >, que a impressão será providenciada. Se não houver relatório disponível para impressão, esse botão se encontrará desabilitado.

Para imprimir um caso catalogado, basta pressionar o botão < **Estudo** >. A **tela 10** aparecerá, figura 3.9, para que o usuário possa selecionar o caso catalogado a ser impresso e depois pressionar o botão < **OK** > presente nessa tela.



### 3.13 - Salvar

Qualquer diagnóstico que o usuário efetuar através desse aplicativo poderá ser salvo em arquivo para futura modificação, visualização ou impressão do relatório.

Para salvar o diagnóstico em arquivo basta pressionar o terceiro botão da barra de tarefa, figura 3.39.



Figura 3.39 - Botão < Salvar > barra de tarefa.

Uma caixa de dialogo, figura 3.40, será ativada.

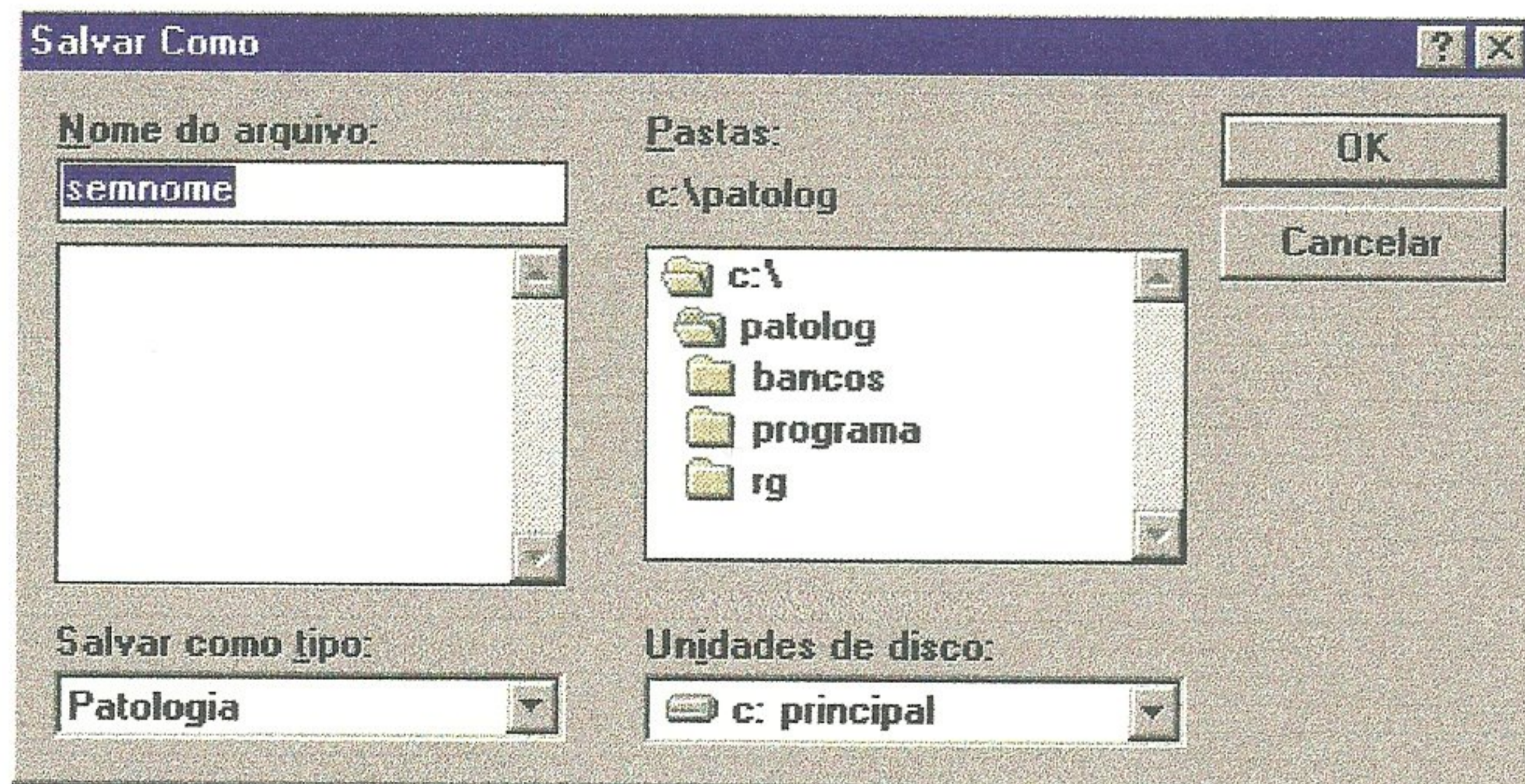


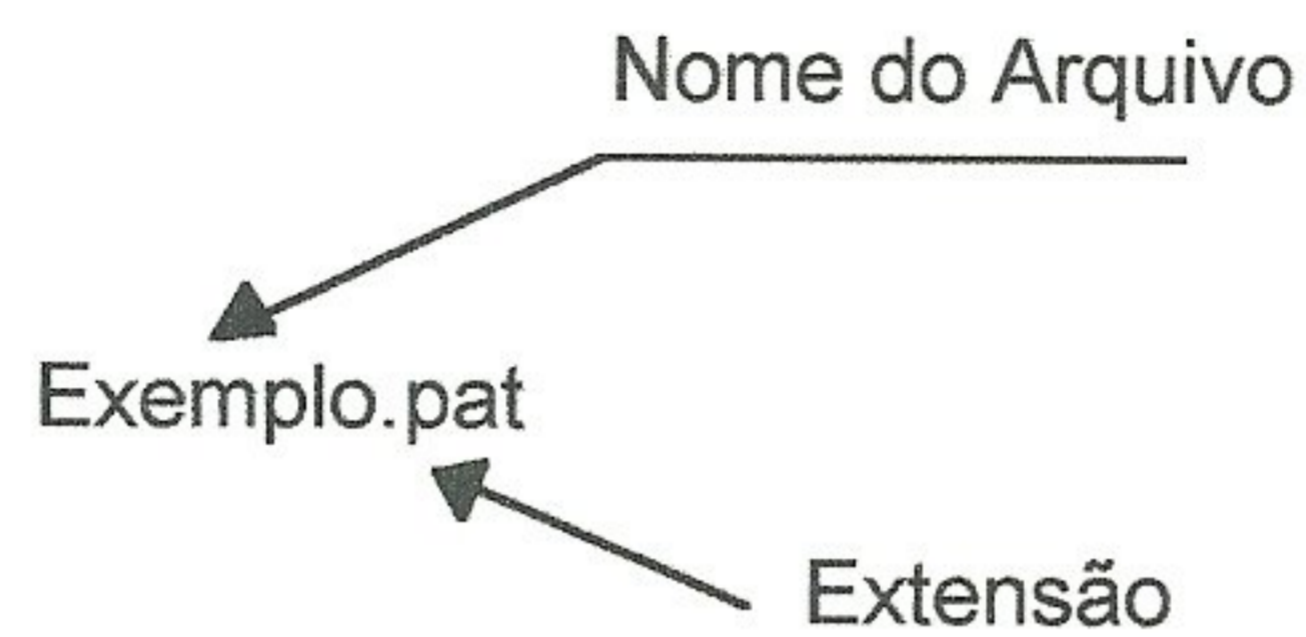
Figura 3.40 - Caixa de Dialogo - Salvar Diagnóstico.



O usuário deve fornecer um nome para o arquivo. Esse deve ser escrito no campo designado por “*Nome do arquivo*” na figura 3.40.

O arquivo salvo terá como extensão as seguintes letras : PAT.

Exemplo :



O nome do arquivo pode ter no máximo oito letras.

### 3.14 - Abrir

Para abrir qualquer diagnóstico que esteja armazenado em arquivo basta pressionar o segundo botão da barra de tarefa, figura 3.41.



Figura 3.41 - Botão < Abrir > barra de tarefa.



Uma caixa de dialogo, figura 3.42, será ativada.

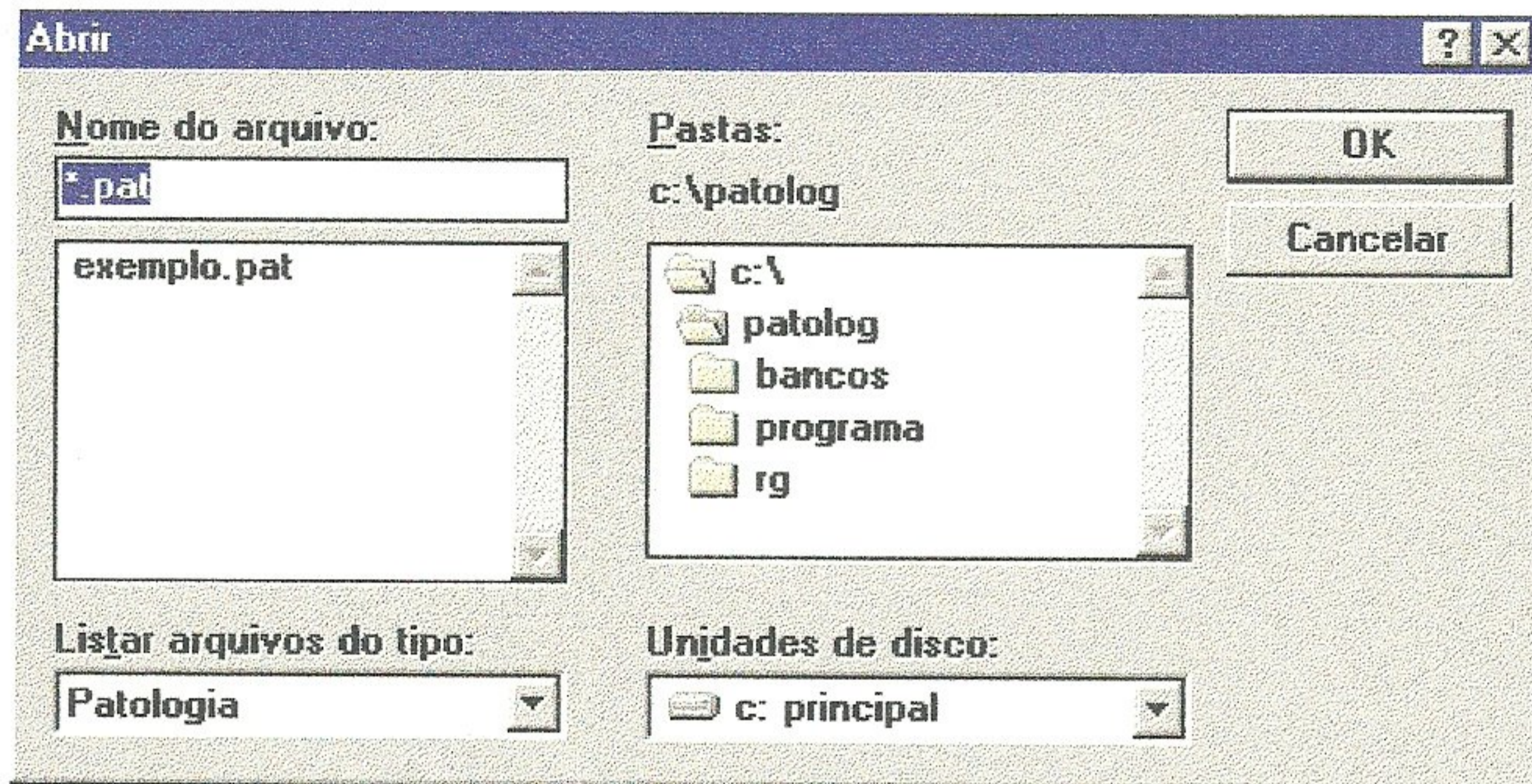


Figura 3.42 - Caixa de Dialogo - Abrir arquivo.

Serão listados todos os arquivos com extensão “*pat*”. Para abrir o arquivo basta clicar sobre um dos nomes mostrados na lista, ou escrever o nome do arquivo no campo denominado “*Nome do arquivo*” presente na tela 3.42. O usuário não conseguirá abrir um arquivo que não pertença ao aplicativo.



### 3.15 - Ajuda

Existem três maneiras para ativar a “Ajuda” do aplicativo para esclarecer qualquer dúvida quanto ao aplicativos e seus componentes constituintes.

- pressionar o penúltimo botão da barra de tarefa, figura 3.43,
- ativar através do Menu “Ajuda”,
- ou pressionar o botão < **Ajuda** > presente em quase todas as telas desse do aplicativo **Patologia**.

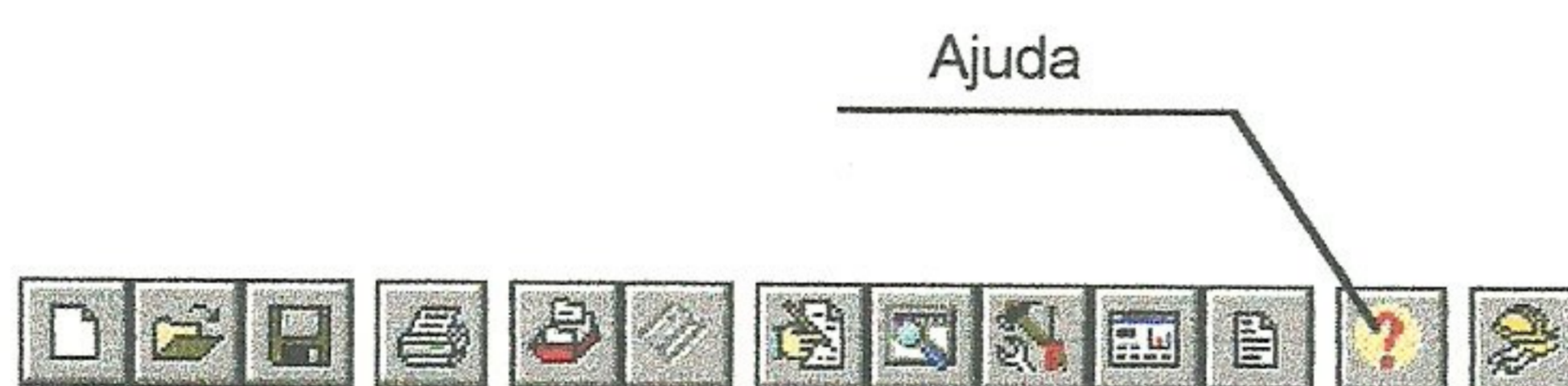


Figura 3.43 - Botão < Ajuda > barra de tarefa.



## CAPÍTULO 4

---

### 4 - CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PROSSEGUIMENTO DO TRABALHO

#### 4.1 - Conclusão

A recuperação de estruturas de concreto armado é uma das atividades de engenharia que mais tem crescido no mundo nos últimos anos. Isto tem ocorrido em consequência do uso indiscriminado do concreto armado sem a preocupação com a durabilidade das estruturas. Estas, aparentemente novas, encontram-se em estado avançado de degradação, suscitando reparos urgentes, de elevado custo, com base, muitas vezes, em diagnósticos precipitados e sem embasamento técnico apropriado.

Nas estruturas, os problemas patológicos se manifestam por um conjunto de sistemas muito variados tais como mudanças na coloração, expansões, esfoliações, trincas, etc, tornando o diagnóstico dessas patologias, geralmente árduo e intrincado.

Esta dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de um software na área de análise de Patologia das Estruturas em Concreto Armado, em ambiente Windows, possibilitando ao usuário interagir em parceria com o software na busca dos possíveis diagnósticos responsáveis pelo surgimento dos sintomas provenientes de problemas patológicos nas estruturas de concreto armado.

A importância na elaboração desse aplicativo em ambiente Windows está baseada também na tentativa de criar melhor compreensão e retenção do assunto em comparação com os tradicionais métodos de análise, através do estudo dos assuntos catalogados nos bancos de dados do aplicativo e da análise dos diagnósticos obtidos pelo aplicativo **Patologia**.



O desenvolvimento do aplicativo **Patologia** é o primeiro passo para a criação de um software multimídia sobre esse assunto, ainda inédito no âmbito da engenharia de recuperação no Brasil. Essa tecnologia dá ao usuário a oportunidade de obter informações através da visualização, audição e realização de tarefas. Esses elementos combinados criam uma melhor compreensão e retenção das informações em comparação com os tradicionais métodos de ensino que utilizam somente os livros textos. Segundo a IBM [2], os pesquisadores acreditam que uma pessoa consegue reter 20% das informações que ouve, 40% do que ouve e visualiza e até 75% do que ouve, visualiza e realiza, daí a praticidade de nosso projeto.

#### **4.2 - Sugestões para o prosseguimento do trabalho**

Para o prosseguimento desse trabalho algumas inclusões podem ser feitas com o intuito de melhorar o aplicativo, tanto para a obtenção do diagnóstico quanto para o aprendizado dos futuros profissionais na área de patologia :

- Incluir o diagnóstico de problemas patológicos de estruturas de concreto pretendido
- Desenvolver um módulo, no aplicativo, incluindo os procedimentos necessários à recuperação da estrutura mediante os diagnósticos apontados para os problemas patológicos indicados.
- Desenvolver um banco de dados de problemas patológicos ocorridos em estruturas de concreto para ser utilizado tanto para consulta como para dados estatísticos de futuros estudos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [ 1 ] **ABRAMS, D. A.** “Design of Concrete Mixtures”, Chicago, Structural Materials Research Laboratory, 1918. ( Lewis Institute Bulletin, n. 1 )
  
- [ 2 ] **AMINMANSOUR, ABBAS,** “Can Interactive Multi Help the Construction”, Concrete International, Edition December 1994, The Magazine of the American Concrete Institute
  
- [ 3 ] **BAUER, LUIZ ALFREDO FALCÃO,** “Materiais de Construção”, LTC, Rio de Janeiro, 1987, 403 p.
  
- [ 4 ] **CÁNOVAS, MANUEL FERNÁNDEZ,** “Patologia e Terapia do Concreto Armado”, PINI, São Paulo, 1988, 522 p.
  
- [ 5 ] **COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON,** “Bulletin d’information nº158 -E -: Cracking and Deformations “, EPFL, Lausanne, 1985.
  
- [ 6 ] **DA CUNHA, J. C,** “Aspectos Conceituais sobre o Fogo em Estruturas de Concreto Armado”, Revista Informador das Construções, Edição 1270 de 28/02/94.
  
- [ 7 ] **DA CUNHA, J. C,** “Comentário sobre o Controle da Durabilidade segundo a Nova NB-1 ( 1ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1290 de 31/12/94.



- [ 8 ] **DA CUNHA, J. C**, “Durabilidade das Estruturas de Concreto Armando segundo a Nova NB-1 ( 1ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1286 de 31/10/94.
- [ 9 ] **DA CUNHA, J. C**, “Durabilidade das Estruturas de Concreto Armando segundo a Nova NB-1 ( 2ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1287 de 15/11/94.
- [ 10 ] **DA CUNHA, J. C**, “Durabilidade das Estruturas de Concreto Armando segundo a Nova NB-1 ( 3ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1288 de 30/11/94.
- [ 11 ] **DA CUNHA, J. C**, “Uma Análise dos Erros e Problemas em Estruturas de Concreto Armado”, Revista Informador das Construções, Edição 1268 de 31/01/94.
- [ 12 ] **FAVRE, R.; KOPRINA, M.; RADOJICIC, A.**, “Effets Différés Fissuration et Déformations des Structures en Béton”, Editions Georgi, Suisse, 1980.
- [ 13 ] **HELENE, PAULO**, “Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto”, PINI, São Paulo, 213 p.
- [ 14 ] **INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGIAS**, “Tecnologia de Edificações”, Pini, São Paulo, 1988, 707p.
- [ 15 ] **METHA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M.**, “Concreto - Estrutura Propriedades e Materiais”, São Paulo, 1994, 573 p.
- [ 16 ] **NEVILLE, ADAM M.**, “Propriedades do Concreto”, PINI, São Paulo, 1982, 738 p.



- [ 17 ] **PALERMO, GIOVANNI**, “Geometria do Concreto Durável”, Revista de Tecnologia da Construção - **TÉCHNE**, Edição Julho/Agosto 1993, PINI
  
- [ 18 ] **PARK, R., PAULAY, T.** “Reinforced Concrete Structures” A wiley - interscience publication, Christchurch, News Zealand, 1975, 350 p.
  
- [ 19 ] **POWERS, T.C.** “Struture and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste”, Chicago, Journal of American Ceramic Society, volume 41, No.1, 1958.
  
- [ 20 ] **SCHILDT, HERBERT**, “Turbo Pascal Avançado”, Makron Books, São Paulo, 1988, 416 p.
  
- [ 21 ] **TEPEDINO, J.** “Curso de Especialização - Sistema II Fissuração”.
  
- [ 22 ] **THOMAS, ERCIO**, “Trincas em Edifícios : Causas, Prevenção e Recuperação”, Pini, São Paulo, 1989, 194p.
  
- [ 23 ] Foto fornecida pelo Prof<sup>o</sup>. José Celso da Cunha..
  
- [ 24 ] Foto fornecida pela empresa Sólida Avaliação e Recuperação de Estruturas Ltda.
  
- [ 25 ] Foto pertencente ao autor Eng<sup>o</sup>. Renato Martins Grossi.



## **BIBLIOGRAFIA**

---

**ABRAMS, D. A.** “Design of Concrete Mixtures”, Chicago, Structural Materials Research Laboratory, 1918. ( Lewis Institute Bulletin, n. 1 )

**AMINMANSOUR, ABBAS,** “Can Interactive Multi Help the Construction”, Concrete International, Edition December 1994, The Magazine of the American Concrete Institute

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** “Projeto e execução de obras de concreto armado”, NBR6118. Rio de Janeiro, 1978, 76 p.

**BAUER, LUIZ ALFREDO FALCÃO,** “Materiais de Construção”, LTC, Rio de Janeiro, 1987, 403 p.

**BORLAND,** “Borland C++ - User’s Guide”, Borland International Inc, USA, 1994, 360 p.

**BORLAND,** “Borland Delphi For Windows - Database Application - Developer’s Guide”, Borland International Inc, USA, 1995, 200 p.

**BORLAND,** “Borland Delphi for Windows - User’s Guide”, Borland International Inc, USA, 1995, 452 p.

**BORLAND,** “Borland Object Windows - Programmer’s Guide”, Borland International Inc, USA, 1994, 488 p.

**BORLAND,** “Borland Object Windows - Tutorial”, Borland International Inc, USA, 1994, 165 p.



**CÁNOVAS, MANUEL FERNÁNDEZ**, “Patologia e Terapia do Concreto Armado”, PINI, São Paulo, 1988, 522 p.

**CEB-FIP MODEL CODE 1978.**

**CEB-FIP MODEL CODE 1990.**

**COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON**, “ Bulletin d’information nº143 - Cracking and Deformations “, EPFL, Lausanne, 1981.

**COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON**, “Bulletin d’information nº158- E - Cracking and Deformations “, EPFL, Lausanne, 1985.

**CORNELL, GARY; STRAIN, TROY**, “Delphi Segredos e Soluções”, Makron Books, São Paulo, 1995, 367 p.

**DA CUNHA, J. C**, “A Ética Profissional no Tratamento do Erro na Engenharia Civil ( 1ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1273 de 15/04/94.

**DA CUNHA, J. C**, “A Ética Profissional no Tratamento do Erro na Engenharia Civil ( 2ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1274 de 30/04/94.

**DA CUNHA, J. C**, “A Importância das Propriedades do Concreto no Cálculo e na Durabilidade das Estruturas.”, Revista Informador das Construções, Edição 1309 de 15/10/95.

**DA CUNHA, J. C**, “Aspectos Conceituais sobre o Fogo em Estruturas de Concreto Armado”, Revista Informador das Construções, Edição 1270 de 28/02/94.

**DA CUNHA, J. C**, “Comentário sobre o Controle da Durabilidade segundo a Nova NB-1 ( 1ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1290 de 31/12/94.



**DA CUNHA, J. C.**, “Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado segundo a Nova NB-1 ( 1ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1286 de 31/10/94.

**DA CUNHA, J. C.**, “Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado segundo a Nova NB-1 ( 2ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1287 de 15/11/94.

**DA CUNHA, J. C.**, “Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado segundo a Nova NB-1 ( 3ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1288 de 30/11/94.

**DA CUNHA, J. C.**, “Fissuração em Vigas de Concreto Armado ( 1ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1291 de 15/01/95

**DA CUNHA, J. C.**, “Fissuração em Vigas de Concreto Armado ( 2ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1292 de 31/01/95.

**DA CUNHA, J. C.**, “Fissuração em Vigas de Concreto Armado ( 3ª Parte )”, Revista Informador das Construções, Edição 1293 de 15/02/95.

**DA CUNHA, J. C.**, “Uma Análise dos Erros e Problemas em Estruturas de Concreto Armado”, Revista Informador das Construções, Edição 1268 de 31/01/94.

**DAMASCENO JR., Américo**, “Aprendendo Delphi em Windows 95”, Érica, São Paulo, 1995, 191 p.

**FAVRE, R.; KOPRINA, M.; RADOJICIC, A.**, “Effets Différés Fissration et Déformations des Strutures en Béton”, Editions Georgi, Suisse, 1980.

**HELENE, PAULO**, “Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto”, PINI, São Paulo, 213 p.



**HELENE, PAULO, TERZIAN PAULO**, “Manual de Dosagem e Controle do Concreto”, PINI, São Paulo, 1992, 349 p.

**INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGIAS**, “Tecnologia de Edificações”, Pini, São Paulo, 1988, 707p.

**JAMSA, KRIS**, “Salvo pelo... C++”, LTC, Rio de Janeiro, 1994, 256 p.

**LEONHARDT, F.** “Construções de Concreto. V. 4.”, Editoria Interciência, Rio de Janeiro, 1979, 209p.

Manual Teórico Práctico del Hormigón - Beton - Kalender - 41ª edição - 1952. Edição Original, tradução em Casteliano, 1954. Editora Lideria el Ateno Editorial - Buenos Aires.

**METHA, P. KUMAR; MONTEIRO, PAULO J. M.**, “Concreto - Estrutura Propriedades e Materiais”, São Paulo, 1994, 573 p.

**MONTOYA, P. J.**, “Hormigón Armado - Tomo 1”, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1969, 631p.

**NEVILLE, ADAM M.**, “Propriedades do Concreto”, PINI, São Paulo, 1982, 738 p.

**PALERMO, GIOVANNI**, “Geometria do Concreto Durável”, Revista de Tecnologia da Construção - **TÉCHNE**, Edição Julho/Agosto 1993, PINI

**PARK, R., PAULAY, T.** “Reinforced Concrete Structures” A wiley - interscience publication, Christchurch, News Zealand, 1975, 350 p.

**POWERS, T.C.** “Struture and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste”, Chicago, Journal of American Ceramic Society, volume 41, No.1, 1958.



**ROSTAM, STEEN**, “Durability Tecnology for Concrete Structures”, COMAR ENGINEERS A/S, Denmark, 1993, 44 p.

**RUBENKING, NEIL J.**, “Programação em Delphi para Leigos”, Berkeley, São Paulo, 1995, 372p.

**SCHILDT, HERBERT**, “Advanced Turbo C”, Osborne McGraw Hill, Califórnia, USA, 1987, 397 p.

**SCHILDT, HERBERT**, “C Completo e Total ”, Makron Books, São Paulo, 1990, 889 p.

**SCHILDT, HERBERT**, “Turbo Pascal Avançado”, Makron Books, São Paulo, 1988, 416 p.

**SWAN, TOM**, “Programação Avançada em Borland C++ 4.0”, Berkeley, São Paulo, 1994, 661 p.

**TEPEDINO, J.** “Curso de Especialização - Sistema II Fissuração”

**THOMAS, ERCIO**, “Trincas em Edifícios : Causas, Prevenção e Recuperação”, Pini, São Paulo, 1989, 194p.

**THOMAZ, EDUARDO**, “Fissuração - 105 Casos Reais”, ABCE - Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, Belo Horizonte, 1995

**WAITE, MITCHELL; PRATA, STEPHEN; MARTIN, DONALD**, “C Primer Plus”, Howard. W. Sams & Company, Indiana, USA, 1988, 558 p.

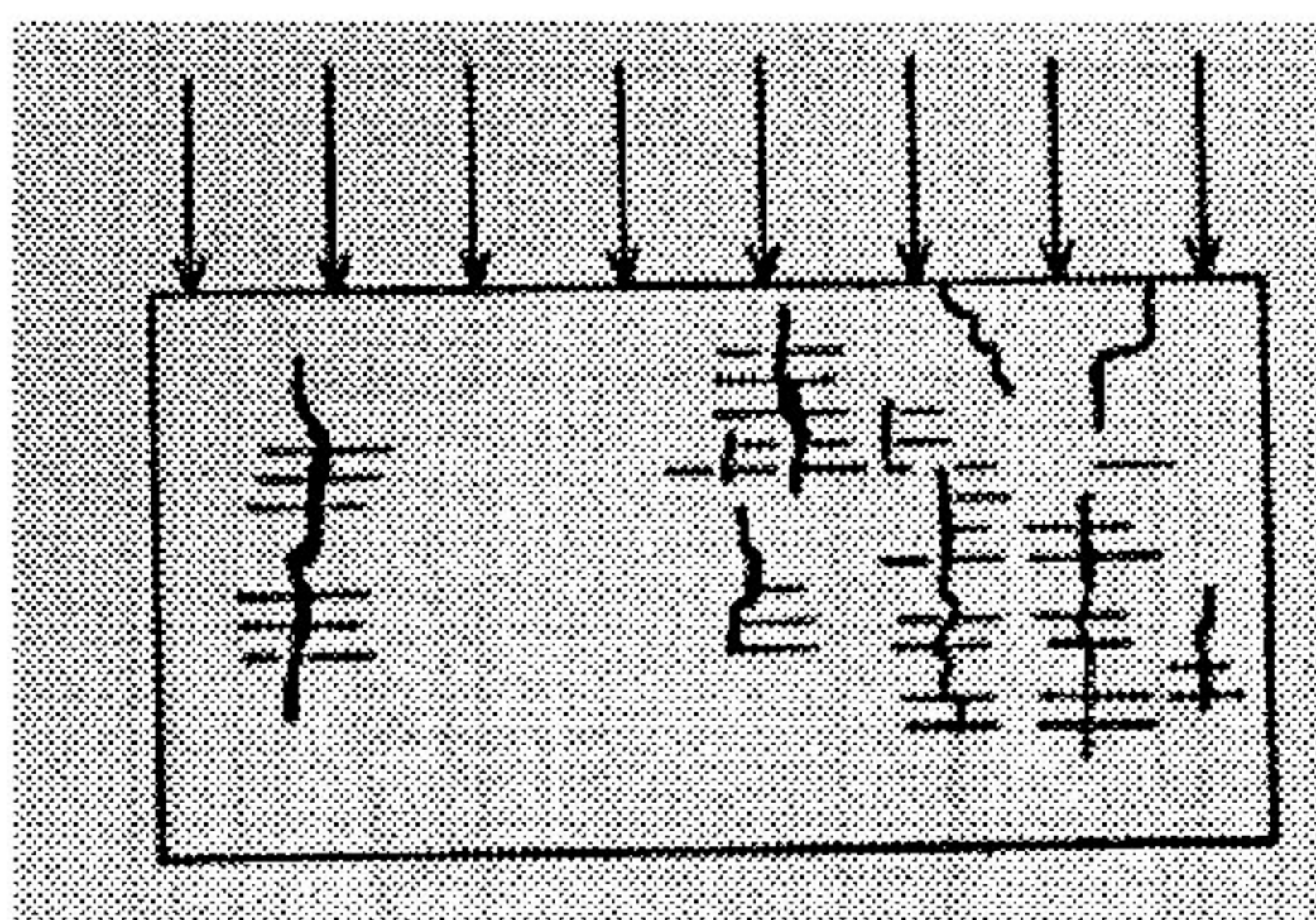


## APÊNDICE A

---

### FISSURAS TÍPICAS EM ALVENARIAS DEVIDAS AO CARREGAMENTO

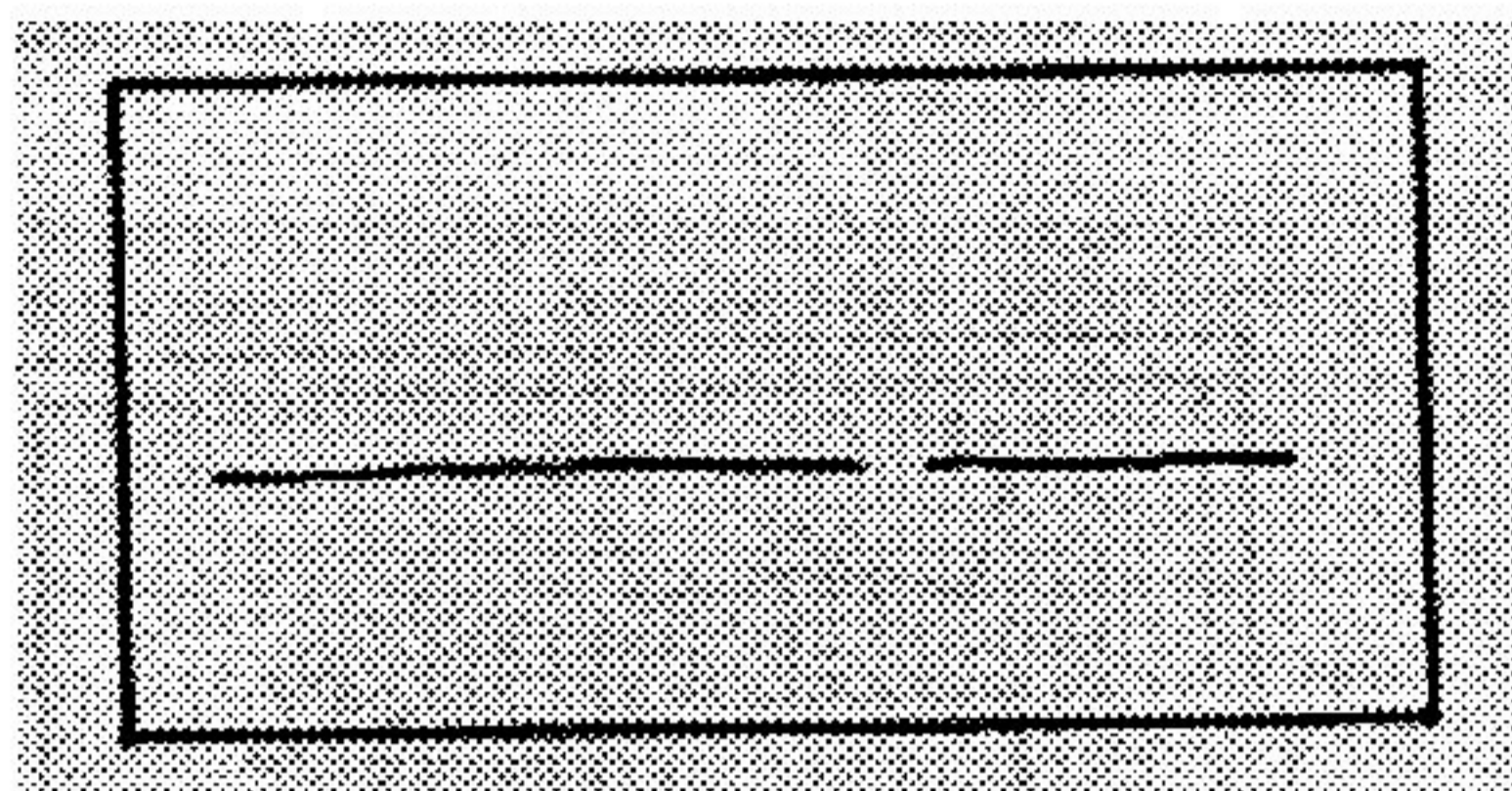
Quando a alvenaria está solicitada por sobrecargas uniformemente distribuídas, dois tipos característicos de fissuras podem surgir. O primeiro caso, figura A.1, surgem fissuras verticais provenientes da deformação transversal da argamassa sob ação das tensões de compressão ou flexão local dos componentes de alvenaria.



**Figura A.1 - Fissuração típica da alvenaria causada por sobrecarga vertical. [22]**

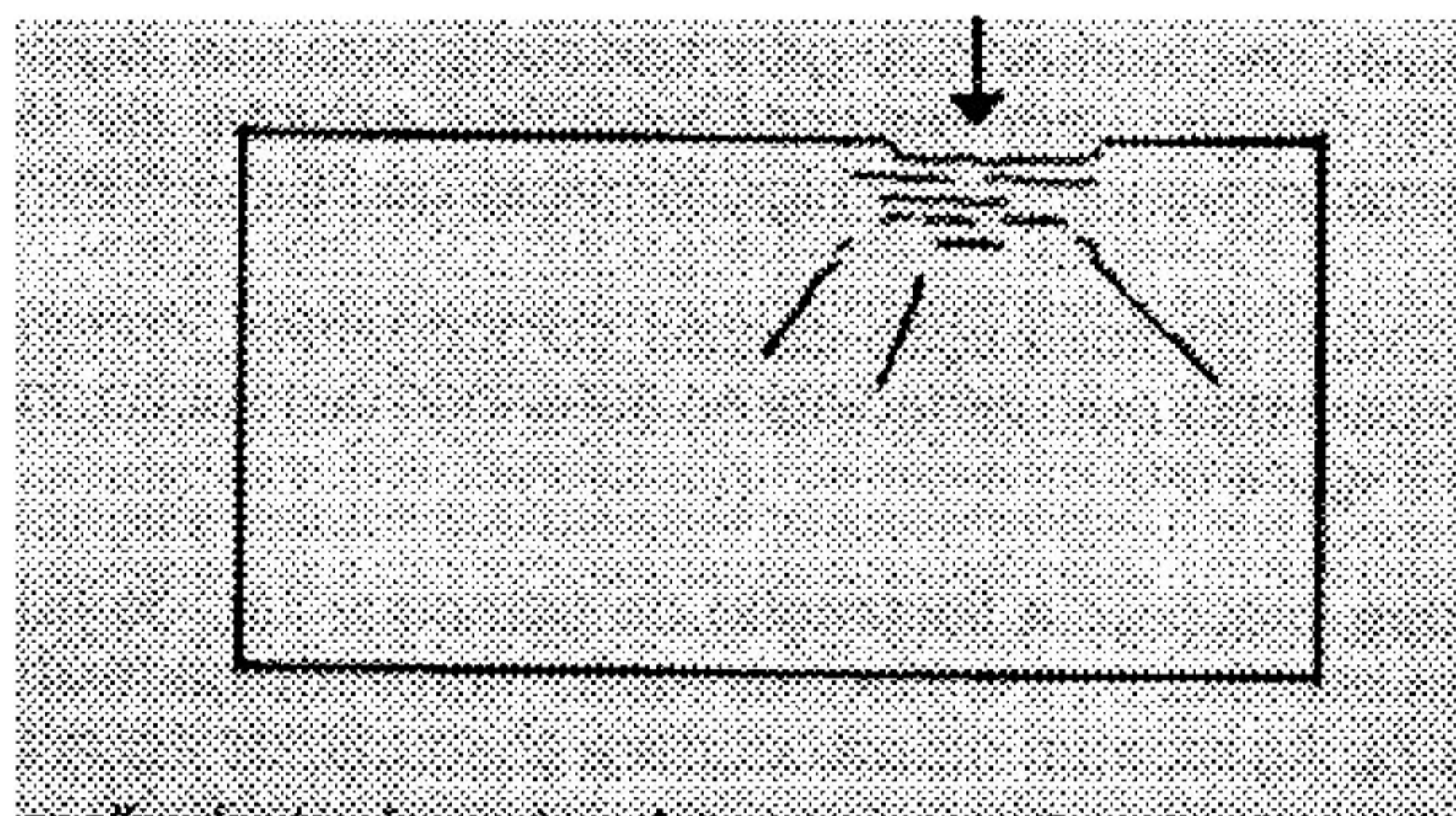
No segundo caso, figura A.2, aparecem fissuras horizontais, provenientes das ruptura por compressão dos componentes de alvenaria ou da própria argamassa de assentamento, ou ainda de solicitações de flexocompressão da alvenaria.





**Figura A.2 - Fissuras horizontais na alvenaria provenientes de sobrecarga. [22]**

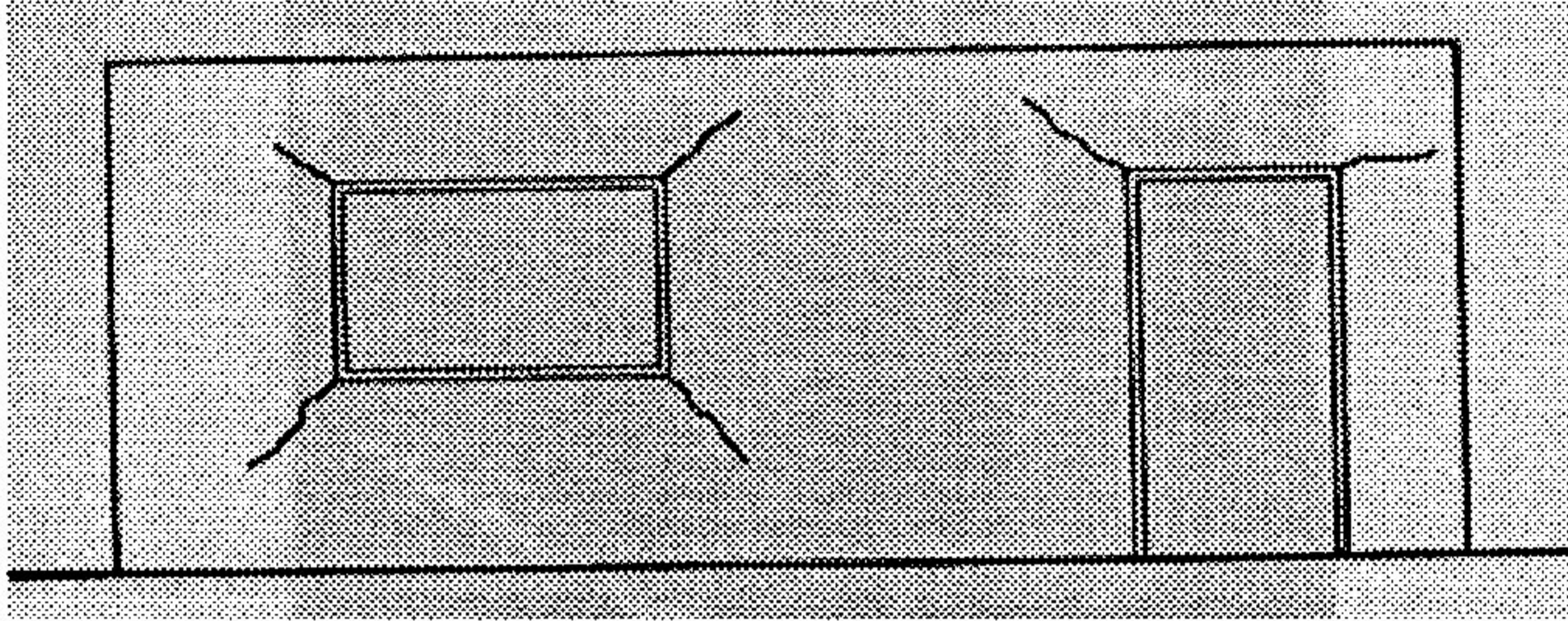
A atuação de sobrecargas localizadas podem provocar a ruptura dos componentes de alvenaria na região de aplicação da carga, surgindo fissuras horizontais devido ao esforço de compressão e / ou o aparecimento de fissuras inclinadas a partir do ponto de aplicação conforme mostrado na figura A.3.



**Figura A.3 - Ruptura localizada da alvenaria sob o ponto de aplicação da carga e propagação de fissuras a partir desse ponto. [22]**

Em alvenarias com aberturas presentes, portas e /ou janelas com várias dimensões, as configurações típicas das fissuras presentes estão indicadas na figura A.4. O surgimento dessas fissuras são devido à concentração de tensões presente nos cantos das aberturas.





**Figura A.4 - Fissuração típica nos cantos das aberturas, sob a atuação de sobrecargas. [22]**

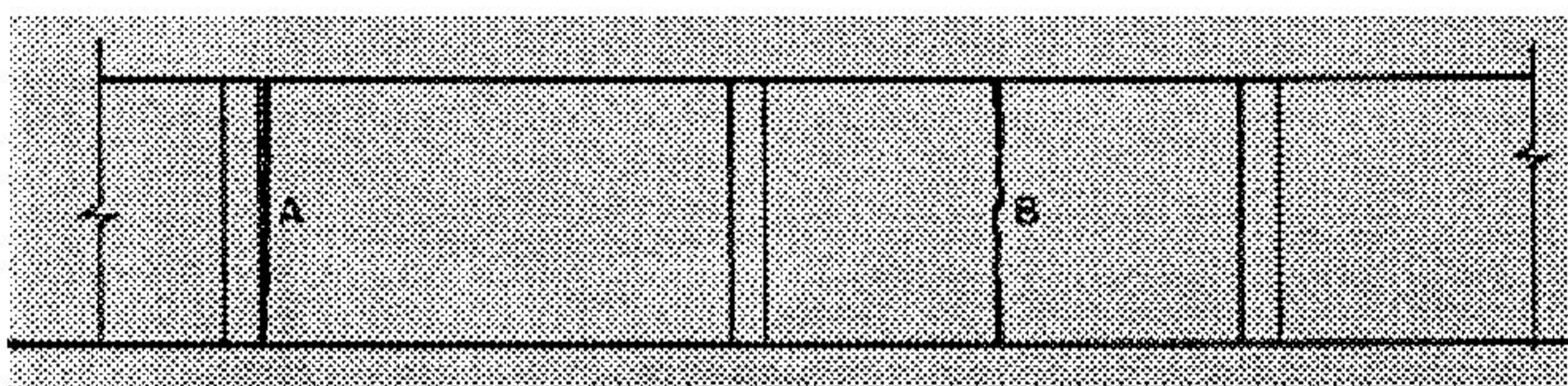


## APÊNDICE B

---

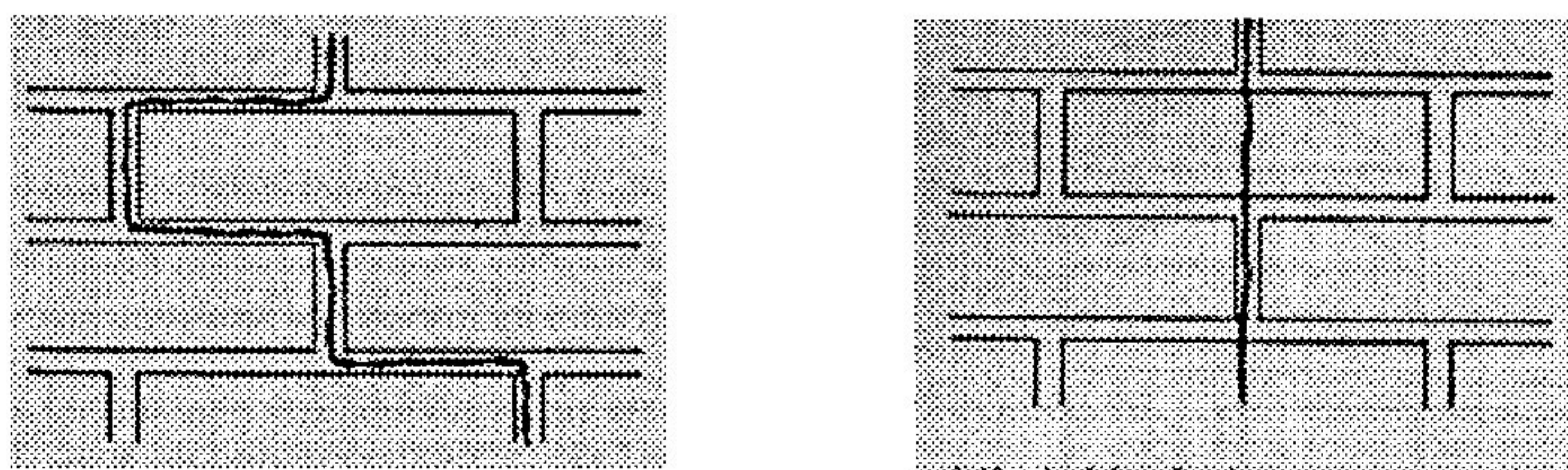
### FISSURAS CAUSADAS POR MOVIMENTAÇÕES TÉRMICAS EM MUROS

Os muros muito extensos podem apresentar fissuras devido à movimentações térmicas. Essas fissuras são tipicamente verticais, podendo ocorrer nos encontros da alvenaria com os pilares ou mesmo no corpo da alvenaria como mostrado através da figura B.1.



**Figura B.1 - Fissuras verticais causadas por movimentações térmicas :  
a) destacamento entre alvenaria e pilar, b) fissura no corpo da alvenaria. [22]**

Dependendo da resistência a tração da argamassa de assentamento e dos componentes da alvenaria as fissuras poderão acompanhar as juntas de assentamento ou mesmo estenderem-se através dos componentes da alvenaria, figura B.2.



**Figura B2 - Fissuras típicas nos componentes da alvenaria. [22]**



## APÊNDICE C

---

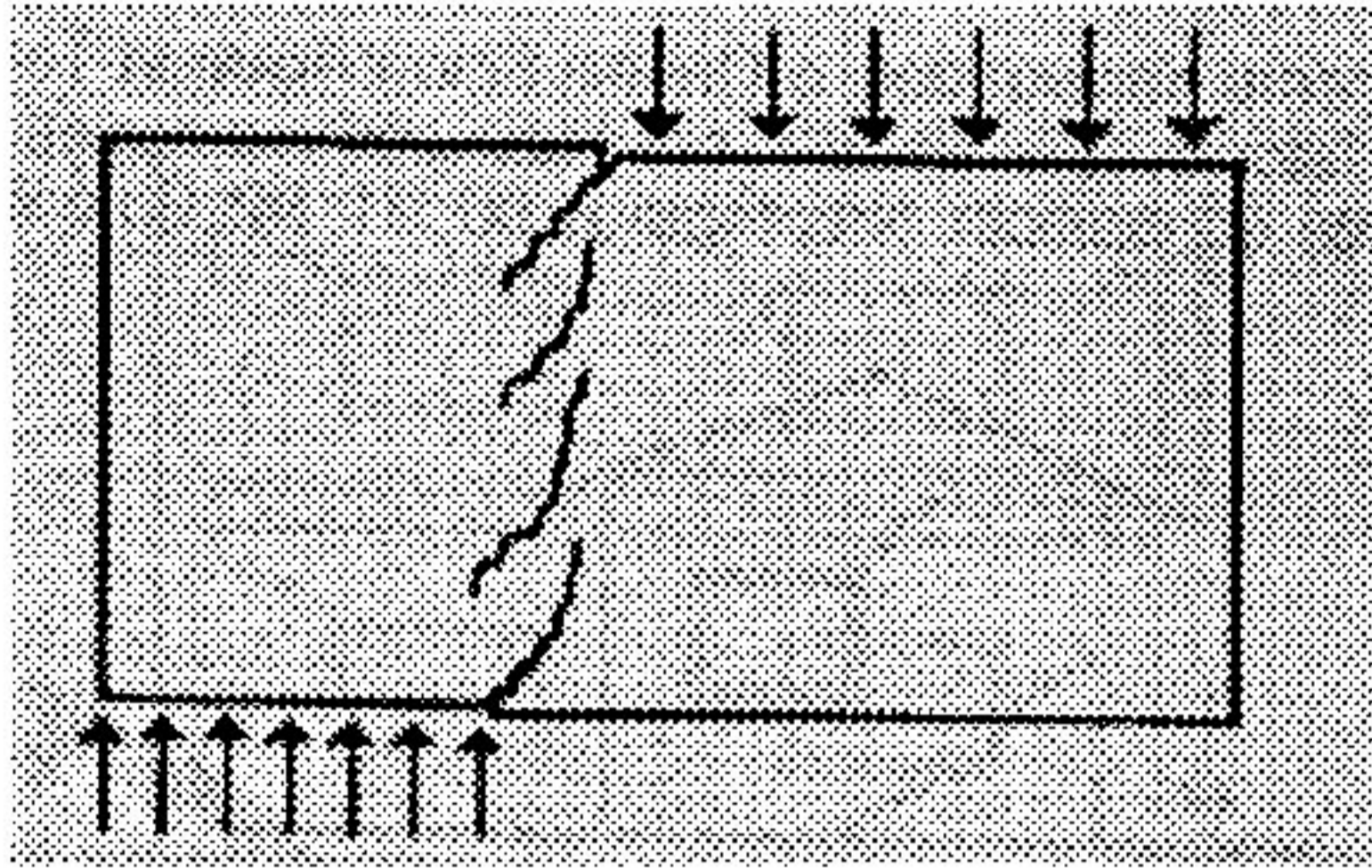
### **FISSURAS PROVOCADAS POR RECALQUES DIFERENCIAIS DAS FUNDAÇÕES**

Os solos são constituídos basicamente por partículas sólidas, entremeadas por água, ar e não raras vezes material orgânico. Sob o efeito de cargas externas todos os solos, em maior ou menor proporção, se deformam. No caso em que estas deformações sejam diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma obra, deformações e tensões de grande intensidade serão introduzidas na estrutura, podendo gerar o aparecimento de fissuras nos componentes da mesma.

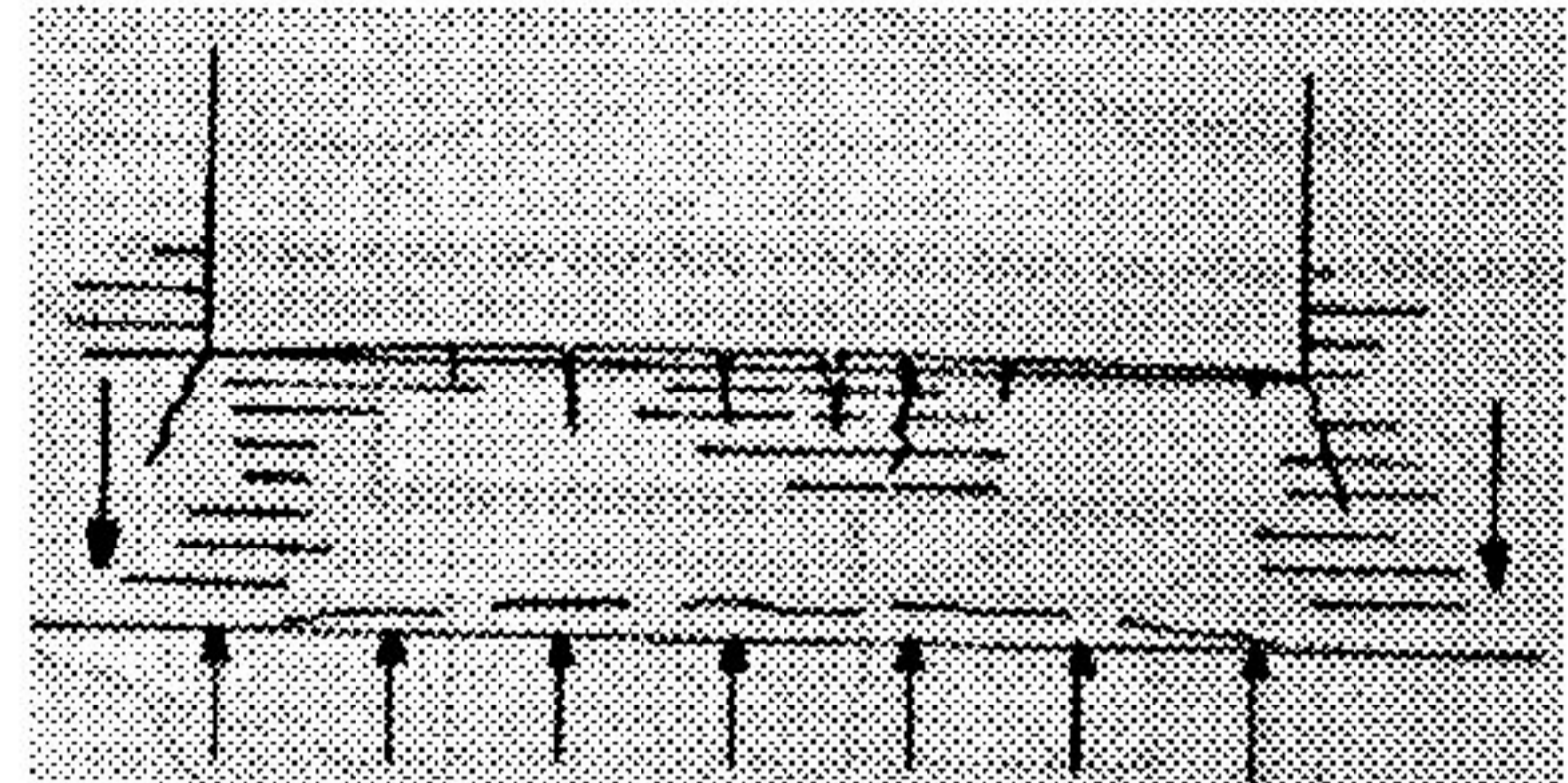
De maneira geral, as fissuras provocadas em paredes por recalques diferenciais são inclinadas, confundindo-se às vezes com as fissuras provocadas por deflexão de componentes estruturais. Porém no primeiro caso as fissuras apresentam aberturas geralmente maiores. Outra característica das fissuras provocadas por recalques é a presença de esmagamentos localizados, em forma de escamas, dando indícios das tensões de cisalhamento que as provocaram.



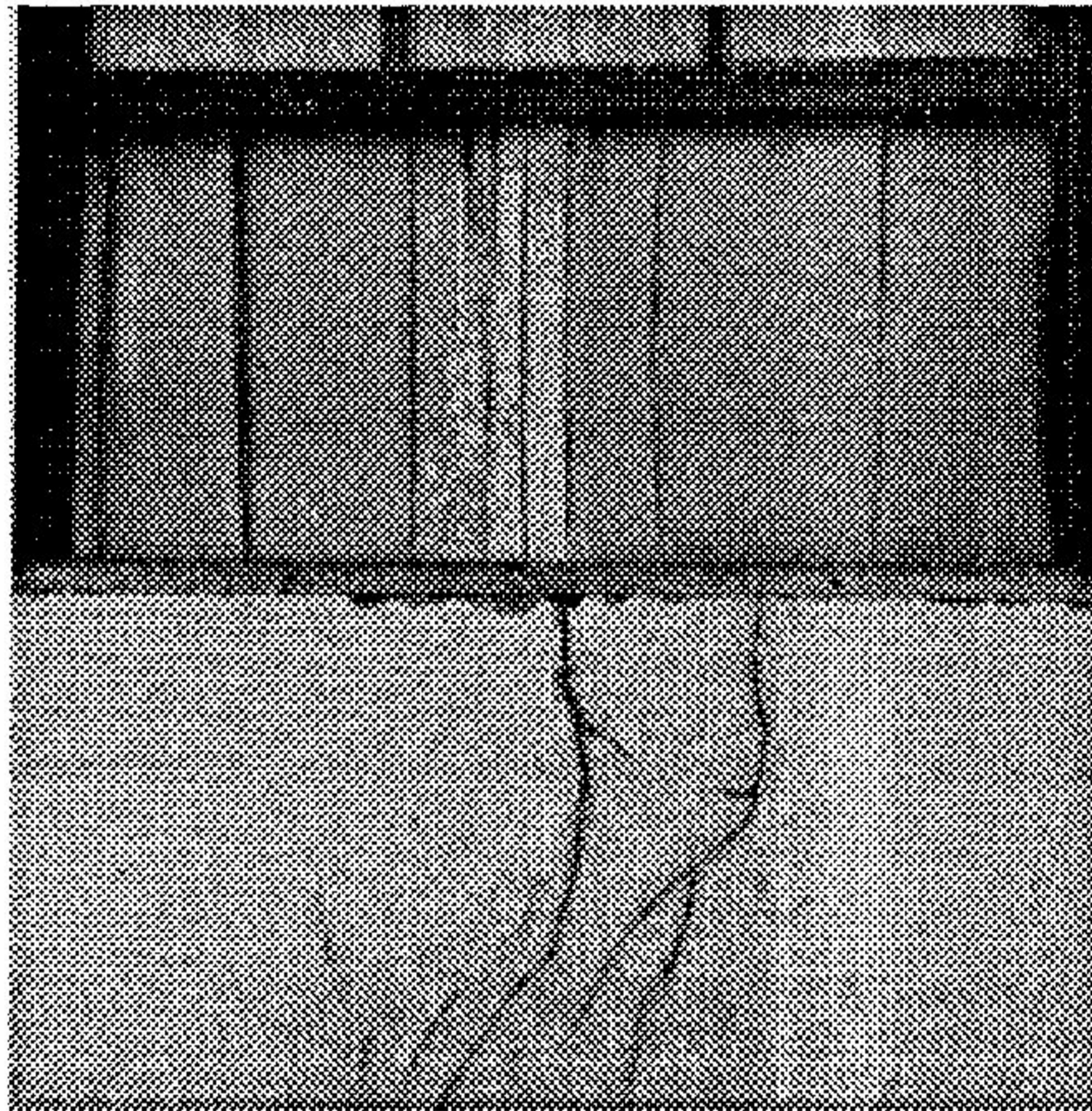
Os recalques diferenciados podem ser causados por carregamentos desbalanceados conforme mostrado na figura C.1.



( a ) Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados - fissuras de cisalhamento



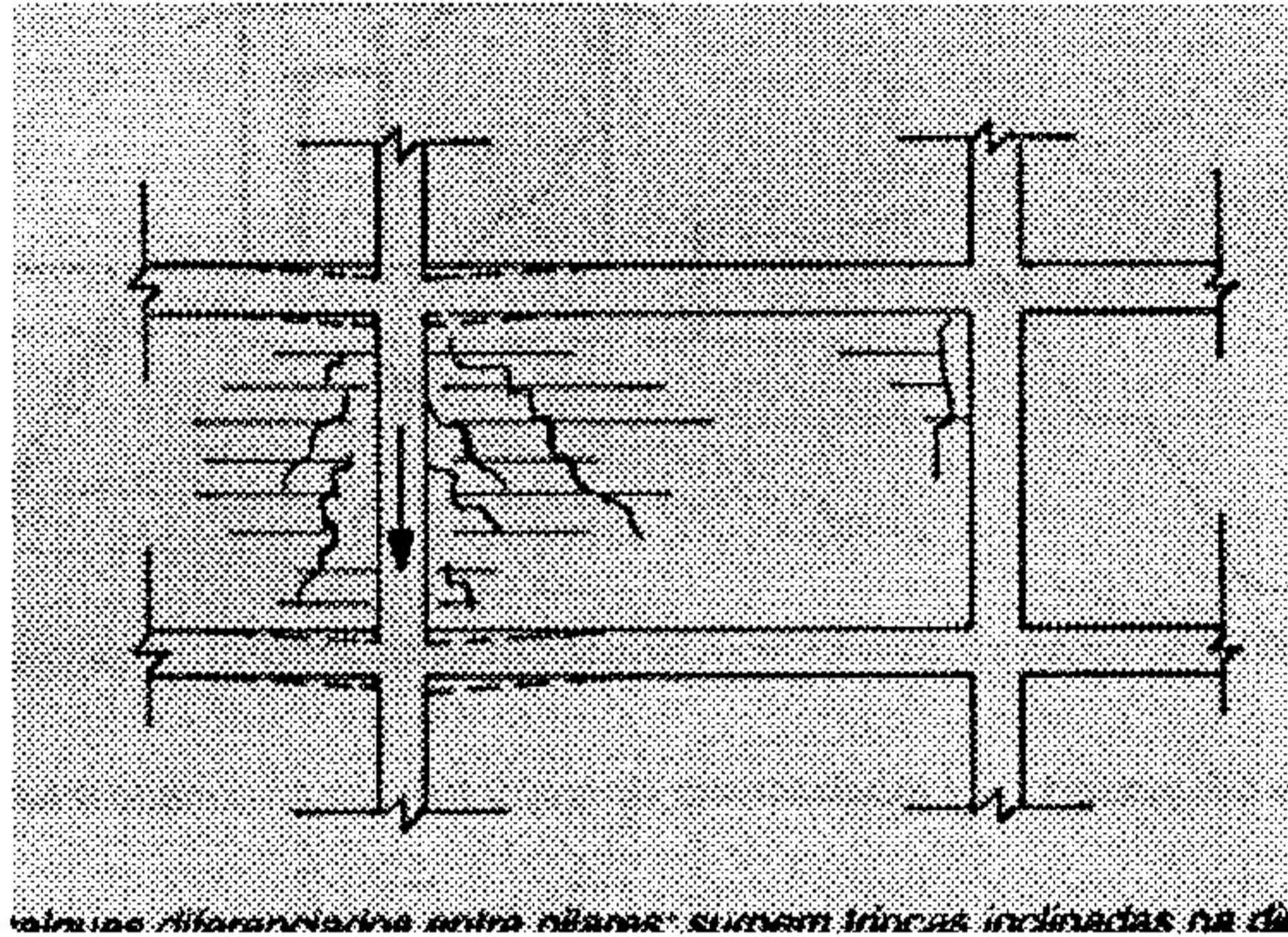
( b ) Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados - fissuras de flexão



( c ) Fissuras de flexão na alvenaria, provocadas pelos recalques mais acentuados da sapata corrida nas regiões vizinhas à janela.



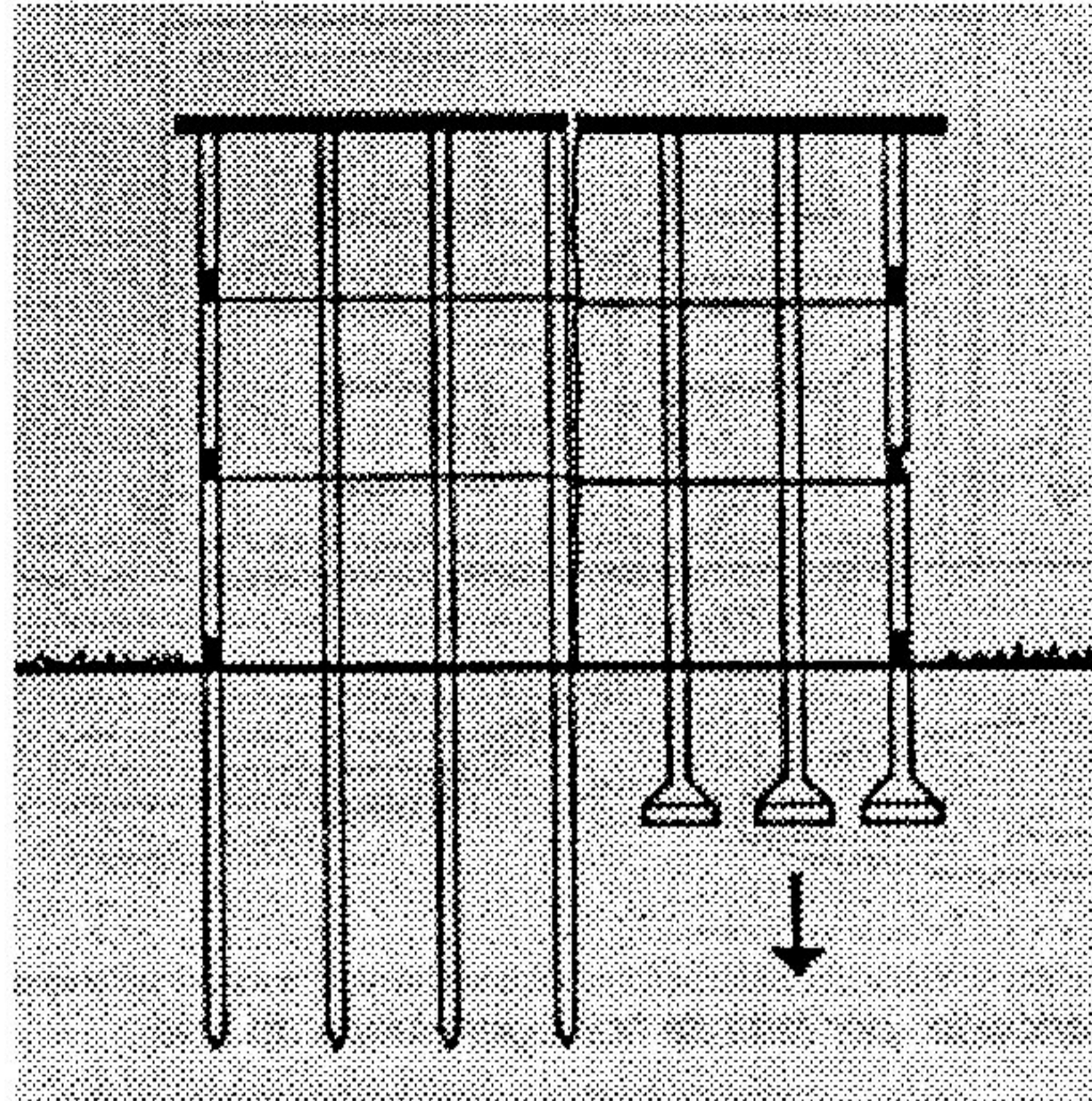
Em edifícios com estrutura reticulada os recalques diferenciais da fundação induzem a fissuração por tração diagonal das alvenarias de vedação, as fissuras inclinam-se na direção do pilar que sofreu maior recalque, conforme mostrado na figura C2.



**Figura C.2 - Recalques diferenciados entre pilares. [22]**

A construção de edifícios dotados de um corpo principal ( mais carregado ) e de um corpo secundário ( menos carregado ), com um mesmo sistema de fundação conduz a recalques diferenciados entre as duas partes, surgindo fissuras verticais entre elas. A adoção de sistemas diferentes de fundação numa mesma obra, conforme representado na figura C.3, provoca o mesmo tipo de problema.

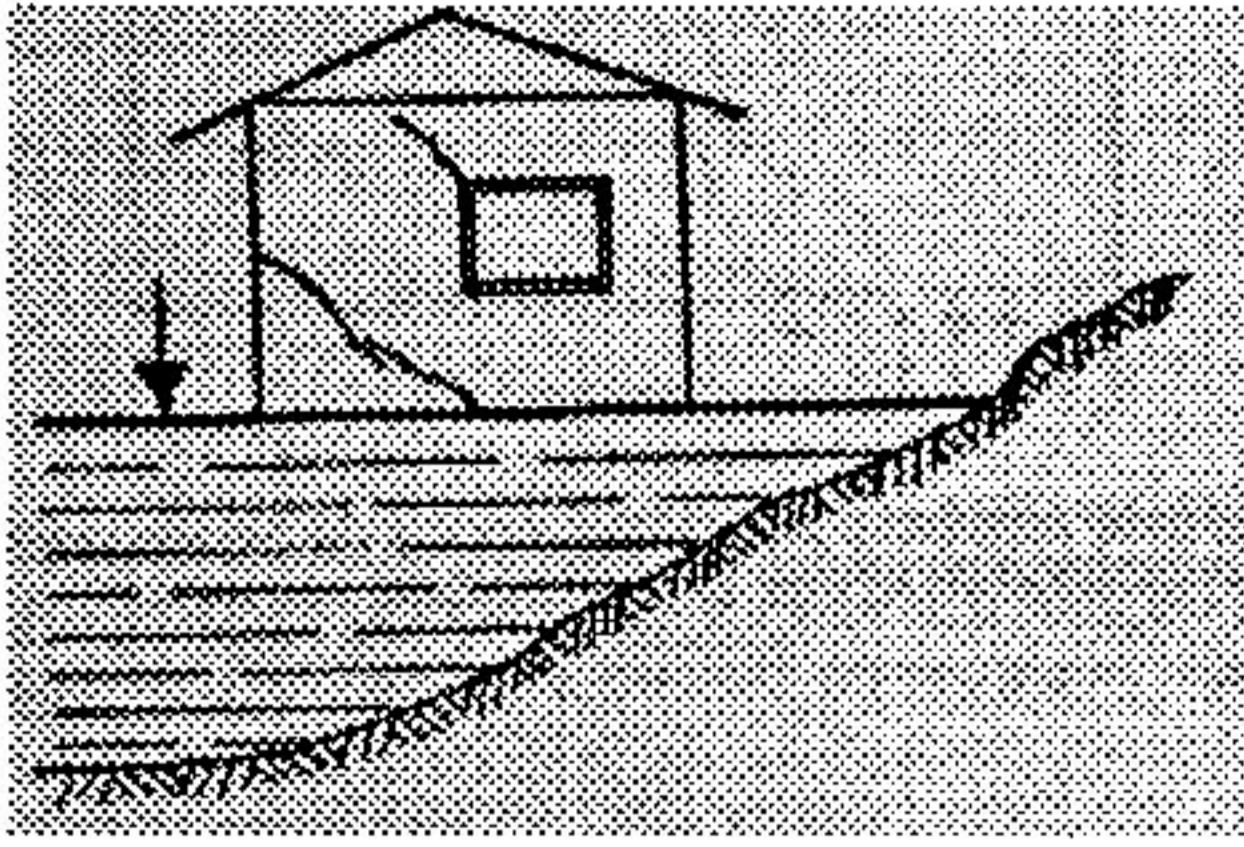




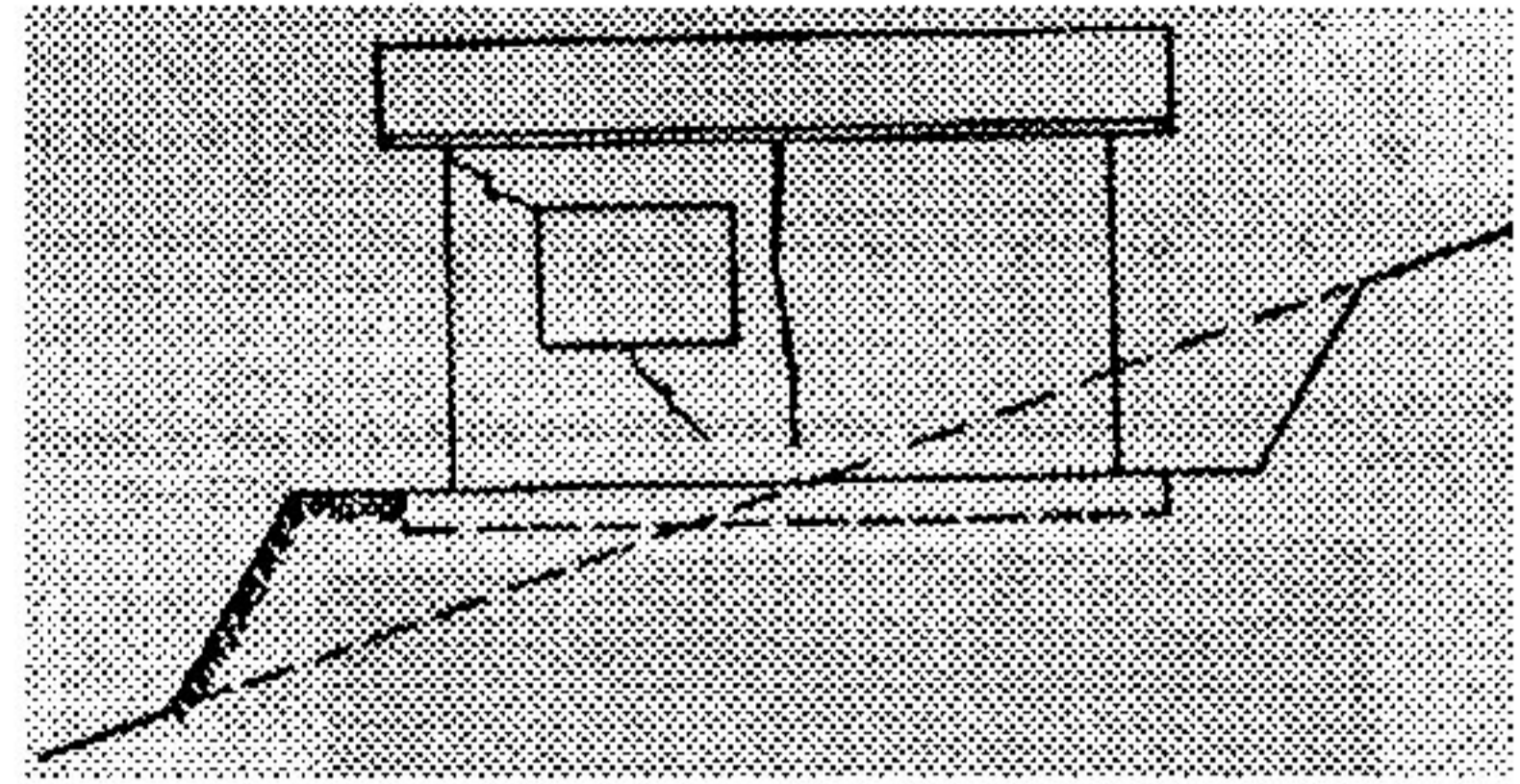
**Figura C.3 - Recalques diferenciais entre os diferentes sistemas de fundação. [22]**

Para edifícios uniformemente carregados, diversos fatores podem conduzir aos recalques diferenciados e conseqüentemente, à fissuração do edifícios. Na figura C.4 são ilustrados alguns desses casos.

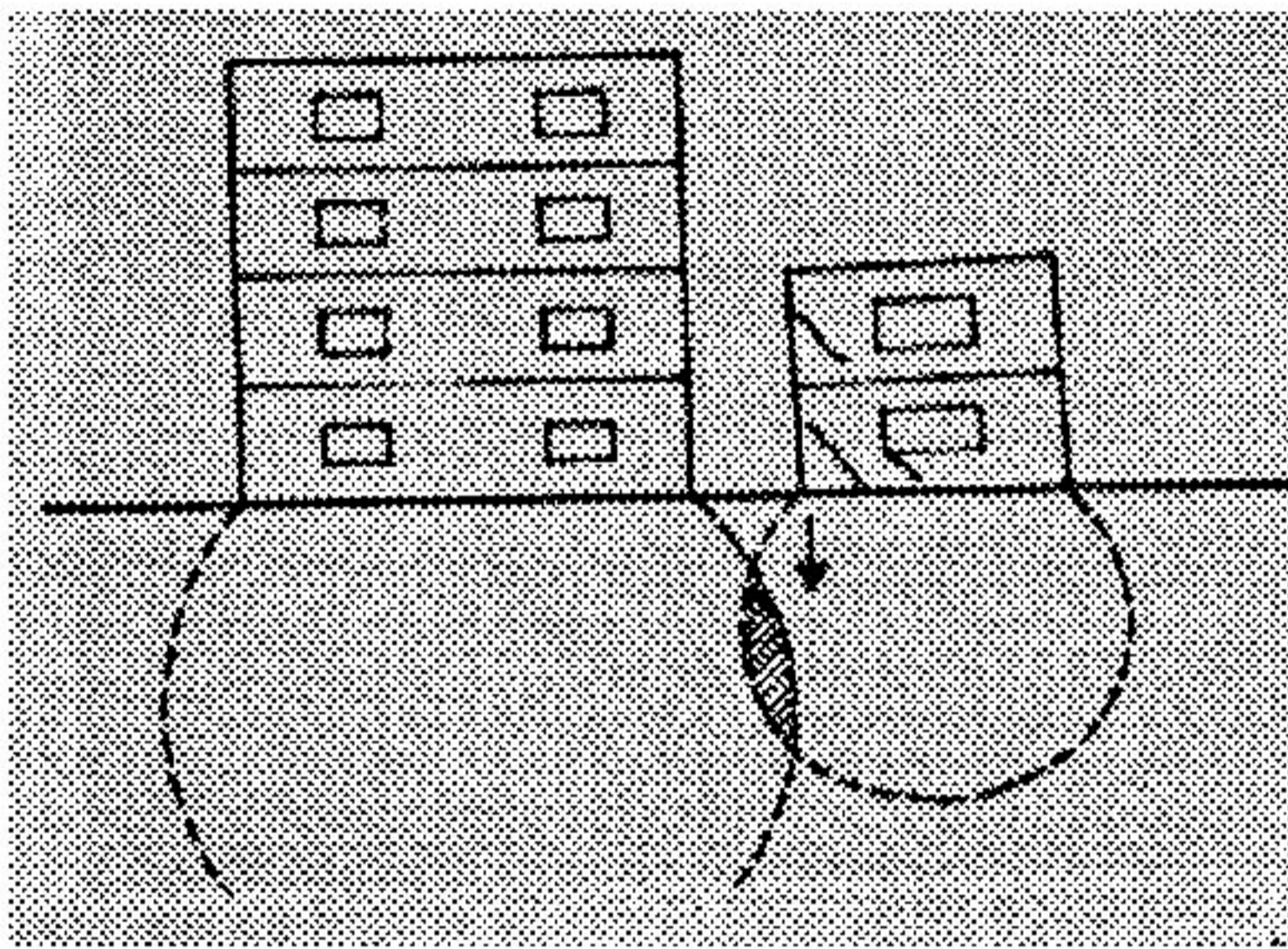




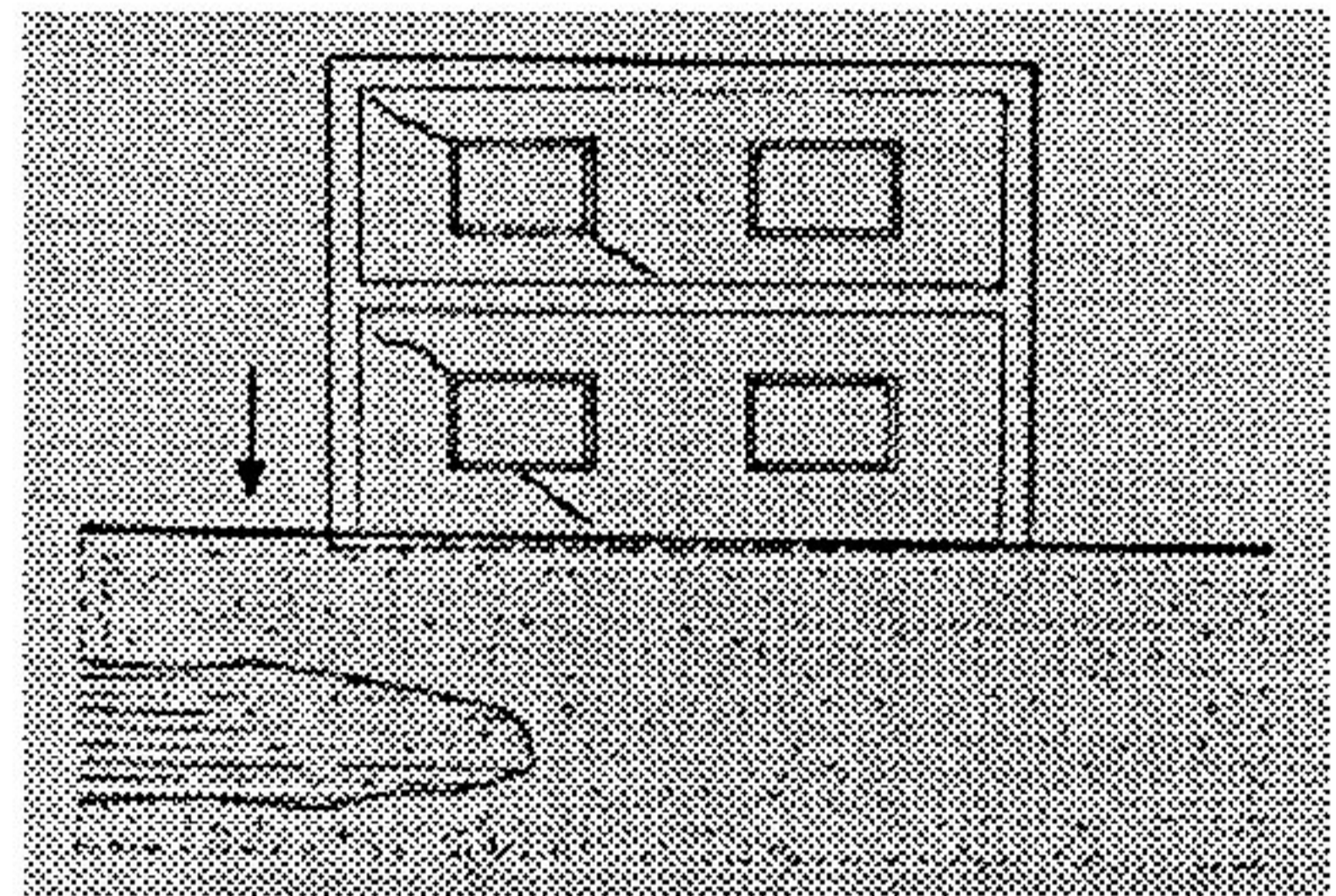
( a ) Recalque diferenciado, por consolidação distintas do aterro carregado.



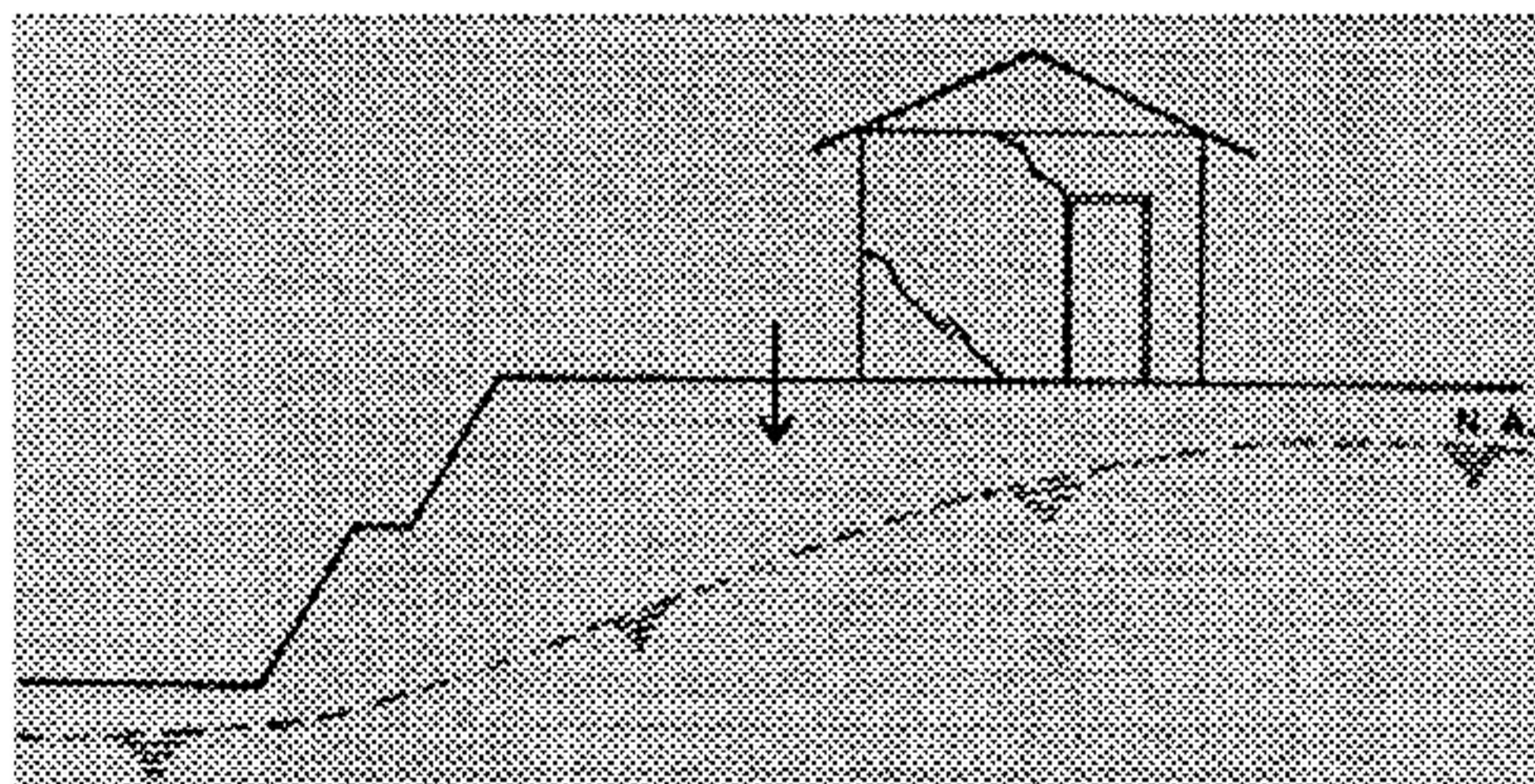
( b ) Fundações assentadas sobre seções de corte e aterro.



( c ) Recalque diferenciado no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões, em função da construção do edifício maior.



( d ) Recalque diferenciado, por falta de homogeneidade do solo.



( e ) Recalque diferenciado, por abaixamento do lençol freático.



## APÊNDICE D

---

### FISSURAS CAUSADAS POR MOVIMENTAÇÕES HIGROSCÓPICAS

As alterações de umidade dos materiais provocam variações dimensionais nos elementos e componentes da construção. O aumento da umidade repercute numa expansão e a diminuição da umidade repercute numa contração do material. A umidade pode ter acesso aos materiais de construção através de diversas vias :

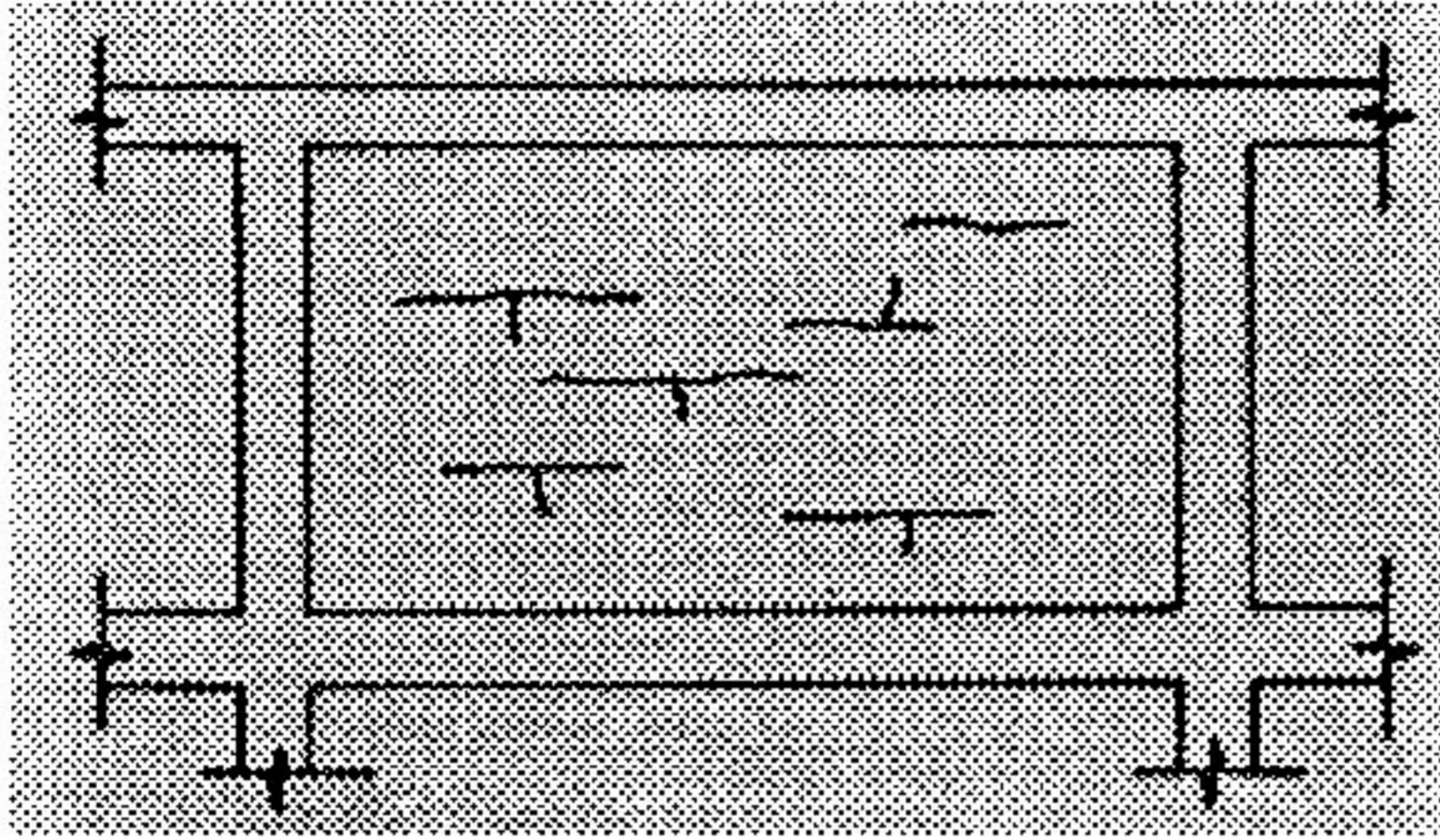
- umidade resultante da produção dos componentes;
- umidade proveniente da execução da obra;
- umidade do ar ou proveniente de fenômenos meteorológicos e
- umidade do solo

No caso da existência de vínculos que restrinjam essas movimentações poderão ocorrer fissuras nos elementos e componentes do sistema construtivo.

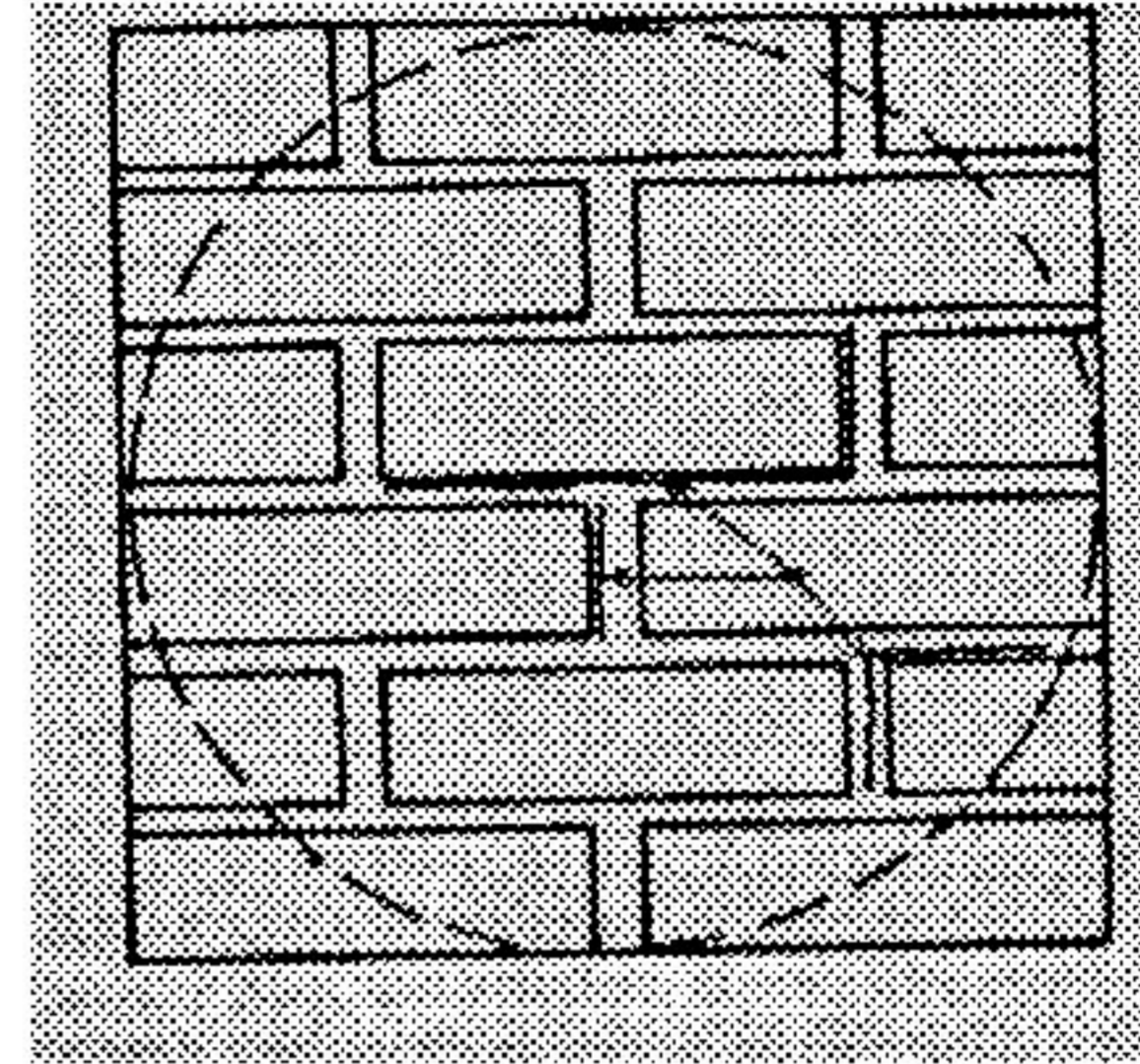
As fissuras provocadas por variação de umidade dos materiais de construção são muito semelhantes às aquelas provocadas pelas variações de temperatura. Entre um caso e outro, as aberturas poderão variar em função das propriedades hidrotérmicas dos materiais e das amplitudes de variação da temperatura e da umidade.

Movimentações higroscópicas podem originar destacamento entre componentes de alvenaria e argamassa de assentamento, figura D.1. Esses destacamentos ocorrem principalmente em função da aderência entre argamassa e componentes de alvenaria, módulo de deformação dos materiais em contato, propriedades higroscópicas desses materiais e intensidade da variação da umidade.





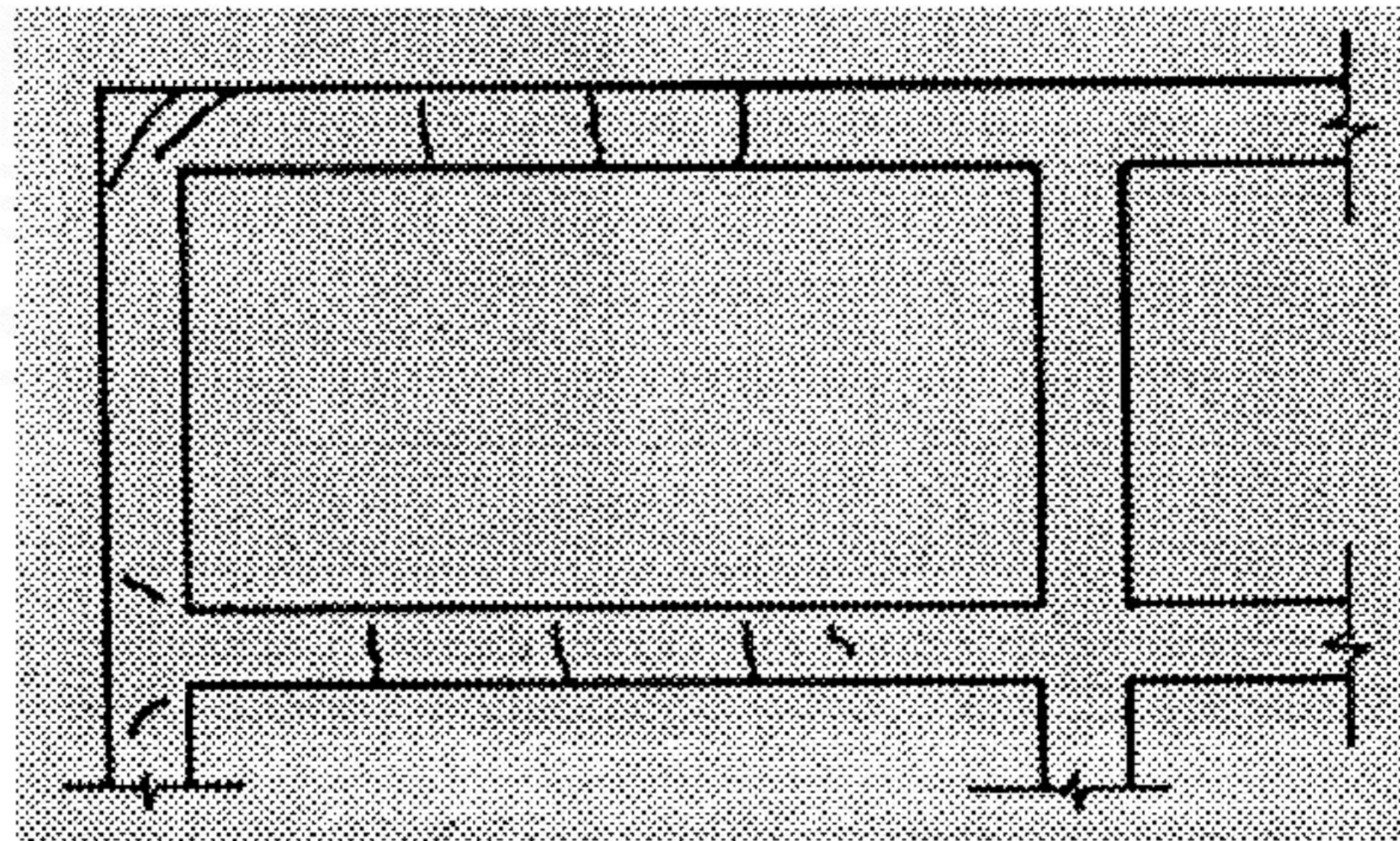
( a ) Fissuras horizontais na alvenaria provenientes da expansão dos tijolos



( b ) Destacamentos entre argamassa e componentes de alvenaria.

**Figura D.1 - Fissuras em alvenarias devido movimentações higroscópicas. [22]**

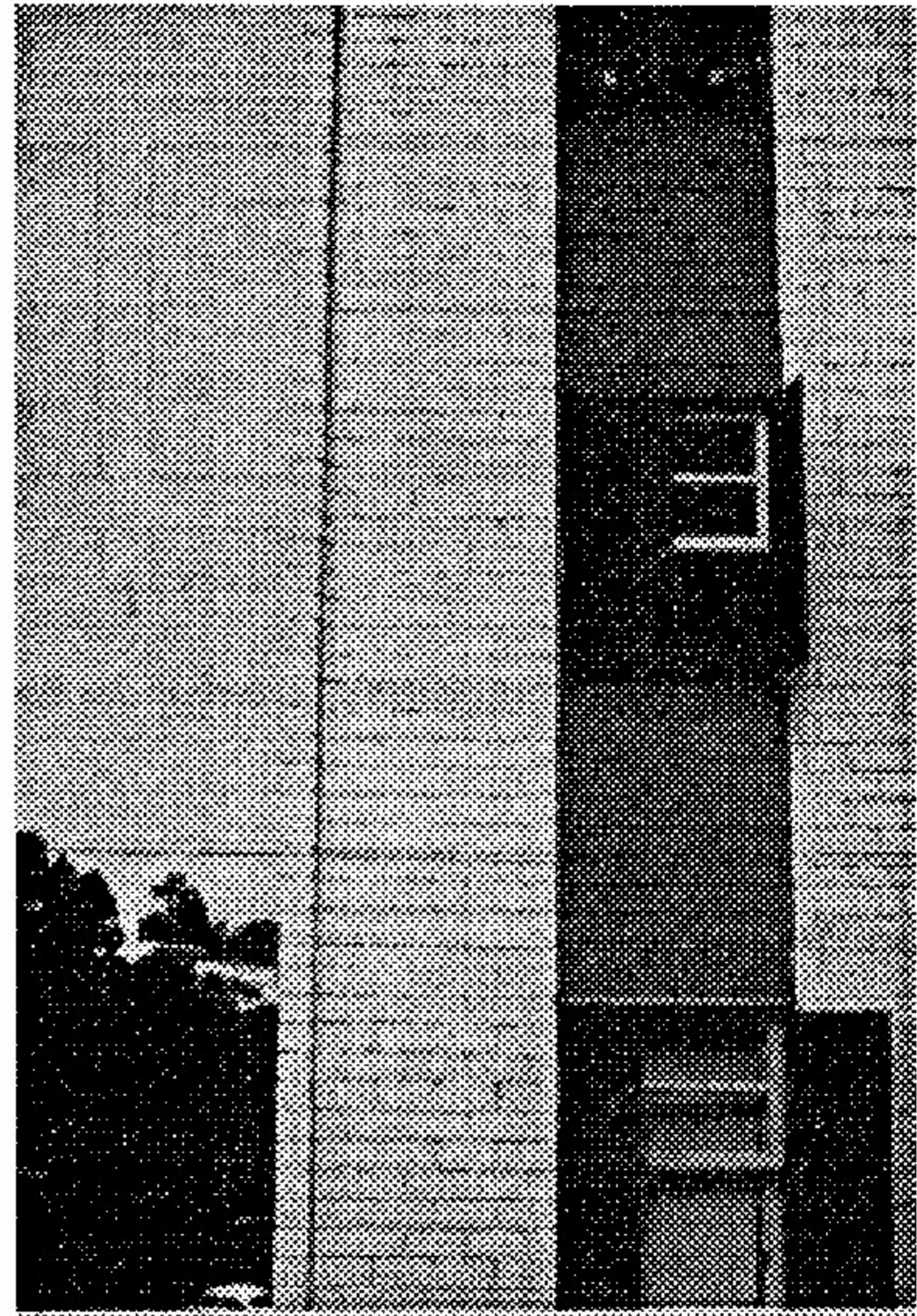
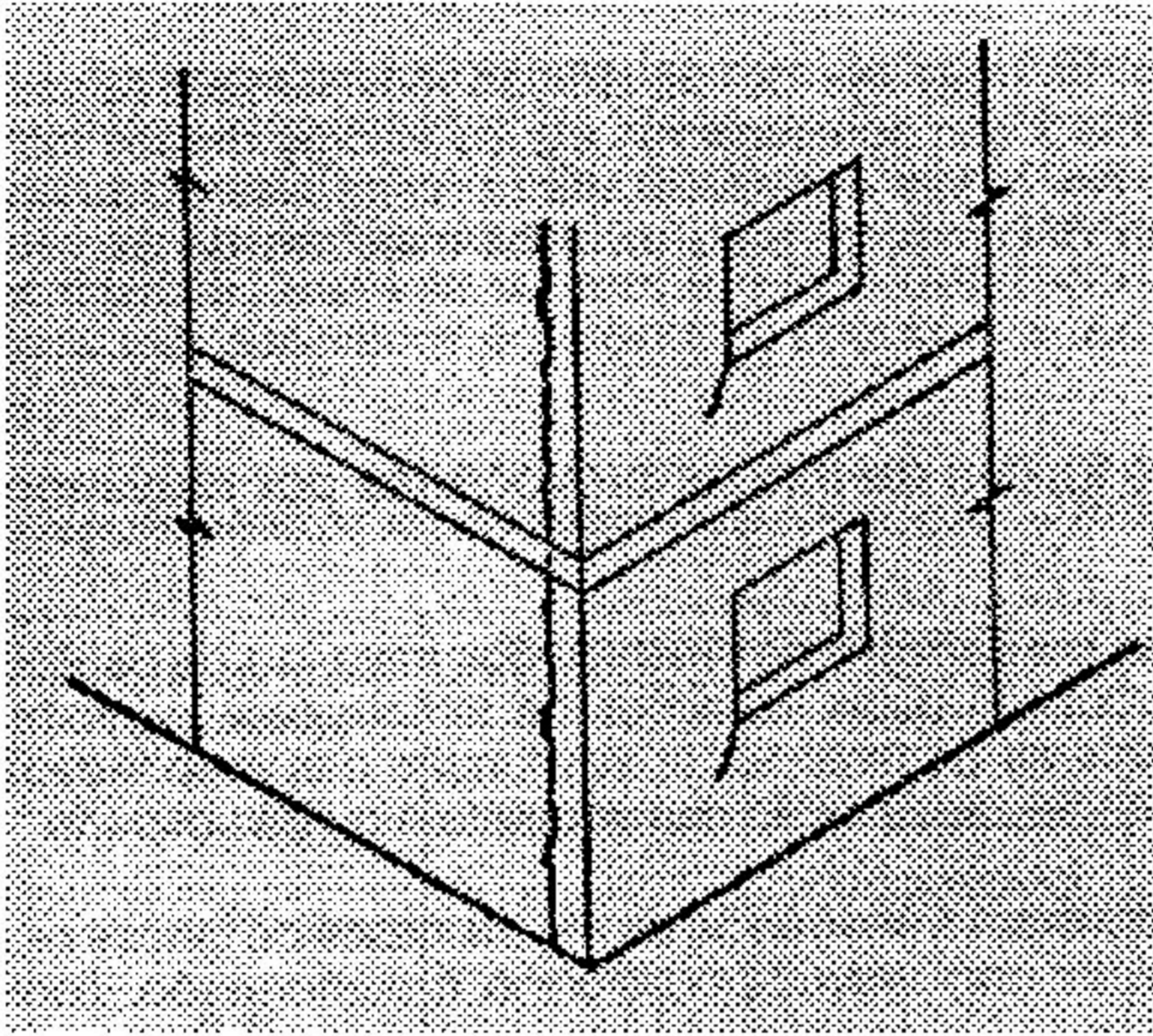
A expansão da alvenaria solicita o concreto à tração provocando fissuras nas peças estruturais conforme a figura D.2.



**Figura D.2 - Fissuras nas peças estruturais, devido a expansão da alvenaria. [22]**

A expansão dos tijolos por absorção de umidade pode provocar o aparecimento de uma fissura vertical da alvenaria no canto do edifício, figura D.3.





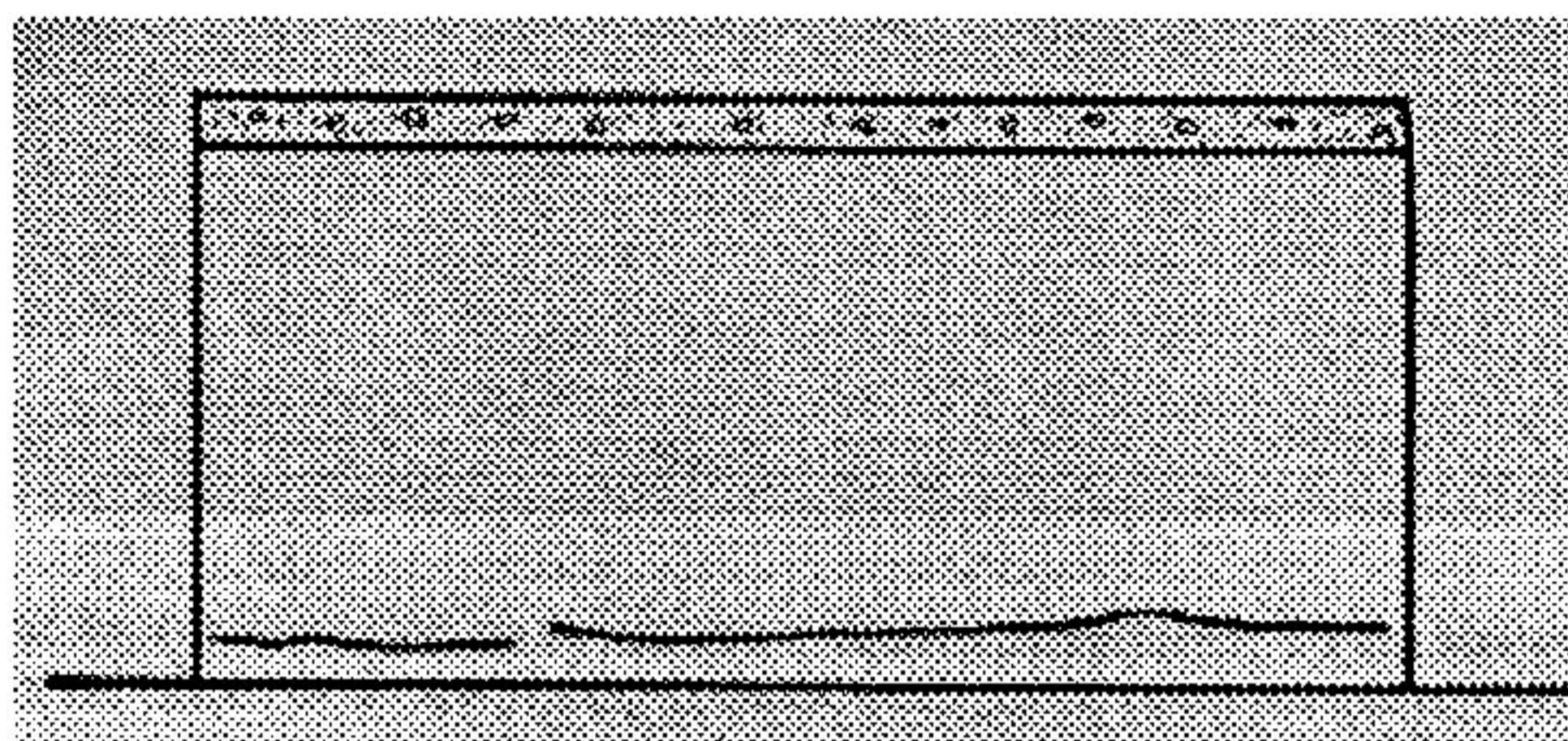
( a ) Fissuramento vertical da alvenaria

( b ) Destacamento entre paredes

**Figura D.3 - Configurações típicas de fissuração devido a absorção de umidade dos tijolos.[22]**

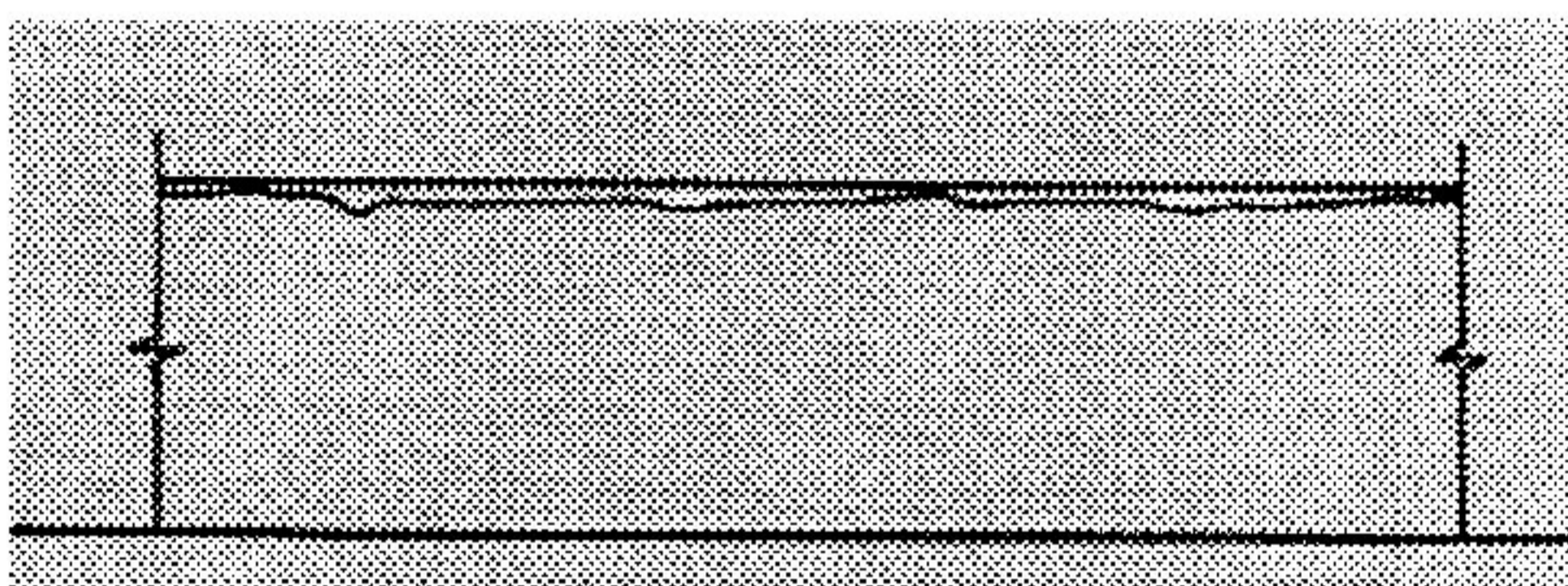
Trincas horizontais podem aparecer também na base de paredes, figura D.4. Nesse caso os componentes de alvenaria que estão em contato direto com o solo absorvem sua umidade, apresentando movimentações diferenciais em relação às fiadas superiores que estão sujeitas à insolação direta e a perda da água por evaporação. Essas fissuras quase sempre são acompanhadas por eflorescências.





**Figura D.4 - Fissura horizontal na base da alvenaria por efeito da umidade do solo.**  
[22]

No topo de muros, peitoris e platibandas não protegidos podem surgir fissuras conforme a figura D.5 devido a umidade. A argamassa do topo da parede absorve água de chuva movimentando-se diferencialmente em relação ao corpo do muro.



**Figura D.5- Destacamento da argamassa no topo do muro.** [22]