

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

PIERRE RENÉ NORBERT SOUDAIS

**ESTUDO DA ADERÊNCIA ENTRE O CONCRETO CELULAR E AS
BARRAS DE AÇO**

ILHA SOLTEIRA
2014

PIERRE RENÉ NORBERT SOUDAIS

ESTUDO DA ADERÊNCIA ENTRE O CONCRETO CELULAR E AS BARRAS DE AÇO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de conhecimento: Estruturas.

Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO
Orientador

Prof. Dr. GUILHERME ARIS PARSEKIAN
Co-orientador

ILHA SOLTEIRA
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S719e Soudais, Pierre René Norbert.
Estudo da aderência entre o concreto celular e as barras de aço / Pierre René Norbert Soudais. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014
312 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2014

Orientador: Jefferson Sidney Camacho
Co-orientador: Guilherme Aris Parsekian
Inclui bibliografia

1. Concreto celular. 2. Tensão última de aderência. 3. Resistência à compressão.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Estudo da aderência entre o concreto celular e as barras de aço

AUTOR: PIERRE RENÉ NORBERT SOUDAIS

ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. GUILHERME ARIS PARSEKIAN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MAURO MITSUUCHI TASHIMA

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. GILBERTO CARBONARI

Departamento de Engenharia Civil / Universidade Estadual de Londrina

Data da realização: 27 de junho de 2014.

A minha afilhada Clarisse, que nasceu durante o início deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jefferson Sidney Camacho (orientador), pelas orientações e ajuda durante todas as fases deste projeto, desde a aceitação da minha orientação até a redação da dissertação,

Ao Prof. Guilherme Aris Parsekian (co-orientador), pelas orientações e ajuda ao longo do trabalho, assim como pelo apoio logístico e financeiro durante a minha estadia em São Carlos,

Ao Antônio Carlos Chiocca (diretor da empresa Gethal Sistemas Construtivos), pelo fornecimento dos materiais da pesquisa e pela ajuda financeira,

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa,

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia UNESP de Ilha Solteira (Flávio, Gilberto, Gilson, Mário, Nathália, Ronaldo), pelo auxílio durante as atividades práticas do trabalho,

Aos técnicos dos laboratórios de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (Ricardo, Bruna), pela ajuda durante a moldagem dos corpos-de-prova,

Aos colegas do curso de Mestrado e amigos (Cássio, Fernando, Leandro, Rafael, Thalita), pela ajuda durante as diferentes etapas da pesquisa,

Aos meus amigos da República “Kilombo” (“Furmiga”, “Gurdura”, “Nerso”, “Linguixa”, “Vô Paulo”, “Pantera”), pela paciência e ótima convivência,

Aos meus pais, Jean-Luc e Marie-France, assim como a minha irmã Julie, simplesmente por fazerem parte da minha vida,

A Deus, por me ter permitido viver até agora com saúde.

“Não é paradoxo dizer que em nossos momentos mais teóricos podemos estar mais próximos de nossas aplicações mais práticas”.

Alfred North Whitehead (1861-1947), filósofo e matemático britânico.

RESUMO

O concreto celular, que se caracteriza por ter um peso próprio reduzido pela incorporação artificial de ar no concreto, pode constituir uma alternativa ao concreto armado nas estruturas de pequeno e médio porte. A baixa solicitação dos elementos estruturais permite aproveitar as principais vantagens do material: melhoria da isolamento, economia de material para produzir o concreto e facilidade do transporte dos elementos pré-moldados. A fim de conhecer melhor o desempenho mecânico do material para aplicações estruturais, o presente trabalho trata da avaliação da aderência entre o concreto celular e as barras de aço. Para estudar esse fenômeno, foram realizados ensaios de arrancamento com barras de diâmetro igual a 4,2 mm, parcialmente imersas em corpos-de-prova de concreto cilíndrico. A variação da massa específica do concreto e a presença ou não de uma barra transversal dentro do cilindro constituem as variáveis da pesquisa. No total foram realizados três tipos de concreto, com massa específica aparente aos 28 dias de 2255, 1565 e 1510 kg/m³. Entre outros resultados, a pesquisa revelou, pelo arrancamento de barras simples de diâmetro igual a 4,2 mm, o forte decréscimo da tensão de aderência junto com o rebaixamento da massa específica aparente do concreto. Confrontando os resultados com trabalhos semelhantes, a elevada relação água/cimento parece ser o parâmetro que mais influenciou os resultados. Também, parâmetros que podem ter influenciado a tensão de aderência são a quantidade de agente espumígeno colocada nos concretos, a utilização de agregado graúdo e talvez o diâmetro das barras arrancadas. A introdução da barra transversal no meio do cilindro permitiu obter um ganho de resistência ao arrancamento da barra longitudinal, que cresceu junto com o rebaixamento da massa específica do concreto celular. Assim, a utilização de ancoragens especiais (não exclusivamente retas), que permite compensar a baixa aderência entre o concreto celular e as barras, pode se tornar uma solução para melhorar o desempenho mecânico do concreto celular.

Palavras-chave: Concreto celular. Tensão última de aderência. Resistência à compressão.

ABSTRACT

Cellular concrete is a lightweight concrete obtained by aerating agent, which produces air-voids into the mixture. Low loads acting on houses or small buildings permits to use cellular concrete advantages: good thermal insulation, lower concrete production costs and simplification of precast transportation. To improve the mechanical characteristic of structural cellular concrete knowledge, this work deals with bond between cellular concrete and steel rebars. Pull-out tests of 4,2 mm diameter rebars partly immersed into concrete cylinders were made. Concrete unit weight variation and setting of a transverse rebar into the concrete cylinder center constitute the variables of the work. Three types of mixture were prepared: one without aerating agent (with a dry unit weight of 2255 kg/m^3), and two with different aerating agent rates (with a dry unit weight equal to 1565 and 1510 kg/m^3). One of the conclusions of the study is the large decrease of bond stress between 4,2 mm diameter rebars and cellular concrete, due to concrete unit weight reduction. Comparison of results with others studies reveals that water/cement ratio could be the main variable which influences bond stress. Moreover, other variables like aerating agent quantity introduced into the mixture, coarse aggregate use or rebar diameter could influence the bond stress value. Transverse rebar introduced into concrete cylinder center increased the ultimate pull-out force of the test: the gain of bond produced by the transverse rebar grew up when the cellular concrete unit weight had been reduced. Therefore, special anchorages (not exclusively straight), permitting bond improvement between cellular concrete and 4,2 mm diameter rebar could be a solution to improve the mechanical performance of cellular concrete.

Keywords: Foamed concrete. Bond stress. Compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos concretos celulares.....	42
Figura 2 - Casa térrea executada em concreto celular.	47
Figura 3 - Edifício executado em concreto celular (paredes estruturais).	47
Figura 4 - Ampliação de uma casa inicialmente feita em concreto celular.	47
Figura 5 - Aderência por adesão.	48
Figura 6 - Aderência por atrito.	49
Figura 7 - Aderência mecânica.	49
Figura 8 - "Pull-out test" conforme RILEM (1978): croqui sem escala.	51
Figura 9 - Ensaio de aderência proposto por Piyamaikongdech (2007).	52
Figura 10 - Ensaio de aderência proposto por Oliveira (2006).	55
Figura 11 - Agregado miúdo utilizado na pesquisa.....	60
Figura 12 - Agregado graúdo utilizado na pesquisa	61
Figura 13 - Aditivo plastificante utilizado nos três traços da pesquisa.	62
Figura 14 - Incorporador de ar Gethal ® utilizado na pesquisa.....	63
Figura 15 - Fibras de polipropileno utilizadas na pesquisa.	64
Figura 16 - Barras (a) e telas (b) de aço utilizadas na pesquisa.	64
Figura 17 - Vista geral dos materiais antes da elaboração dos traços.....	65
Figura 18 - Moldagem (a) e pesagem (b) do concreto para determinação dos γ_0	66
Figura 19 - Abatimento do tronco de cone dos traços Tr1 (a), Tr2 (b) e Tr3 (c) conforme ABNT NBR NM 67:1998.	69
Figura 20 - Prensa universal EMIC ® utilizada para determinação de f_{cm} , E_{ci}	69
Figura 21 - Determinação do módulo de elasticidade (E_{ci}).	70
Figura 22 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral.	71
Figura 23 - Corte longitudinal do CP tipo "Barra".	73
Figura 24 - Corte longitudinal do CP tipo "Barra" dotado de dois extensômetros.	73

Figura 25 - Exemplo de resíduo de barra transversal cortada sobrando na armadura do CP tipo "Tela".	74
Figura 26 - Corte longitudinal do CP tipo "Tela".	74
Figura 27 - Corte longitudinal do CP tipo "Tela" dotado de dois extensômetros.	75
Figura 28 - Dispositivo utilizado para moldar os CPs do tipo "Barra".	76
Figura 29 - Corte dos moldes cilíndricos para CPs do tipo "Barra" e "Tela".	77
Figura 30 - Controle da altura real dos moldes com paquímetro manual.	77
Figura 31 - Realização dos discos de PVC (a) com furo no centro (b).	78
Figura 32 - Preparação das luvas para ligação das bases com os moldes.	78
Figura 33 - Tubos de apoio utilizados para permitir a saída da armadura fora do cilindro de concreto.	79
Figura 34 - Preparação das placas de madeirite.	79
Figura 35 - Dispositivo utilizado para moldar os CPs do tipo "Tela".	80
Figura 36 - Corte das armaduras para os CPs do tipo "Barra".	81
Figura 37 - Corte das armaduras para os CPs do tipo "Tela".	81
Figura 38 - Padronização do comprimento das barras transversais (a) e redução dos pontos de solda com grossa média (b).	82
Figura 39 - Controle do comprimento das barras transversais (t_b).	82
Figura 40 - Comprimento de ancoragem nas armaduras: "Barra" (a) e "Tela" (b).	83
Figura 41 - Corte transversal (a) e longitudinal (b e c) dos tubos flexíveis para facilitar a colocação nas armaduras do tipo "Barra" (b) e "Tela" (c).	83
Figura 42 - Enfição (a e b) e fixação (c e d) dos tubos flexíveis com fita isolante. ...	83
Figura 43 - Verificação com paquímetro do comprimento l_b das armaduras do tipo "Barra" (a) e "Tela" (b) antes os ensaios de arrancamento.	84
Figura 44 - Colocação dos extensômetros nas armaduras.	85
Figura 45 - Montagem final dos moldes.	85
Figura 46 - Moldagem dos CPs.	86
Figura 47 - Adensamento do concreto sem agente espumígeno.	86

Figura 48 - Filme de plástico colocado no topo dos CPs após a moldagem.....	86
Figura 49 - Desforma dos CPs.	87
Figura 50 - Proteção das armaduras com fita isolante antes da cura dos CPs.....	87
Figura 51 - Cura em tanque (a) e armazenamento (b) dos CPs.....	88
Figura 52 - Retirada da fita (a), da sobra do tubo flexível (b), lixamento do CP (c)...	88
Figura 53 - Capeamento dos CPs.....	89
Figura 54 - Vista em elevação do sistema de arrancamento (croqui).	89
Figura 55 - Prensa universal utilizada para os ensaios de arrancamento.....	90
Figura 56 - Célula de carga (a) e LVDT (b).	90
Figura 57 - Dispositivo adotado para aumentar a área de contato entre o LVDT e a extremidade livre da armadura.	91
Figura 58 - Dispositivo para encaixe do CP na prensa.....	91
Figura 59 - Alinhamento dos CPs com a vertical.....	91
Figura 60 - CP sendo rompido (a) e sistema de aquisição de dados (b).	92
Figura 61 - Verificação do comprimento de ancorragem após abertura dos cilindros para os CPs do tipo “Barra” (a) e “Tela” (b).	92
Figura 62 - Moldagens: excelente (a), regular (b) e com defeitos (c e d).....	95
Figura 63 - Conceitos adotados para avaliação da colocação da armadura no molde: excelente (a), regular (b) e insuficiente (c).....	96
Figura 64 - Ruptura dos CPs das amostras AB1 (a), AB2 (b) e AB3 (c).....	96
Figura 65 - Não fissuração dos cilindros após ruptura dos CPs das amostras AB1 (a), AB2 (b) e AB3 (c).	97
Figura 66 - Modo de ruptura: AT1 (a e b), AT2 (c e d) e AT3 (e e f).....	97
Figura 67 - Não fissuração dos cilindros da amostra AT1 (a), fissuração e esmagamento dos cilindros das amostras AT2 (b) e AT3 (c).....	98
Figura 68 - Interferência na zona de aderência provocada pela colocação dos extensômetros (exemplo do CP B1-1).	99
Figura 69 - Modo de ruptura dos CPs da amostra AT1-E (exemplo do CP T3-1).	99
Figura 70 - Modo de ruptura dos CPs da amostra AT3-E (exemplo do CP T1-3)...	100

Figura 71 - Diagramas $\tau_b\text{-}\Delta$ da amostra AB1.	101
Figura 72 - Diagramas $\tau_b\text{-}\Delta$ da amostra AB2.	102
Figura 73 - Diagramas $F_t\text{-}\Delta$ da amostra AT1.	103
Figura 74 - Diagramas $F_t\text{-}\Delta$ da amostra AT1-E.	104
Figura 75 - Diagramas $F_t\text{-}\Delta$ da amostra AT2.	105
Figura 76 - Diagramas $F_t\text{-}\Delta$ da amostra AT3.	106
Figura 77 - Diagramas $F_t\text{-}\Delta$ da amostra AT3-E.	107
Figura 78 - Diagramas $F_t\text{-}\varepsilon_s$ da amostra AT1-E.	108
Figura 79 - Diagramas $F_t\text{-}\varepsilon_s$ da amostra AT3-E.	109
Figura 80 - Diagrama $F_t\text{-}\Delta$ médio obtido para cada amostra.	112
Figura 81 - Diagramas $F_t\text{-}\varepsilon_s$ das amostras AT1-E e AT3-E.	112
Figura 82 - Evolução de f_c em função de γ_{28} (síntese).	113
Figura 83 - Evolução de τ_{bu} em função de γ_{28} (síntese).	115
Figura 84 - Curva granulométrica do agregado miúdo conforme as recomendações da ABNT NBR NM 248:2003 e da ABNT NBR 7211:2009.	128
Figura 85 - Curva granulométrica do agregado graúdo conforme as recomendações da ABNT NBR NM 248:2003 e da ABNT NBR 7211:2009.	129
Figura 86 - CP B1-1: antes arrancamento (parte externa).	130
Figura 87 - CP B1-1: após arrancamento (parte externa).	130
Figura 88 - CP B1-1: após arrancamento (modo de ruptura).	131
Figura 89 - CP B1-1: após arrancamento (parte interna).	131
Figura 90 - CP B1-1: diagrama $F_t\text{-}\Delta$ e principais resultados.	131
Figura 91 - CP B1-1: Diagrama $F_t\text{-}\varepsilon_s$	132
Figura 92 - CP B2-1: antes arrancamento (parte externa).	134
Figura 93 - CP B2-1: após arrancamento (parte externa).	134
Figura 94 - CP B2-1: após arrancamento (modo de ruptura).	135
Figura 95 - CP B2-1: após arrancamento (parte interna).	135
Figura 96 - CP B2-1: diagrama $F_t\text{-}\Delta$ e principais resultados.	135

Figura 97 - CP B2-1: Diagrama $F_t-\varepsilon_s$.	136
Figura 98 - CP B3-1: antes arrancamento (parte externa).	138
Figura 99 - CP B3-1: após arrancamento (parte externa).	138
Figura 100 - CP B3-1: após arrancamento (modo de ruptura).	139
Figura 101 - CP B3-1: após arrancamento (parte interna).	139
Figura 102 - CP B3-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	139
Figura 103 - CP B3-1: Diagrama $F_t-\varepsilon_s$.	140
Figura 104 - CP B4-1: antes arrancamento (parte externa).	142
Figura 105 - CP B4-1: após arrancamento (parte externa).	142
Figura 106 - CP B4-1: após arrancamento (modo de ruptura).	143
Figura 107 - CP B4-1: após arrancamento (parte interna).	143
Figura 108 - CP B4-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	143
Figura 109 - CP B5-1: antes arrancamento (parte externa).	145
Figura 110 - CP B5-1: após arrancamento (parte externa).	145
Figura 111 - CP B5-1: após arrancamento (modo de ruptura).	146
Figura 112 - CP B5-1: após arrancamento (parte interna).	146
Figura 113 - CP B5-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	146
Figura 114 - CP B6-1: antes arrancamento (parte externa).	148
Figura 115 - CP B6-1: após arrancamento (parte externa).	148
Figura 116 - CP B6-1: após arrancamento (modo de ruptura).	149
Figura 117 - CP B6-1: após arrancamento (parte interna).	149
Figura 118 - CP B6-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	149
Figura 119 - CP B7-1: antes arrancamento (parte externa).	151
Figura 120 - CP B7-1: após arrancamento (parte externa).	151
Figura 121 - CP B7-1: após arrancamento (modo de ruptura).	152
Figura 122 - CP B7-1: após arrancamento (parte interna).	152
Figura 123 - CP B7-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	152

Figura 124 - CP B8-1: antes arrancamento (parte externa).....	154
Figura 125 - CP B8-1: após arrancamento (parte externa).....	154
Figura 126 - CP B8-1: após arrancamento (modo de ruptura).....	155
Figura 127 - CP B8-1: após arrancamento (parte interna).....	155
Figura 128 - CP B8-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	155
Figura 129 - CP B9-1: antes arrancamento (parte externa).....	157
Figura 130 - CP B9-1: após arrancamento (parte externa).....	157
Figura 131 - CP B9-1: após arrancamento (modo de ruptura).....	158
Figura 132 - CP B9-1: após arrancamento (parte interna).....	158
Figura 133 - CP B9-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	158
Figura 134 - CP T1-1: antes arrancamento (parte externa).....	160
Figura 135 - CP T1-1: após arrancamento (parte externa).....	160
Figura 136 - CP T1-1: após arrancamento (modo de ruptura).....	161
Figura 137 - CP T1-1: após arrancamento (parte interna).....	161
Figura 138 - CP T1-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	161
Figura 139 - CP T1-1: Diagrama $F_t\epsilon_s$	162
Figura 140 - CP T2-1: antes arrancamento (parte externa).....	164
Figura 141 - CP T2-1: após arrancamento (parte externa).....	164
Figura 142 - CP T2-1: após arrancamento (modo de ruptura).....	165
Figura 143 - CP T2-1: após arrancamento (parte interna).....	165
Figura 144 - CP T2-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	165
Figura 145 - CP T2-1: Diagrama $F_t\epsilon_s$	166
Figura 146 - CP T3-1: antes arrancamento (parte externa).....	168
Figura 147 - CP T3-1: após arrancamento (parte externa).....	168
Figura 148 - CP T3-1: após arrancamento (modo de ruptura).....	169
Figura 149 - CP T3-1: após arrancamento (parte interna).....	169
Figura 150 - CP T3-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	169

Figura 151 - CP T3-1: Diagrama $F_t-\epsilon_s$.	170
Figura 152 - CP T4-1: antes arrancamento (parte externa).	172
Figura 153 - CP T4-1: após arrancamento (parte externa).	172
Figura 154 - CP T4-1: após arrancamento (modo de ruptura).	173
Figura 155 - CP T4-1: após arrancamento (parte interna).	173
Figura 156 - CP T4-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	173
Figura 157 - CP T5-1: antes arrancamento (parte externa).	175
Figura 158 - CP T5-1: após arrancamento (parte externa).	175
Figura 159 - CP T5-1: após arrancamento (modo de ruptura).	176
Figura 160 - CP T5-1: após arrancamento (parte interna).	176
Figura 161 - CP T5-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	176
Figura 162 - CP T6-1: antes arrancamento (parte externa).	178
Figura 163 - CP T6-1: após arrancamento (parte externa).	178
Figura 164 - CP T6-1: após arrancamento (modo de ruptura).	179
Figura 165 - CP T6-1: após arrancamento (parte interna).	179
Figura 166 - CP T6-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	179
Figura 167 - CP T7-1: antes arrancamento (parte externa).	181
Figura 168 - CP T7-1: após arrancamento (modo de ruptura).	181
Figura 169 - CP T7-1: após arrancamento (modo de ruptura).	182
Figura 170 - CP T7-1: após arrancamento (parte interna).	182
Figura 171 - CP T7-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	182
Figura 172 - CP T8-1: antes arrancamento (parte externa).	184
Figura 173 - CP T8-1: após arrancamento (parte externa).	184
Figura 174 - CP T8-1: após arrancamento (modo de ruptura).	185
Figura 175 - CP T8-1: após arrancamento (parte interna).	185
Figura 176 - CP T8-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.	185
Figura 177 - CP T9-1: antes arrancamento (parte externa).	187

Figura 178 - CP T9-1: após arrancamento (parte externa).....	187
Figura 179 - CP T9-1: após arrancamento (modo de ruptura).....	188
Figura 180 - CP T9-1: após arrancamento (parte interna).....	188
Figura 181 - CP T9-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	188
Figura 182 - CP B1-2: antes arrancamento (parte externa).....	190
Figura 183 - CP B1-2: após arrancamento (parte externa).....	190
Figura 184 - CP B1-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	191
Figura 185 - CP B1-2: após arrancamento (parte interna).....	191
Figura 186 - CP B1-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	191
Figura 187 - CP B2-2: antes arrancamento (parte externa).....	193
Figura 188 - CP B2-2: após arrancamento (parte externa).....	193
Figura 189 - CP B2-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	194
Figura 190 - CP B2-2: após arrancamento (parte interna).....	194
Figura 191 - CP B2-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	194
Figura 192 - CP B3-2: antes arrancamento (parte externa).....	196
Figura 193 - CP B3-2: após arrancamento (parte externa).....	196
Figura 194 - CP B3-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	197
Figura 195 - CP B3-2: após arrancamento (parte interna).....	197
Figura 196 - CP B3-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	197
Figura 197 - CP B4-2: antes arrancamento (parte externa).....	199
Figura 198 - CP B4-2: após arrancamento (parte externa).....	199
Figura 199 - CP B4-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	200
Figura 200 - CP B4-2: após arrancamento (parte interna).....	200
Figura 201 - CP B4-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	200
Figura 202 - CP B5-2: antes arrancamento (parte externa).....	202
Figura 203 - CP B5-2: após arrancamento (parte externa).....	202
Figura 204 - CP B5-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	203

Figura 205 - CP B5-2: após arrancamento (parte interna).....	203
Figura 206 - CP B5-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	203
Figura 207 - CP B6-2: antes arrancamento (parte externa).....	205
Figura 208 - CP B6-2: após arrancamento (parte externa).....	205
Figura 209 - CP B6-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	206
Figura 210 - CP B6-2: após arrancamento (parte interna).....	206
Figura 211 - CP B6-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	206
Figura 212 - CP B7-2: antes arrancamento (parte externa).....	208
Figura 213 - CP B7-2: após arrancamento (parte externa).....	208
Figura 214 - CP B7-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	209
Figura 215 - CP B7-2: após arrancamento (parte interna).....	209
Figura 216 - CP B7-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	209
Figura 217 - CP B8-2: antes arrancamento (parte externa).....	211
Figura 218 - CP B8-2: após arrancamento (parte externa).....	211
Figura 219 - CP B8-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	212
Figura 220 - CP B8-2: após arrancamento (parte interna).....	212
Figura 221 - CP B8-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	212
Figura 222 - CP B9-2: antes arrancamento (parte externa).....	214
Figura 223 - CP B9-2: após arrancamento (parte externa).....	214
Figura 224 - CP B9-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	215
Figura 225 - CP B9-2: após arrancamento (parte interna).....	215
Figura 226 - CP B9-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	215
Figura 227 - CP T1-2: antes arrancamento (parte externa).	217
Figura 228 - CP T1-2: após arrancamento (parte externa).	217
Figura 229 - CP T1-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	218
Figura 230 - CP T1-2: após arrancamento (parte interna).	218
Figura 231 - CP T1-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	218

Figura 232 - CP T2-2: antes arrancamento (parte externa).	220
Figura 233 - CP T2-2: após arrancamento (parte externa).	220
Figura 234 - CP T2-2: após arrancamento (modo de ruptura).	221
Figura 235 - CP T2-2: após arrancamento (parte interna).	221
Figura 236 - CP T2-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	221
Figura 237 - CP T3-2: antes arrancamento (parte externa).	223
Figura 238 - CP T3-2: após arrancamento (parte externa).	223
Figura 239 - CP T3-2: após arrancamento (modo de ruptura).	224
Figura 240 - CP T3-2: após arrancamento (parte interna).	224
Figura 241 - CP T3-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	224
Figura 242 - CP T4-2: antes arrancamento (parte externa).	226
Figura 243 - CP T4-2: após arrancamento (parte externa).	226
Figura 244 - CP T4-2: após arrancamento (modo de ruptura).	227
Figura 245 - CP T4-2: após arrancamento (parte interna).	227
Figura 246 - CP T4-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados	227
Figura 247 - CP T5-2: antes arrancamento (parte externa).	229
Figura 248 - CP T5-2: após arrancamento (parte externa).	229
Figura 249 - CP T5-2: após arrancamento (modo de ruptura).	230
Figura 250 - CP T5-2: após arrancamento (parte interna).	230
Figura 251 - CP T5-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	230
Figura 252 - CP T6-2: antes arrancamento (parte externa).	232
Figura 253 - CP T6-2: após arrancamento (parte externa).	232
Figura 254 - CP T6-2: após arrancamento (modo de ruptura).	233
Figura 255 - CP T6-2: após arrancamento (parte interna).	233
Figura 256 - CP T6-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	233
Figura 257 - CP T7-2: antes arrancamento (parte externa).	235
Figura 258 - CP T7-2: após arrancamento (parte externa).	235

Figura 259 - CP T7-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	236
Figura 260 - CP T7-2: após arrancamento (parte interna).....	236
Figura 261 - CP T7-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	236
Figura 262 - CP T8-2: antes arrancamento (parte externa).....	238
Figura 263 - CP T8-2: após arrancamento (parte externa).....	238
Figura 264 - CP T8-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	239
Figura 265 - CP T8-2: após arrancamento (parte interna).....	239
Figura 266 - CP T8-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	239
Figura 267 - CP T9-2: antes arrancamento (parte externa).....	241
Figura 268 - CP T9-2: após arrancamento (parte externa).....	241
Figura 269 - CP T9-2: após arrancamento (modo de ruptura).....	242
Figura 270 - CP T9-2: após arrancamento (parte interna).....	242
Figura 271 - CP T9-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	242
Figura 272 - CP B1-3: antes arrancamento (parte externa).....	244
Figura 273 - CP B1-3: após arrancamento (parte externa).....	244
Figura 274 - CP B1-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	245
Figura 275 - CP B1-3: após arrancamento (parte interna).....	245
Figura 276 - CP B1-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	245
Figura 277 - CP B1-3: diagrama $F_t\epsilon_s$	246
Figura 278 - CP B2-3: antes arrancamento (parte externa).....	248
Figura 279 - CP B2-3: após arrancamento (parte externa).....	248
Figura 280 - CP B2-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	249
Figura 281 - CP B2-3: após arrancamento (parte interna).....	249
Figura 282 - CP B2-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	249
Figura 283 - CP B2-3: Diagrama $F_t\epsilon_s$	250
Figura 284 - CP B3-3: antes arrancamento (parte externa).....	252
Figura 285 - CP B3-3: antes arrancamento (parte externa).....	252

Figura 286 - CP B3-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	253
Figura 287 - CP B3-3: após arrancamento (parte interna).....	253
Figura 288 - CP B3-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	253
Figura 289 - CP B3-3: Diagrama $F_t\epsilon_s$	254
Figura 290 - CP B4-3: antes arrancamento (parte externa).....	256
Figura 291 - CP B4-3: após arrancamento (parte externa).....	256
Figura 292 - CP B4-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	257
Figura 293 - CP B4-3: após arrancamento (parte interna).....	257
Figura 294 - CP B4-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	257
Figura 295 - CP B5-3: antes arrancamento (parte externa).....	259
Figura 296 - CP B5-3: após arrancamento (parte externa).....	259
Figura 297 - CP B5-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	260
Figura 298 - CP B5-3: após arrancamento (parte interna).....	260
Figura 299 - CP B5-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	260
Figura 300 - CP B6-3: antes arrancamento (parte externa).....	262
Figura 301 - CP B6-3: após arrancamento (parte externa).....	262
Figura 302 - CP B6-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	263
Figura 303 - CP B6-3: após arrancamento (parte interna).....	263
Figura 304 - CP B6-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	263
Figura 305 - CP B7-3: antes arrancamento (parte externa).....	265
Figura 306 - CP B7-3: após arrancamento (parte externa).....	265
Figura 307 - CP B7-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	266
Figura 308 - CP B7-3: após arrancamento (parte interna).....	266
Figura 309 - CP B7-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	266
Figura 310 - CP B8-3: antes arrancamento (parte externa).....	268
Figura 311 - CP B8-3: após arrancamento (parte externa).....	268
Figura 312 - CP B8-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	269

Figura 313 - CP B8-3: após arrancamento (parte interna).....	269
Figura 314 - CP B8-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	269
Figura 315 - CP B9-3: antes arrancamento (parte externa).....	271
Figura 316 - CP B9-3: após arrancamento (parte externa).....	271
Figura 317 - CP B9-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	272
Figura 318 - CP B9-3: após arrancamento (parte interna).....	272
Figura 319 - CP B9-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	272
Figura 320 - CP T1-3: antes arrancamento (parte externa).	274
Figura 321 - CP T1-3: após arrancamento (parte externa).	274
Figura 322 - CP T1-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	275
Figura 323 - CP T1-3: após arrancamento (parte interna).	275
Figura 324 - CP T1-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	275
Figura 325 - CP T1-3: diagrama $F_t\epsilon_s$	276
Figura 326 - CP T2-3: antes arrancamento (parte externa).....	278
Figura 327 - CP T2-3: após arrancamento (parte externa).	278
Figura 328 - CP T2-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	279
Figura 329 - CP T2-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	279
Figura 330 - CP T2-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	279
Figura 331 - CP T2-3: diagrama $F_t\epsilon_s$	280
Figura 332 - CP T3-3: antes arrancamento (parte externa).	282
Figura 333 - CP T3-3: após arrancamento (parte externa).	282
Figura 334 - CP T3-3: após arrancamento (parte externa).	283
Figura 335 - CP T3-3: após arrancamento (parte interna).	283
Figura 336 - CP T3-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	283
Figura 337 - CP T3-3: diagrama $F_t\epsilon_s$	284
Figura 338 - CP T4-3: antes arrancamento (parte externa).	286
Figura 339 - CP T4-3: após arrancamento (parte externa).	286

Figura 340 - CP T4-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	287
Figura 341 - CP T4-3: após arrancamento (parte interna).....	287
Figura 342 - CP T4-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	287
Figura 343 - CP T5-3: antes arrancamento (parte externa).....	289
Figura 344 - CP T5-3: após arrancamento (parte externa).....	289
Figura 345 - CP T5-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	290
Figura 346 - CP T5-3: após arrancamento (parte interna).....	290
Figura 347 - CP T5-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	290
Figura 348 - CP T6-3: antes arrancamento (parte externa).....	292
Figura 349 - CP T6-3: após arrancamento (parte externa).....	292
Figura 350 - CP T6-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	293
Figura 351 - CP T6-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	293
Figura 352 - CP T6-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	293
Figura 353 - CP T7-3: antes arrancamento (parte externa).....	295
Figura 354 - CP T7-3: após arrancamento (parte externa).....	295
Figura 355 - CP T7-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	296
Figura 356 - CP T7-3: após arrancamento (parte interna).....	296
Figura 357 - CP T7-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	296
Figura 358 - CP T8-3: antes arrancamento (parte externa).....	298
Figura 359 - CP T8-3: após arrancamento (parte externa).....	298
Figura 360 - CP T8-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	299
Figura 361 - CP T8-3: após arrancamento (parte interna).....	299
Figura 362 - CP T8-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	299
Figura 363 - CP T9-3: antes arrancamento (parte interna).....	301
Figura 364 - CP T9-3: após arrancamento (parte externa).....	301
Figura 365 - CP T9-3: após arrancamento (modo de ruptura).....	302
Figura 366 - CP T9-3: após arrancamento (parte interna).....	302

Figura 367 - CP T9-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.	302
--	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens do concreto armado convencional.....	37
Quadro 2 - Classificação dos concretos pela massa específica (γ_{28}) segundo a ABNT NBR 8953:2009.....	41
Quadro 3 - Principais acontecimentos no desenvolvimento do concreto celular.....	43
Quadro 4 - Exemplos de aplicações do concreto celular na Construção Civil.	46
Quadro 5 - Síntese do trabalho proposto por Piyamaikongdech (2007).	51
Quadro 6 - Síntese do trabalho proposto por Oliveira (2006).	55
Quadro 7 - Síntese do trabalho proposto por Teixeira Filho e Tezuka (1992).	57
Quadro 8 - Síntese do trabalho proposto por Cortelassi (2005).	58
Quadro 9 - Características do agregado miúdo utilizado na pesquisa.	60
Quadro 10 - Características do agregado graúdo utilizado na pesquisa.....	61
Quadro 11 - Características do cimento utilizado na pesquisa.	62
Quadro 12 - Características do aditivo plastificante utilizado na pesquisa.....	62
Quadro 13 - Características do incorporador de ar Gethal® utilizado na pesquisa..	63
Quadro 14 - Características das armaduras utilizadas na pesquisa.	64
Quadro 15 - Dosagem em massa do traço Tr1 ($\gamma_0 = 2200 \text{ kg/m}^3$) para 1 m ³ de concreto.	65
Quadro 16 - Etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr1 (2200 kg/m ³).	66
Quadro 17 - Etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr2 (1700 kg/m ³).	67
Quadro 18 - Etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr3 (1500 kg/m ³).	67
Quadro 19 - Descrição das amostras.	76
Quadro 20 - Conteúdo dos laudos apresentados nos apêndices.	94
Quadro 21 - Características dos materiais da amostra AB1-E.	304
Quadro 22 - Características dos materiais da amostra AB1.	305
Quadro 23 - Características dos materiais da amostra AT1-E.....	306
Quadro 24 - Características dos materiais da amostra AT1.	307
Quadro 25 - Características dos materiais da amostra AB2.	308
Quadro 26 - Características dos materiais da amostra AT2.	309
Quadro 27 - Características dos materiais da amostra AB3-E.	310
Quadro 28 - Características dos materiais da amostra AB3.	311
Quadro 29 - Características dos materiais da amostra AT3-E.....	312

Quadro 30 - Características dos materiais da amostra AT3.313

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de resistência à compressão de concretos convencionais e celulares encontradas na literatura.....	45
Tabela 2 - Valores de condutividade térmica de concretos normais e celulares.....	46
Tabela 3 - Valores de resistência à compressão (f_c) obtidos por Piyamaikongdech (2007).....	53
Tabela 4 - Valores de tensão última de aderência (τ_{bu}) obtidos por Piyamaikongdech (2007).....	54
Tabela 5 - Resultados obtidos por Oliveira (2006).	56
Tabela 6 - Principais resultados obtidos por Teixeira Filho e Tezuka (1992).....	58
Tabela 7 - Principais resultados obtidos por Cortelassi (2005).....	59
Tabela 8 - Massa específica aparente (γ_0) no estado fresco e aos 28 dias (γ_{28}).	68
Tabela 9 - Abatimento do tronco de cone dos traços Tr1, Tr2 e Tr3.....	69
Tabela 10 - Resistências à compressão média (f_{cm}) dos concretos da pesquisa.....	70
Tabela 11 - Módulo de elasticidade aos 28 dias (E_{ci}) dos concretos da pesquisa. ...	71
Tabela 12 - Resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$).....	72
Tabela 13 - Síntese dos resultados da pesquisa.....	111
Tabela 14 - Comparação dos resultados da pesquisa com PIYAMAIKONGDECH (2007) e OLIVEIRA (2006).	116
Tabela 15 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	128
Tabela 16 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo	129
Tabela 17 - Resultados quantitativos da amostra AB1-E (parte 1/2).	304
Tabela 18 - Resultados quantitativos da amostra AB1-E (parte 2/2).	304
Tabela 19 - Resultados quantitativos da amostra AB1.	305
Tabela 20 - Resultados quantitativos da amostra AT1-E (parte 1/2).	306
Tabela 21 - Resultados quantitativos da amostra AT1-E (parte 2/2).	306
Tabela 22 - Resultados quantitativos da amostra AT1.	307
Tabela 23 - Resultados quantitativos da amostra AB2.	308
Tabela 24 - Resultados quantitativos da amostra AT2.	309
Tabela 25 - Resultados quantitativos da amostra AB3-E (parte 1/2).	310
Tabela 26 - Resultados quantitativos da amostra AB3-E (parte 2/2).	310
Tabela 27 - Resultados quantitativos da amostra AB3.	311

Tabela 28 - Resultados quantitativos da amostra AT3-E (parte 1/2).	312
Tabela 29 - Resultados quantitativos da amostra AT3-E (parte 2/2).	312
Tabela 30 - Resultados quantitativos da amostra AT3.	313

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB1	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Barra” moldados com o concreto de traço Tr1: B4-1, B5-1, B6-1, B7-1, B8-1 e B9-1.
AB2	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Barra” moldados com o concreto de traço Tr2: B1-2, B2-2, B3-2, B4-2, B5-2, B6-2, B7-2, B8-2 e B9-2.
AB3	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Barra” moldados com o concreto de traço Tr3: B4-3, B5-3, B6-3, B7-3, B8-3 e B9-3.
AB1-E	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Barra” moldados com o concreto de traço Tr1 e contendo dois extensômetros: B1-1, B2-1 e B3-1.
AB3-E	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Barra” moldados com o concreto de traço Tr3 e contendo dois extensômetros: B1-3, B2-3 e B3-3.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AT1	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Tela” moldados com o concreto de traço Tr1: T4-1, T5-1, T6-1, T7-1, T8-1 e T9-1.
AT2	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Tela” moldados com o concreto de traço Tr2: T1-2, T2-2, T3-2, T4-2, T5-2 e T6-2, T7-2, T8-2 e T9-2.
AT3	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Tela” moldados com o concreto de traço Tr3: T1-3, T2-3, T3-3, T4-3, T5-3 e T6-3, T7-3, T8-3 e T9-3.
AT1-E	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Tela” moldados com o concreto de traço Tr1 e contendo dois extensômetros: T1-1, T2-1 e T3-1.
AT3-E	Amostra composta pelos corpos-de-prova do tipo “Tela” moldados com o concreto de traço Tr3 e contendo dois extensômetros: T1-3, T2-3 e T3-3.
CP	Corpo-de-prova.
LVDT	Do inglês Linear Variable Differential Transformer.
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (associação internacional de laboratórios e especialistas na área dos materiais de construção civil criada na França em 1947).
Tr1	Traço tal que a massa específica aparente do concreto no estado fresco vale 2200 kg/m^3 (valor esperado).

- Tr2** Traço tal que a massa específica aparente do concreto no estado fresco vale 1700 kg/m^3 (valor esperado).
- Tr3** Traço tal que a massa específica aparente do concreto no estado fresco vale 1500 kg/m^3 (valor esperado).

LISTA DE SÍMBOLOS

γ_0	Massa específica aparente do concreto no estado fresco (kg/m^3).
γ_{28}	Massa específica aparente do concreto aos 28 dias (kg/m^3).
Δ	Deslocamento da extremidade livre da armadura medida ao longo do ensaio de arrancamento (mm).
Δ_u	Deslocamento da armadura provocado pela força de tração última (F_{tu}) atingida durante o ensaio de arrancamento (mm).
$\epsilon_{s-inf-m\acute{a}x.}$	Deformação máxima da armadura no ponto de medição inferior, conforme indicado na Figura 24 e na Figura 27 (‰).
$\epsilon_{s-inf-u}$	Deformação da armadura no ponto de medição inferior, para $F_t = F_{tu}$, conforme indicado na Figura 24 e na Figura 27 (‰).
$\epsilon_{s-sup-m\acute{a}x.}$	Deformação máxima da armadura no ponto de medição superior, conforme indicado na Figura 24 e na Figura 27 (‰).
$\epsilon_{s-sup-u}$	Deformação da armadura no ponto de medição superior, para $F_t = F_{tu}$, conforme indicado na Figura 24 e na Figura 27 (‰).
τ_b	Tensão de aderência no concreto durante o ensaio de arrancamento (MPa).
τ_{bu}	Tensão última de aderência (MPa).
τ_{bum}	Tensão última de aderência média obtida para uma amostra (MPa).
$\emptyset$	Diâmetro da armadura (mm).
CV	Coefficiente de variação obtido dividindo-se o desvio padrão amostral (DP) pela média aritmética (%).
$D_{m\acute{a}x.}$	Dimensão máxima característica conforme especificado na NBR NM 248:2003 (mm).
DP	Desvio padrão amostral calculado conforme a equação apresentada por Fonseca e Martins (1996, p. 143).
E_{ci}	Módulo de elasticidade conforme especificado na NBR 8522:2008 (GPa).
F_t	Força de tração aplicada durante o ensaio de arrancamento (kN).
F_{tu}	Força de tração última (máxima) aplicada durante o ensaio de arrancamento (kN).

F_{tum}	Força de tração última (máxima) média obtidas para as amostras dos CPs do tipo “Tela” (kN).
MF	Módulo de finura (adimensional).
P	Pré-carga de tração aplicada sobre o corpo-de-prova para fixar o mesmo na vertical e possibilitar a colocação do LVDT antes o início do ensaio de arrancamento (kN).
S	Área de contato direto entre a barra de aço imersa e o concreto (m ²).
a	Abatimento do concreto conforme indicado na NBR NM 67:1998 (cm).
f_c	Resistência à compressão do concreto (MPa).
f_{cm}	Valor médio da resistência à compressão do concreto relativa aos ensaios de caracterização da pesquisa (MPa).
$f_{ct,sp}$	Resistência do concreto à tração indireta conforme especificada na NBR 7222:2011 (MPa).
f_{yk}	Resistência característica de escoamento do aço (MPa).
g	Aceleração da gravidade, considerada igual a 9,81 m.s ⁻² .
l_b	Comprimento de ancoragem da armadura longitudinal (cm).
t_b	Comprimento da armadura transversal soldada (cm).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	37
1.1	JUSTIFICATIVA	37
1.2	OBJETIVOS	39
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	39
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	41
2.1	GENERALIDADES SOBRE OS CONCRETOS LEVES.....	41
2.2	DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO CELULAR: BREVE HISTÓRICO ..	43
2.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO CELULAR	44
2.3.1	Resistência à compressão.....	44
2.3.2	Retração	45
2.3.3	Condutibilidade térmica.....	46
2.4	APLICAÇÕES DO CONCRETO CELULAR NA CONSTRUÇÃO CIVIL	46
2.5	ADERÊNCIA ENTRE BARRAS DE AÇO E CONCRETO	48
2.5.1	Conceito de aderência	48
2.5.2	Aderência por adesão	48
2.5.3	Aderência por atrito	49
2.5.4	Aderência mecânica	49
2.5.5	Ensaio de arrancamento “Pull-out test”	50
2.6	SÍNTESE DOS TRABALHOS ABORDANDO O TEMA DA PESQUISA.....	51
2.6.1	Piyamaikongdech (2007).....	51
2.6.2	Oliveira (2006)	54
2.6.3	Teixeira Filho e Tezuka (1992)	57
2.6.4	Cortelassi (2005).....	58
3	MATERIAIS E MÉTODOS	60
3.1	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EMPREGADOS	60
3.1.1	Agregado miúdo	60
3.1.2	Agregado graúdo.....	61
3.1.3	Cimento	61
3.1.4	Aditivo plastificante	62

3.1.5	Incorporador de ar Gethal ®	63
3.1.6	Fibras de polipropileno	63
3.1.7	Armaduras	64
3.2	ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS	65
3.2.1	Dosagem dos traços Tr1, Tr2 e Tr3	65
3.2.2	Massa específica aparente no estado fresco (γ_0) e aos 28 dias (γ_{28}).....	66
3.2.3	Consistência do concreto fresco (a)	68
3.2.4	Resistência à compressão média aos 28 dias (f_{cm}).....	69
3.2.5	Módulo de elasticidade aos 28 dias (E_{ci}).....	70
3.2.6	Resistência à tração aos 28 dias ($f_{ct,sp}$).....	71
3.3	PROGRAMA EXPERIMENTAL ADOTADO	72
3.3.1	Corpo-de-prova do tipo “Barra”	73
3.3.2	Corpo-de-prova do tipo “Tela”	74
3.3.3	Identificação dos CPs e descrição das amostras	75
3.4	FABRICAÇÃO DOS MOLDES E DAS BASES PARA OS CPS DO TIPO “BARRA”	76
3.4.1	Confecção dos moldes cilíndricos.....	77
3.4.2	Ligação entre os moldes cilíndricos e as bases	78
3.4.3	Confecção das bases	78
3.5	FABRICAÇÃO DOS MOLDES E DAS BASES PARA OS CPS DO TIPO “TELA”	80
3.6	CORTE DAS ARMADURAS	81
3.6.1	Armaduras dos CPs do tipo “Barra”	81
3.6.2	Armaduras dos CPs do tipo “Tela”	81
3.7	DELIMITAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DE ANCORAGEM (L_B)	82
3.8	COLOCAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS	84
3.9	MONTAGEM FINAL DOS MOLDES E DAS BASES	85
3.10	MOLDAGEM DOS CPS.....	86
3.11	DESFORMA E CURA DOS CPS	87
3.12	CAPEAMENTO DOS CPS	88
3.13	MONTAGEM DO SISTEMA DE ARRANCAMENTO.....	89
3.14	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO	92
3.15	CÁLCULO DA TENSÃO ÚLTIMA DE ADERÊNCIA.....	93
3.16	APRESENTAÇÃO DOS LAUDOS (APÊNDICES)	93

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
4.1	QUALIDADE DA MOLDAGEM	95
4.2	POSICIONAMENTO DA ARMADURA.....	95
4.3	COMPRIMENTOS L_B E T_B REAIS.....	96
4.4	INFLUÊNCIA DE Γ_{28} E DO TIPO DE CP SOBRE O MODO DE RUPTURA	96
4.4.1	Amostras AB1, AB2 e AB3.....	96
4.4.2	Amostras AT1, AT2 e AT3.....	97
4.5	INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DOS EXTENSÔMETROS SOBRE OS RESULTADOS	98
4.5.1	Amostras AB1-E e AB3-E.....	98
4.5.2	Amostra AT1-E.....	99
4.5.3	Amostra AT3-E.....	100
4.6	INFLUÊNCIA DE Γ_{28} SOBRE OS DIAGRAMAS $T_B-\Delta$ OU $F_T-\Delta$	101
4.6.1	Amostra AB1.....	101
4.6.2	Amostra AB2.....	101
4.6.3	Amostra AB3.....	102
4.6.4	Amostras AB1-E e AB3-E.....	103
4.6.5	Amostra AT1	103
4.6.6	Amostra AT1-E.....	104
4.6.7	Amostra AT2	105
4.6.8	Amostra AT3	106
4.6.9	Amostra AT3-E.....	106
4.7	DEFORMAÇÃO DAS ARMADURAS	107
4.7.1	Amostra AB1-E	107
4.7.2	Amostra AB3-E	108
4.7.3	Amostra AT1-E.....	108
4.7.4	Amostra AT3-E.....	109
4.8	SÍNTESE DOS RESULTADOS	110
4.9	CONFRONTAÇÃO DOS RESULTADOS COM TRABALHOS SEMELHANTES.....	113
4.9.1	Evolução de f_c em função de γ_{28}.....	113
4.9.2	Evolução de τ_{bu} em função de γ_{28}.....	114
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	119

5.1	RESUMO DA PESQUISA.....	119
5.2	INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA SOBRE A TENSÃO ÚLTIMA DE ADERÊNCIA	119
5.3	INFLUÊNCIA DA BARRA TRANSVERSAL SOBRE A ADERÊNCIA	120
5.4	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	121
5.5	QUANTIDADE DE AGENTE ESPUMÍGENO NO TRAÇO	121
5.6	UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS.....	121
5.7	DIMENSÃO DA ARMADURA	122
REFERÊNCIAS		124
APÊNDICES		127
APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (AGREGADO MIÚDO)		128
APÊNDICE B – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (AGREGADO GRAÚDO)..		129
APÊNDICE C – LAUDO CP B1-1.....		130
APÊNDICE D – LAUDO CP B2-1.....		134
APÊNDICE E – LAUDO CP B3-1		138
APÊNDICE F – LAUDO CP B4-1		142
APÊNDICE G – LAUDO CP B5-1		145
APÊNDICE H – LAUDO CP B6-1.....		148
APÊNDICE I – LAUDO CP B7-1		151
APÊNDICE J – LAUDO CP B8-1		154
APÊNDICE K – LAUDO CP B9-1		157
APÊNDICE L – LAUDO CP T1-1		160
APÊNDICE M – LAUDO CP T2-1		164
APÊNDICE N – LAUDO CP T3-1.....		168
APÊNDICE O – LAUDO CP T4-1.....		172
APÊNDICE P – LAUDO CP T5-1		175
APÊNDICE Q – LAUDO CP T6-1.....		178
APÊNDICE R – LAUDO CP T7-1.....		181
APÊNDICE S – LAUDO CP T8-1		184
APÊNDICE T – LAUDO CP T9-1		187
APÊNDICE U – LAUDO CP B1-2.....		190
APÊNDICE V – LAUDO CP B2-2.....		193
APÊNDICE W – LAUDO CP B3-2.....		196

APÊNDICE X – LAUDO CP B4-2.....	199
APÊNDICE Y – LAUDO CP B5-2.....	202
APÊNDICE Z – LAUDO CP B6-2.....	205
APÊNDICE AA – LAUDO CP B7-2.....	208
APÊNDICE AB – LAUDO CP B8-2.....	211
APÊNDICE AC – LAUDO CP B9-2.....	214
APÊNDICE AD – LAUDO CP T1-2.....	217
APÊNDICE AE – LAUDO CP T2-2.....	220
APÊNDICE AF – LAUDO CP T3-2.....	223
APÊNDICE AG – LAUDO CP T4-2.....	226
APÊNDICE AH – LAUDO CP T5-2.....	229
APÊNDICE AI – LAUDO CP T6-2.....	232
APÊNDICE AJ – LAUDO CP T7-2.....	235
APÊNDICE AK – LAUDO CP T8-2.....	238
APÊNDICE AL – LAUDO CP T9-2.....	241
APÊNDICE AM – LAUDO CP B1-3.....	244
APÊNDICE AN – LAUDO CP B2-3.....	248
APÊNDICE AO – LAUDO CP B3-3.....	252
APÊNDICE AP – LAUDO CP B4-3.....	256
APÊNDICE AQ – LAUDO CP B5-3.....	259
APÊNDICE AR – LAUDO CP B6-3.....	262
APÊNDICE AS – LAUDO CP B7-3.....	265
APÊNDICE AT – LAUDO CP B8-3.....	268
APÊNDICE AU – LAUDO CP B9-3.....	271
APÊNDICE AV – LAUDO CP T1-3.....	274
APÊNDICE AW – LAUDO CP T2-3.....	278
APÊNDICE AX – LAUDO CP T3-3.....	282
APÊNDICE AY – LAUDO CP T4-3.....	286
APÊNDICE AZ – LAUDO CP T5-3.....	289
APÊNDICE BA – LAUDO CP T6-3.....	292
APÊNDICE BB – LAUDO CP T7-3.....	295
APÊNDICE BC – LAUDO CP T8-3.....	298
APÊNDICE BD – LAUDO CP T9-3.....	301
APÊNDICE BE – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AB1-E.....	304

APÊNDICE BF – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AB1.....	305
APÊNDICE BG – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AT1-E.....	306
APÊNDICE BH – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AT1.....	307
APÊNDICE BI – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AB2.....	308
APÊNDICE BJ – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AT2	309
APÊNDICE BK – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AB3-E	310
APÊNDICE BL – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AB3.....	311
APÊNDICE BM – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AT3-E.....	312
APÊNDICE BN – RESULTADOS QUANTITATIVOS DA AMOSTRA AT3.....	313

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar de suas numerosas vantagens (Quadro 1), o concreto armado convencional apresenta como principal desvantagem o fato de ter uma elevada relação entre massa específica e resistência, o que aumenta o carregamento das estruturas e dificulta o manuseio dos elementos pré-moldados.

Quadro 1 - Vantagens do concreto armado convencional.

Característica	Vantagem
Boa trabalhabilidade no estado fresco.	Grande liberdade arquitetônica.
Boa resistência à maioria das solicitações no estado endurecido.	Ideal para uso estrutural.
Existência de uma aderência entre o concreto já endurecido e o que é lançado posteriormente.	Obtenção de uma estrutura monolítica, transmissão dos esforços entre os elementos estruturais facilitada.
Resistência a choques, vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.	Obtenção de edificações seguras, com alta vida útil e livre de manutenção trabalhosa.
Matéria prima (areia e brita) disponível em grande quantidade na natureza.	Material econômico.

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2007, p. 19-20) e Leonhardt e Mönnig (1977, p. 2).

Uma outra desvantagem do concreto armado convencional é que ele é bom condutor de calor e som, o que exige a colocação nas edificações de materiais adicionais para sanar esses problemas (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007, p. 20). Reduzir o peso próprio do concreto permite limitar essas desvantagens.

Conforme as indicações da ABNT NBR 8953:2009 (item 3.2 da Norma), o concreto é dito leve quando a sua massa específica é inferior a 2000 kg/m^3 . A leveza do concreto é obtida substituindo uma parte dos materiais sólidos por ar (ROSSIGNOLO, 2009, p.17).

Existem três tipos de concreto leve (PETRUCCI, 1978, p. 228):

- o concreto sem finos (sem agregados miúdos);
- o concreto com agregados leves;
- o concreto celular (incorporação artificial de poros no concreto).

A incorporação de ar nos concretos leves afeta a resistência mecânica do material, mas aumenta o seu desempenho como isolante térmico e acústico. Por isso, no caso de edificações recebendo poucos esforços na estrutura e necessitando uma boa isolamento térmica e acústica (caso das casas e edifícios residenciais), os concretos leves podem ter uma utilização estrutural e tornar-se uma alternativa ao concreto armado convencional.

Em uma edificação, é comum os carregamentos externos exercer na mesma seção transversal de um elemento estrutural tensões de tração e de compressão (caso dos elementos fletidos como, por exemplo, vigas, lajes ou paredes). Por isso, o concreto armado (associação de concreto e aço) tem um bom desempenho estrutural unicamente quando o concreto (resistente à compressão) trabalha solidariamente junto com o aço (resistente à tração). Essa solidariedade é garantida pela existência da aderência entre os dois materiais, equivalente à transmissão do esforço resistido pelo aço (tração) para o concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007, p. 209). Para ter uma função estrutural, um elemento em concreto armado deve, portanto, ter as melhores condições de aderência possíveis entre o aço e o concreto (convencional ou leve).

Neste contexto, estudar o fenômeno de aderência (realizando ensaios de arrancamento) entre armaduras de aço e um tipo de concreto leve (nesta pesquisa o concreto celular) para avaliar a utilização estrutural do material composto obtido é justificado.

O trabalho foi incentivado pela Faculdade de Engenharia UNESP de Ilha Solteira, em parceria com a Universidade Federal de São Carlos e a empresa Gethal Sistemas Construtivos (produtora de concreto celular estrutural). A intenção desta

parceria é divulgar conhecimentos sobre as características do concreto celular estrutural, material ainda pouco abordado pela ABNT para aplicações estruturais.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estudar o fenômeno de aderência entre as armaduras de aço (barras longitudinais dotadas ou não de uma barra transversal soldada) e o concreto celular. A finalidade do estudo consiste em avaliar o desempenho mecânico do material composto obtido.

Mas especificamente, o presente trabalho objetiva:

- estudar a influência da redução da massa específica do concreto (γ_{28}) no valor da tensão última de aderência (τ_{bu}) entre aço e concreto;
- estudar a influência da presença da barra transversal soldada (t_b) na melhoria da aderência (F_{tu}) entre aço e concreto.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo introduz o tema da pesquisa (aderência entre as armaduras de aço e o concreto celular), justificando a investigação proposta e os objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo apresenta o concreto celular (generalidades, breve histórico, principais propriedades e aplicações na Construção Civil), o conceito de aderência (parcelas de aderência e ensaio normatizado “Pull-out test”) e sintetiza os trabalhos abordando o tema da pesquisa.

O terceiro capítulo descreve, na ordem cronológica, todas as fases da parte prática da pesquisa: o programa experimental adotado, as características dos materiais empregados, a fabricação dos moldes, a moldagem e cura dos CPs, a montagem do sistema de arrancamento e a realização dos ensaios de arrancamento. O último item deste capítulo apresenta o conteúdo dos laudos colocados em Apêndice.

O quarto capítulo apresenta os resultados da pesquisa (avaliação qualitativa e quantitativa das informações obtidas nos laudos) e compara os mesmos com os trabalhos apresentados no capítulo 2.

O quinto capítulo contém as conclusões do trabalho e sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros.

Os Apêndices contêm os resultados da caracterização dos agregados, os laudos de cada CP ensaiado e as tabelas detalhando os resultados quantitativos de cada amostra.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES SOBRE OS CONCRETOS LEVES

A Norma Brasileira ABNT NBR 8953:2009 (item 3 da Norma) define três categorias de concreto segundo a massa específica aos 28 dias (γ_{28}) do material: o concreto leve, o concreto normal e o concreto pesado (ou denso). O Quadro 2 apresenta os valores de (γ_{28}) para cada categoria.

Quadro 2 - Classificação dos concretos pela massa específica (γ_{28}) segundo a ABNT NBR 8953:2009.

Categoria	γ_{28} (kg/m³)
Concreto leve	$\gamma_{28} < 2000$
Concreto normal	$2000 < \gamma_{28} < 2800$
Concreto pesado (ou denso)	$2800 < \gamma_{28}$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2009, p. 2).

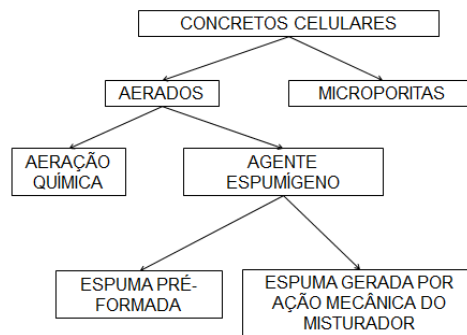
Conforme foi mencionado no capítulo anterior, para edificações residenciais de pequeno e médio porte, diminuir o peso próprio (carga morta) de uma estrutura utilizando um concreto leve pode ser mais vantajoso que a utilização de um concreto convencional (economia de material, melhoria da isolamento). O concreto leve pode ser de três tipos: com agregados leves, sem finos ou celular (ROSSIGNOLO, 2009, p. 17).

Os concretos leves com agregados leves são obtidos substituindo parcialmente ou totalmente os agregados convencionais por agregados leves (ROSSIGNOLO, 2009, p. 17). Os agregados leves podem ser naturais ou artificiais. No Brasil o principal agregado leve utilizado na Construção Civil é obtido artificialmente a partir da argila expandida (ROSSIGNOLO, 2009, p. 40).

Os concretos leves sem finos são obtidos pela não colocação do agregado miúdo (areia) nas misturas (CORTELASSI, 2005, p. 18).

A Figura 1 resume a classificação dos concretos celulares proposta por Teixeira Filho e Tezuka (1992, p. 2). A classificação é feita segundo o processo de formação dos poros.

Figura 1 - Classificação dos concretos celulares.



Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992, p. 2).

A porosidade dos concretos celulares do tipo “Microporitas” é obtida a partir da alta quantidade de água adicionada a argamassa, sem incorporação de componente específico (TEIXEIRA FILHO; TEZUKA, 1992, p. 2).

Para os concretos ditos “aerados”, a porosidade pode ser obtida de duas maneiras diferentes. A primeira (“aeração química”), pela reação entre os componentes da argamassa e um componente químico (por exemplo, pó de alumínio ou água oxigenada) gerando gases na mistura antes da pega do cimento (TEIXEIRA FILHO; TEZUKA, 1992, p. 3). A segunda, pela incorporação de um agente espumígeno na mistura. A incorporação do agente espumígeno na mistura pode ser feito de duas formas. A primeira, preparando a espuma em equipamento específico e incorporado ela na mistura do concreto já pronta (“espuma pré-formada”). A segunda, gerando a espuma junto com os componentes do concreto, pela ação mecânica do misturador (TEIXEIRA FILHO; TEZUKA, 1992, p. 2).

O processo de cura dito de autoclavagem, permite melhorar as características mecânicas e reduzir a retração dos concretos celulares, através da submissão do material a condições especiais: temperatura entre 150 °C e 160 °C, pressão entre 0,6 e 1,2 MPa (PETRUCCI, 1978, p. 233).

Neste trabalho, o concreto celular que foi utilizado é do tipo “aerado” com agente espumígeno diluído na água das misturas (“espuma gerada por ação mecânica do misturador”), não autoclavado. Daqui por diante esse concreto será denominado de “concreto celular”. O concreto que não tem o agente espumígeno será denominado de “concreto convencional”.

2.2 DESENVOLVIMENTO DO CONCRETO CELULAR: BREVE HISTÓRICO

O Quadro 3 resume os principais acontecimentos no desenvolvimento do concreto celular desde 1850.

Quadro 3 - Principais acontecimentos no desenvolvimento do concreto celular.

Data	Acontecimento	Justificativa
1889	Invenção de um concreto celular do tipo “aerado” por Hofman em Praga (Polónia): reação química entre o ácido clorídrico e o bicarbonato de sódio para incorporação de ar no concreto.	Ferreira (1987, p. 1)
1917	Patente sobre um concreto celular utilizando leveduras orgânicas para incorporação de ar no concreto.	Ferreira (1987, p. 1)
1919	Moldagem das primeiras vigas armadas em concreto celular por Gröshe em Berlin (Alemanha).	Ferreira (1987, p. 1)
1923	Patente depositada por Eriksson em Stockholm (Suécia): invenção do concreto celular autoclavado.	Ferreira (1987, p. 1)
1925	Invenção do concreto celular dito “espumoso” por Bayer na Suécia: incorporação de um agente espumígeno de origem orgânica nos concretos.	Ferreira (1987, p. 1)
Década de sessenta	Surgimento dos agentes espumígenos de origem sintética, porem sofrendo dificuldade de dispersão no concreto.	Ferreira (1987, p. 1)
Meados da década de sessenta	Produção de uma grande quantidade de patentes procurando limitar a expansão das espumas orgânicas.	Ferreira (1987, p. 1)
Início da década de setenta	Aparecimento de agentes espumígenos orgânicos estáveis (sem problema de expansão). Desenvolvimento da utilização do concreto celular espumoso na Construção Civil dos países industrializados.	Ferreira (1987, p. 1)
Final da década de setenta	Primeiras utilizações do concreto celular espumoso na Construção Civil Brasileira.	Ferreira (1987, p. 1)

Fonte: citada no próprio Quadro.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO CELULAR

Segundo Petrucci (1978, p. 232), as três propriedades mais importantes dos concretos celulares são a resistência mecânica, a retração e a condutibilidade térmica.

2.3.1 Resistência à compressão

Segundo Ferreira (1987, p. 6), a resistência à compressão do concreto celular depende:

- da massa específica do concreto;
- do consumo e da finura do cimento;
- da relação água/cimento;
- da qualidade e da finura da areia;
- da quantidade de agente espumígeno colocada na mistura;
- da idade de ruptura;
- da temperatura da cura;
- da metodologia de produção de concreto.

A Tabela 1 a seguir apresenta alguns resultados de resistência disponíveis na literatura, junto com a composição da mistura e a massa específica do concreto.

Tabela 1 - Valores de resistência à compressão de concretos convencionais e celulares encontradas na literatura.

Tipo de concreto	Composição do concreto	γ_0 (kg/m ³)	f_c (MPa)	Referência
Convencional (sem agente espumígeno)	Cimento CP III-RS-40, areia grossa ($MF = 3,12$ e $D_{máx.} = 4,80$ mm), brita 0 ($MF = 5,75$ e $D_{máx.} = 9,50$ mm), aditivo plastificante, $a/c = 0,61$.	2309,22	38,50	Oliveira (2006, p. 97)
Concreto celular	Cimento CP III-RS-40, areia grossa ($MF = 3,12$ e $D_{máx.} = 4,80$ mm), brita 0 ($MF = 5,75$ e $D_{máx.} = 9,50$ mm), aditivo plastificante, $a/c = 0,61$.	1766,45	5,70	Oliveira (2006, p. 97)
Convencional (sem agente espumígeno)	Cimento CP V-ARI, adição mineral (sílica ativa), areia grossa, pó-de-brita, $a/c = 0,30$.	2432,00	70,91	Cortelassi (2005, p. 138)
Concreto celular	Cimento CP V-ARI, adição mineral (sílica ativa), areia grossa, pó-de-brita, $a/c = 0,30$.	1720,00	14,51	Cortelassi (2005, p. 138)
Concreto celular	Cimento CP II-E-32, areia grossa, agente espumígeno de origem sintética, $a/c = 0,60$.	1500,00	6,20	Teixeira Filho (1992, p. 16)
Concreto celular	Cimento CP II-E-32, areia grossa, agente espumígeno de origem sintética, $a/c = 0,60$.	1300,00	3,95	Teixeira Filho (1992, p. 16)
Concreto celular	Cimento CP II-E-32, areia grossa, agente espumígeno de origem sintética, $a/c = 0,60$.	1100,00	4,35	Teixeira Filho (1992, p. 16)

Fontes: citadas na própria Tabela.

2.3.2 Retração

A retração corresponde a um encurtamento de uma peça de concreto, consecutivo da evaporação de uma parte da água contida na mistura (GRANJU, 2011, p. 20). A retração de um concreto comum é estimada a 0,04 % (PETRUCCI, 1978, p. 104). Já, para os concretos celulares, o valor é da ordem de 0,15 % nos dois primeiros meses, podendo chegar até 0,35 % (PETRUCCI, 1978, p. 104). Para limitar o aparecimento das fissuras devidas à retração, a colocação de fibras nos concretos celulares é possível (FERREIRA, 1987, p. 9).

2.3.3 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica de um material avalia a “quantidade de calor que fluirá através de uma área unitária se o gradiente de temperatura for unitário” (FERREIRA, 1987, p. 12). A Tabela 2 a seguir apresenta alguns valores de condutividade térmica disponíveis na literatura.

Tabela 2 - Valores de condutividade térmica de concretos normais e celulares.

Massa específica (kg/m³)	Tipo de concreto*	Condutividade térmica (J/m/s/°C)
800	Celular	0,260
960	Celular	0,315
1120	Celular	0,349
1280	Celular	0,476
1600	Convencional	0,706
1760	Convencional	0,838
2080	Convencional	1,315
2400	Convencional	2,267

*: denominação adotada por Neville (1982)

Fontes: Loudon e Stacy (1966), citados por Neville (1982, p. 466).

2.4 APLICAÇÕES DO CONCRETO CELULAR NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O Quadro 4 a seguir apresenta algumas aplicações possíveis do concreto celular.

Quadro 4 - Exemplos de aplicações do concreto celular na Construção Civil.

Aplicação	Fonte
Preenchimento de laje.	Teixeira Filho e Tezuka (1992, p. 4)
Isolação térmica de coberturas.	Teixeira Filho e Tezuka (1992, p. 4)
Paredes estruturais de casas térreas moldadas “in loco”.	Misurelli e Massuda (2009, p. 74)
Paredes hidráulicas de edifícios residenciais (não estruturais).	Barros et al. (1998, p. 15)
Paredes estruturais de edifícios residenciais (5 pavimentos), moldadas “in loco”.	Chiocca (2006, p. 37-38)

Fontes: citadas no próprio Quadro.

As Figuras a seguir ilustram o Quadro 4.

Figura 2 - Casa térrea executada em concreto celular.



Fonte: Chiocca (2006, p. 22-24).

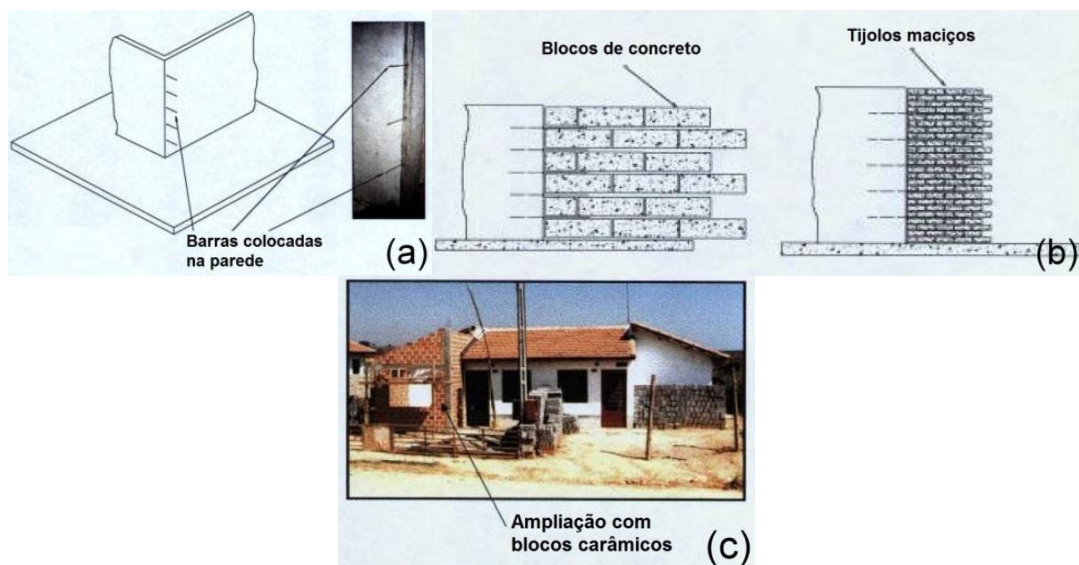
Figura 3 - Edifício executado em concreto celular (paredes estruturais).



Fonte: Chiocca (2006, p. 37).

O sistema construtivo de paredes estruturais de casas térreas proposto pela empresa Gethal[®] permite ampliações, feitas de alvenaria (Figura 4).

Figura 4 - Ampliação de uma casa inicialmente feita em concreto celular.



Fonte: Chiocca (2006, p. 27-28).

2.5 ADERÊNCIA ENTRE BARRAS DE AÇO E CONCRETO

2.5.1 Conceito de aderência

Carvalho e Figueiredo Filho (2007) explicam claramente o fenômeno de aderência entre o concreto e o aço:

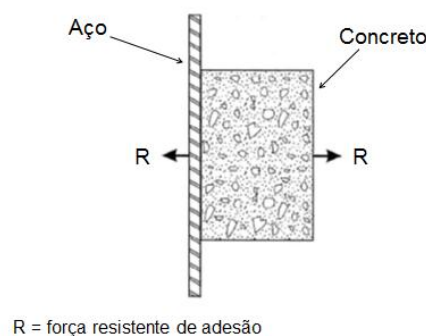
Aderência é o fenômeno que permite o funcionamento do concreto armado como material estrutural. Sem aderência, as barras da armadura não seriam submetidas aos esforços de tração, pois deslizariam dentro da massa de concreto, e a estrutura se comportaria como sendo apenas de concreto simples. A aderência faz com que os dois materiais, de resistências diferentes, tenham a mesma deformação e trabalhem juntos, de modo que os esforços resistidos por uma barra de aço sejam transmitidos para o concreto e vice-versa (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007, p. 208-209).

Segundo Leonhardt e Mönning (1977, p. 50-52) e Fusco (1995, p. 135-137), a aderência é composta por três parcelas: aderência por adesão, aderência por atrito e aderência mecânica.

2.5.2 Aderência por adesão

Por causa das ligações físico-químicas que se estabelecem na interface do aço e do concreto durante as reações de pega do cimento, aparece uma força resistente de adesão (Figura 5) que se opõe à separação dos dois materiais (FUSCO, 1995, p. 135-136).

Figura 5 - Aderência por adesão.



Fonte: Fusco (1995, p. 135).

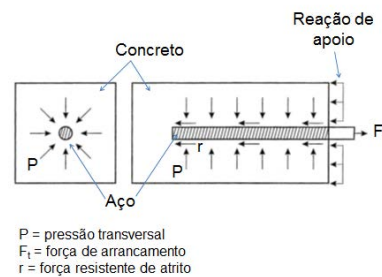
2.5.3 Aderência por atrito

Leonhardt e Mönning (1977, p. 50) propõem a explicação seguinte:

Uma vez rompida a adesão, para o menor deslocamento relativo, aparece uma resistência de atrito entre o aço e o concreto, desde que existam pressões transversais às armaduras. Essas pressões transversais podem ser causadas por tensões de compressão transversais devidas às cargas, pela retração ou pela expansão do concreto (LEONHARDT; MÖNNIG, 1977, p. 50).

Fusco (1995, p. 136) ilustra o fenômeno no caso do arrancamento de uma barra de aço parcialmente imersa no concreto (Figura 6).

Figura 6 - Aderência por atrito.

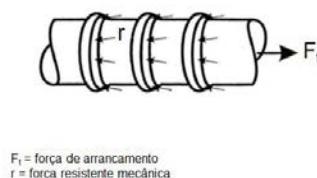


Fonte: adaptado de Fusco (1995, p. 136).

2.5.4 Aderência mecânica

Segundo Fusco (1995, p. 136), a aderência mecânica é decorrente da presença das nervuras na superfície das barras de aço. Fusco (1995, p. 136) ainda precisa que essas nervuras “[...] funcionam como peças de apoio, mobilizando tensões de compressão no concreto” (Figura 7).

Figura 7 - Aderência mecânica.



Fonte: adaptado de Fusco (1995, p. 136).

Vale ressaltar a observação de Fusco (1995, p. 137) a respeito das três parcelas de aderência:

Na realidade, a separação da aderência nas três parcelas [...] é meramente esquemática, não sendo possível determinar-se cada uma delas isoladamente. [...]. Desse modo, por meio de ensaios, são determinados valores médios globais de aderência, que são suficientes para efeito de projeto, não havendo necessidade de um estudo em escala microscópica (FUSCO, 1995, p. 137).

2.5.5 Ensaio de arrancamento “Pull-out test”

Os ensaios de arrancamento realizados neste trabalho foram baseados no ensaio “Pull-out test” proposto pela associação Réunion Internationale des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions – RILEM em 1978.

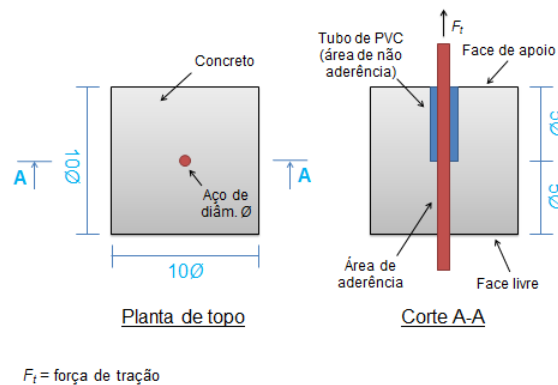
Os quatro principais argumentos que justificam a escolha deste ensaio são:

- a simplicidade de construção dos moldes;
- a rapidez de execução do ensaio de arrancamento;
- o baixo custo que o ensaio impõe;
- a larga utilização do ensaio no meio tecnológico.

O ensaio consiste no arrancamento de uma armadura de aço (de diâmetro $\emptyset$) parcialmente imersa em um cubo de concreto (de aresta $10\emptyset$), conforme indicado na Figura 8.

A força máxima de tração (F_{tu}) dividida pela área de aderência (área de contato direto entre a barra de aço imersa e o concreto) corresponde à tensão última de aderência (τ_{bu}). Com auxílio de um tubo de plástico, uma área de não aderência de superfície igual a $5.\pi.\emptyset^2$ deve ser prevista. A área de não aderência permite afastar o local de medição da aderência da região de concreto comprimido e próxima à face de apoio do corpo-de-prova (RILEM, 1978, p. 3).

Figura 8 - "Pull-out test" conforme RILEM (1978): croqui sem escala.



Fonte: adaptado de RILEM (1978, p. 5).

2.6 SÍNTESE DOS TRABALHOS ABORDANDO O TEMA DA PESQUISA

2.6.1 Piyamaikongdech (2007)

Piyamaikongdech (2007) desenvolveu um tipo de concreto celular de massa específica teórica igual a 1450 kg/m^3 , para aplicação em paredes estruturais pré-moldadas. O Quadro 5 sintetiza os fatos relevantes do trabalho.

Quadro 5 - Síntese do trabalho proposto por Piyamaikongdech (2007).

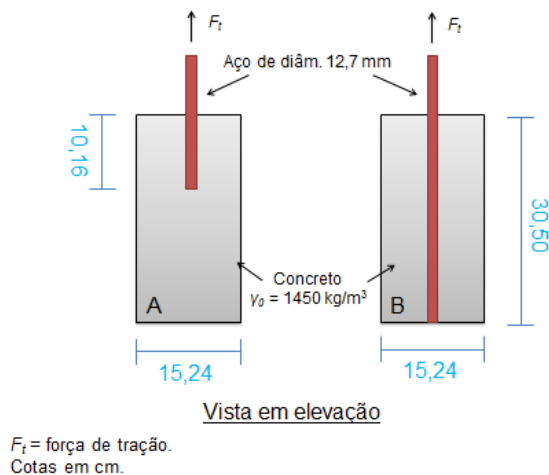
Item	Observações
Tipo de trabalho	Dissertação de Mestrado apresentada em 2007 na Universidade do Texas de Arlington (Estados Unidos).
Objetivo	Desenvolver um tipo de concreto celular de massa específica valendo 1450 kg/m^3 aos 28 dias, para aplicação em paredes estruturais pré-moldadas.
Vínculo com o presente trabalho	Realização de ensaios de compressão simples e de aderência (pull-out test).
Materiais utilizados	Para o concreto celular: cimento, areia, fibra de vidro, agente espumígeno NEOPOR ®. Relação a/c valendo 0,44 (PIYAMAIKONGDECH, 2007, p. 17). Para as armaduras: barras de aço de diâmetro igual a 12,7 mm.
Detalhe do principal ensaio vinculado com o presente trabalho	Ver a Figura 9.
Resultados	Resultados apresentados na Tabela 3 (compressão) e na Tabela 4 (aderência).

Fonte: Piyamaikongdech (2007, p. 44).

É importante mencionar que o concreto celular desenvolvido pelo autor não contém agregado graúdo, ao contrário do concreto desenvolvido nesta pesquisa.

A Figura 9 a seguir apresenta o ensaio de arrancamento proposto pelo autor.

Figura 9 - Ensaio de aderência proposto por Piyamaikongdech (2007).



Fonte: adaptado de Piyamaikongdech (2007, p. 45).

Alguns CPs ensaiados pelo autor tendo um comprimento de ancoragem valendo 30,50 cm romperam por fendilhamento do concreto (CP do tipo B da Figura 9), impossibilitando o cálculo da tensão de aderência (PIYAMA KONGDECH, 2007, p. 49). Na relação de resultados proposta pelo autor (PIYAMA KONGDECH, 2007, p. 50-51), não foi especificado o tipo de CP (A ou B conforme a Figura 9), ou seja, não ficou claro se houve influência do tipo de CP (comprimento de ancoragem) sobre o valor da tensão de aderência.

A Tabela 3 a seguir apresenta valores de resistência à compressão (f_c) obtidos por (PIYAMA KONGDECH, 2007).

Tabela 3 - Valores de resistência à compressão (f_c) obtidos por Piyamaikongdech (2007).

Local de moldagem 1		Local de moldagem 2	
γ_{28} (kg/m ³)	f_c (MPa)	γ_{28} (kg/m ³)	f_c (MPa)
1378	5,94	1385	7,38
1389	6,04	1385	7,32
1393	6,84	1414	6,47
1394	6,31	1438	8,40
1411	6,47	1445	8,65
1423	6,31	1454	8,89
1463	7,97	1463	9,09
1472	7,69	1473	9,65
1479	8,27	1494	9,18
1516	9,71	1557	11,03
1523	8,78	1569	15,09
1550	9,85	1569	14,58
1597	9,97	-	-

Fonte: Piyamaikongdech (2007, p. 28-29).

A Tabela 4 a seguir apresenta valores de tensão última de aderência (τ_{bu}) obtidos por (PIYAMA KONGDECH, 2007).

Tabela 4 - Valores de tensão última de aderência (τ_{bu}) obtidos por Piyamaikongdech (2007)

Local de moldagem 1		Local de moldagem 2	
γ_{28} (kg/m ³)	τ_{bu} (MPa)	γ_{28} (kg/m ³)	τ_{bu} (MPa)
1388	1,06	1401	1,59
1395	1,20	1408	1,50
1404	1,20	1412	1,97
1409	1,46	1430	2,09
1417	1,48	1436	2,01
1450	1,61	1439	2,45
1454	1,78	1444	2,18
1458	1,71	1452	2,46
1468	1,77	1468	2,63
1481	1,75	1476	2,17
1485	1,52	1482	2,57
1487	2,00	1503	2,66
1493	2,17	1569	4,11
1495	1,98	1630	3,95
1504	2,35	1633	4,03
1510	2,04	1656	2,47
1510	2,34	1675	2,94
1518	2,45	1689	2,94
1522	2,72	-	-
1536	2,96	-	-
1543	3,07	-	-

Fonte: Piyamaikongdech (2007, p. 50-51).

2.6.2 Oliveira (2006)

Oliveira (2006) estudou o fenômeno de aderência entre barras de aço e concretos leves especiais (contendo, além do agente espumígeno, resíduos plásticos e raspa de pneu como substituição parcial do agregado graúdo). O Quadro 6 sintetiza os fatos relevantes do trabalho.

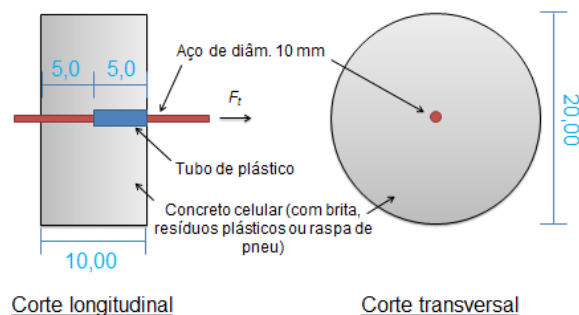
Quadro 6 - Síntese do trabalho proposto por Oliveira (2006).

Item	Observações
Tipo de trabalho	Dissertação de Mestrado apresentada em 2006 na Universidade Federal Fluminense (Niterói).
Principal objetivo	Estudar o fenômeno de aderência entre barras de aço e concretos leves especiais, elaborados a partir de resíduos plásticos ou raspa de pneu.
Vínculo com o presente trabalho	Realização de ensaios de caracterização (compressão, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade) e de aderência entre barras de aço e concretos leves especiais realizados com agente espumígeno.
Materiais utilizados	Para os concretos: cimento CP-III-RS-40, areia grossa, brita 0, resíduos plásticos, raspa de pneu, agente espumígeno TEXSA®, aditivo plastificante. Relação a/c valendo 0,61 (OLIVEIRA, 2007, p. 97 e 112-114). Para as armaduras: barras de aço de diâmetro igual a 10 mm (CA 50).
Detalhe do principal ensaio vinculado com o presente trabalho	Ver a Figura 10.
Resultados	Resultados apresentados na Tabela 5.

Fonte: Oliveira (2006).

A Figura 10 a seguir apresenta o ensaio de aderência proposto pelo autor.

Figura 10 - Ensaio de aderência proposto por Oliveira (2006).



F_t = força de tração.
Cotas em cm.

Fonte: adaptado de Oliveira (2006, p. 100).

A Tabela 5 a seguir apresenta os principais resultados do trabalho, sendo que os valores indicados correspondem à média aritmética de dois CPs.

Tabela 5 - Resultados obtidos por Oliveira (2006).

Traço	Y_0 (k/m^3)	f_c (MPa)	τ_{bu} (MPa)
Cimento CP III-RS-40, areia grossa ($MF = 3,12$ e $D_{m\acute{a}x.} = 4,80$ mm), brita 0 ($MF = 5,75$ e $D_{m\acute{a}x.} = 9,50$ mm), aditivo plastificante, a/c = 0,61. Traço de referência, sem agente espumígeno.	2309,22	38,50	12,98
	2323,19	39,06	12,19
Cimento CP III-RS-40, areia grossa ($MF = 3,12$ e $D_{m\acute{a}x.} = 4,80$ mm), brita 0 ($MF = 5,75$ e $D_{m\acute{a}x.} = 9,50$ mm), agente espumígeno TEXSA®, a/c = 0,61.	1766,45	5,70	1,10
	1778,91	6,57	0,84
Cimento CP III-RS-40, areia grossa ($MF = 3,12$ e $D_{m\acute{a}x.} = 4,80$ mm), 80% de brita 0 ($MF = 5,75$ e $D_{m\acute{a}x.} = 9,50$ mm), 20% de resíduos plásticos, agente espumígeno TEXSA®, a/c = 0,61.	1676,24	3,30	1,27
	1700,97	4,67	1,17
Cimento CP III-RS-40, areia grossa ($MF = 3,12$ e $D_{m\acute{a}x.} = 4,80$ mm), 80% de brita 0 ($MF = 5,75$ e $D_{m\acute{a}x.} = 9,50$ mm), 20% de raspa de pneu, agente espumígeno TEXSA®, a/c = 0,61.	1611,32	4,00	1,48
	1622,27	5,17	1,47

Fonte: Oliveira (2006).

A análise dos resultados obtidos por Oliveira (2006) permite observar que:

- a incorporação do agente espumígeno provocou uma redução de f_c superior a 80%;
- a incorporação do agente espumígeno provocou uma redução de τ_{bu} superior a 90%;
- a incorporação de raspa de pneu como substituição parcial da brita 0, além de não reduzir muito o valor de f_c , provocou um aumento de τ_{bu} (comparando os valores com os do segundo traço da Tabela 5);
- a incorporação dos resíduos de plásticos como substituição parcial da brita 0 teve o mesmo efeito que a introdução da raspa de pneu, porém, com intensidade menor (maior decréscimo de f_c , menor acréscimo de τ_{bu}).

2.6.3 Teixeira Filho e Tezuka (1992)

Teixeira Filho e Tezuka (1992) realizaram ensaios de caracterização (compressão, retração, carbonatação) de concretos celulares com massa específica (γ_0) variando de 1100 kg/m³ até 1900 kg/m³ e de relação água/cimento variando de 0,50 até 0,70. O Quadro 7 sintetiza os fatos relevantes do trabalho.

Quadro 7 - Síntese do trabalho proposto por Teixeira Filho e Tezuka (1992).

Item	Observações
Tipo de trabalho	Dissertação de Mestrado apresentada em 1992 na Universidade de São Paulo (São Paulo). Versão abreviada.
Principal objetivo	Estudar a influência de γ_0 e da relação água/cimento sobre a resistência à compressão axial, a retração linear e a carbonatação de concretos celulares aplicados em paredes de habitações térreas.
Vínculo com o presente trabalho	Estudo da influência de γ_0 e de a/c sobre f_c , para os concretos celulares.
Materiais utilizados	Cimento CP II-E-32, areia grossa, agente espumígeno de origem sintética.
Resultados	Resultados apresentados na Tabela 6.

Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992).

A Tabela 6 apresenta os principais resultados obtidos pelos autores. Os valores de f_c indicados na tabela correspondem à média aritmética de dois valores, obtidos com duas velocidades de carregamento diferentes (0,15 e 0,25 MPa/s). Segundo os autores, a velocidade de carga não parece ter influenciado os resultados (TEIXEIRA FILHO, 1992, p. 15).

Tabela 6 - Principais resultados obtidos por Teixeira Filho e Tezuka (1992).

γ_0 (k/m^3)	f_c (MPa)		
	a/c = 0,50	a/c = 0,60	a/c = 0,70
1100	1,95	4,35	-
1300	1,75	3,95	-
1500	4,50	6,20	4,90
1700	7,40	7,80	9,95
1900	10,85	7,30	9,25

Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992, p. 16).

Os autores, entre outras conclusões, afirmam que para $\gamma_0 < 1700 \text{ kg/m}^3$, o aumento da relação a/c tende a provocar um aumento de f_c (Teixeira Filho; Tezuka, 1992, p. 27). Entretanto, confrontando os resultados com outros trabalhos, essa afirmação não foi confirmada (ver o capítulo 4, item 4.9).

2.6.4 Cortelassi (2005)

Cortelassi (2005) realizou ensaios de caracterização (consistência, compressão simples, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade) de concretos celulares ditos de “alto desempenho”. O Quadro 8 sintetiza os fatos relevantes do trabalho.

Quadro 8 - Síntese do trabalho proposto por Cortelassi (2005).

Item	Observações
Tipo de trabalho	Dissertação de Mestrado apresentada em 2005 na Universidade Estadual de Londrina (Londrina).
Principal objetivo	Propor um concreto celular de “alto desempenho”, com resistência à compressão superior a 20 MPa (CORTEPASSI, 2005, p. 24).
Vínculo com o presente trabalho	Estudo da influência de γ_0 sobre f_c para concretos celulares.
Materiais utilizados	Cimento CP V-ARI, adição mineral (sílica ativa), areia grossa, pó-de-brita, superplastificante, agente espumígeno.
Resultados	Resultados apresentados na Tabela 7.

Fonte: Cortelassi (2005).

A Tabela 7 apresenta os principais resultados obtidos pelo autor.

Tabela 7 - Principais resultados obtidos por Cortelassi (2005).

γ_o (k/m ³)	a (mm)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	E_{ci} (GPa)
1720	290	14,51	0,75	-
1859	280	18,82	1,68	-
1874	280	25,18	1,90	16,90
2009	270	27,52	2,34	-
2432*	240	70,91	6,45	30,95

*: traço sem agente espumígeno

Fonte: Cortelassi (2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EMPREGADOS

A caracterização dos materiais foi realizada no Laboratório de Sistemas Estruturais da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

3.1.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado neste trabalho foi adquirido na cidade de São Carlos-SP (Figura 11). O Quadro 9 resume as principais características do material.

Figura 11 - Agregado miúdo utilizado na pesquisa



Fonte: Lima (2014).

Quadro 9 - Características do agregado miúdo utilizado na pesquisa.

Característica	Valor ou tipo	Observação
Massa específica	2,62 g/cm ³	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 52:2009. Fonte: Lima (2014).
Massa específica aparente	1,59 g/cm ³	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 52:2009.
Dimensão máxima característica ($D_{máx.}$)	1,18 mm	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 248:2003 (item 3.2 da Norma). Ver detalhe no Apêndice A.
Módulo de finura (MF)	1,79	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 248:2003 (item 3.3 da Norma). Ver detalhe no Apêndice A.
Tipo de areia	Areia grossa	Determinado conforme a classificação da ABNT NBR 6502:1995 (item 2.2.23 da Norma).

Fonte: LIMA (2014).

3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado neste trabalho foi adquirido na cidade de São Carlos-SP (Figura 12).

Figura 12 - Agregado graúdo utilizado na pesquisa



Fonte: LIMA (2014).

O Quadro 10 a seguir resume as principais características do material.

Quadro 10 - Características do agregado graúdo utilizado na pesquisa.

Característica	Valor ou tipo	Observação
Massa específica	-	Não determinado.
Massa específica aparente	1,48 g/cm ³	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 45:2006.
Dimensão máxima característica ($D_{máx.}$)	9,5 mm	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 248:2003 (item 3.2 da Norma). Ver detalhe no Apêndice B.
Módulo de finura (MF)	5,7	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 248:2003 (item 3.3 da Norma). Ver detalhe no Apêndice B.
Tipo de brita	Brita 0	Determinado conforme a classificação proposta por Ripper (1995, p. 11).

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.1.3 Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa provém da indústria brasileira (marca Votorantim Cimentos ®, armazenamento em sacos de 50 kg). O Quadro 11 resume as principais características do material.

Quadro 11 - Características do cimento utilizado na pesquisa.

Característica	Valor ou tipo	Observação
Tipo de cimento	CP II-Z-32	Material obedecendo as exigências da ABNT NBR 11578:1991 (conforme indicado pelo fabricante).
Massa específica	3,49 g/cm ³	Determinado conforme as indicações da ABNT NBR NM 23:2001. Fonte: Lima (2014).
Massa específica aparente	1,27 g/cm ³	Determinado a partir de um recipiente cilíndrico, sem norma de referência.

Fontes: Lima (2014).

3.1.4 Aditivo plastificante

Para os três traços, foi utilizado um aditivo plastificante polifuncional (Figura 13), com alto poder de redução de água (fabricante Vedacit®, produto CEMIX 2000®).

Figura 13 - Aditivo plastificante utilizado nos três traços da pesquisa.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O Quadro 12 resume as características do material fornecidas pelo fabricante.

Quadro 12 - Características do aditivo plastificante utilizado na pesquisa.

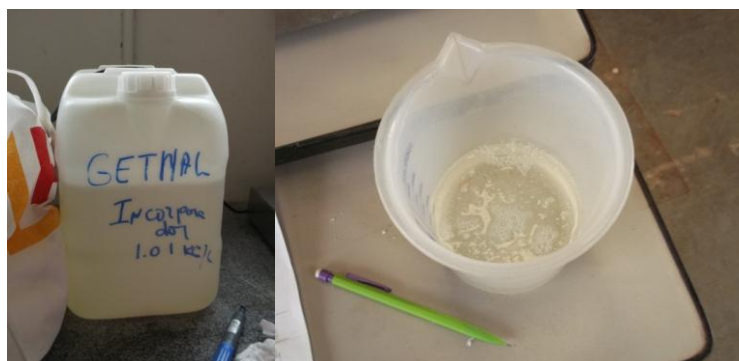
Característica	Valor ou observação
Densidade	1,19 g/cm ³
Aparência	Líquido marrom escuro, isento de cloretos.
Composição básica	Naftaleno sulfonado.
Aplicações	Concreto de alto desempenho, bombeado, aparente, impermeável.

Fonte: Vedacit® (2014).

3.1.5 Incorporador de ar Gethal ®

O incorporador de ar (Figura 14) utilizado nos traços Tr2 e Tr3 foi desenvolvido pela empresa Gethal ®.

Figura 14 - Incorporador de ar Gethal ® utilizado na pesquisa.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O Quadro 13 resume as principais características do material.

Quadro 13 - Características do incorporador de ar Gethal ® utilizado na pesquisa

Característica	Valor ou observação
Densidade	1,01 g/cm ³
Aparência	Produto viscoso, transparente.
Composição básica	Origem orgânica (protéica).
Aplicações	Concreto celular (paredes moldadas "in loco", lajes).

Fonte: Empresa Gethal ® (2014).

3.1.6 Fibras de polipropileno

Para limitar os efeitos da retração no concreto, foram utilizadas fibras de polipropileno nos três traços (Figura 15). Desenvolvendo tensões de tração durante a retração, esta adição reduz o aparecimento de fissuras.

Figura 15 - Fibras de polipropileno utilizadas na pesquisa.

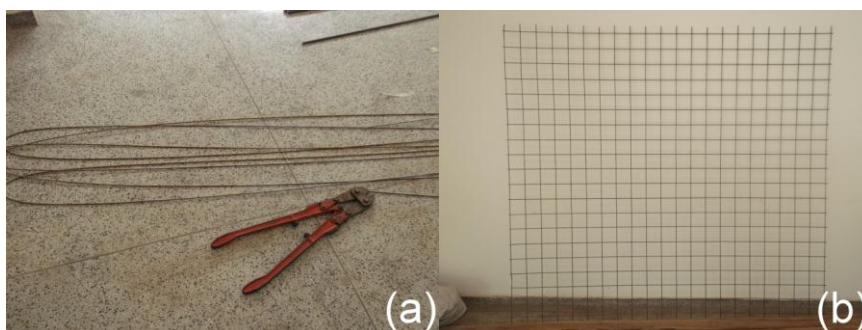


Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.1.7 Armaduras

Para realização da armadura dos CPs foram cortadas barras (Figura 16-a) e telas (Figura 16-b) de aço.

Figura 16 - Barras (a) e telas (b) de aço utilizadas na pesquisa.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O Quadro 14 resume as características das armaduras utilizadas neste trabalho.

Quadro 14 - Características das armaduras utilizadas na pesquisa.

Característica	Valor ou observação
Tipo de armadura para CPs do tipo “Barra”	Barras de 12 m
Tipo de armadura para CPs do tipo “Tela”	Tela soldada quadrada (10 cm x 10 cm)
Marca do fabricante	Gerdau ®
Diâmetro das armaduras	4,2 mm
Tipo de aço	Aço CA-60
Resistência característica de escoamento (f_{yk})	600 MPa

Fonte: Empresa Gerdau ® (2014).

3.2 ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS

Os traços foram elaborados e caracterizados na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (Figura 17). Todos os corpos-de-prova de caracterização foram moldados e curados conforme as recomendações da ABNT NBR 5738:2003. O processo de cura adotado é idêntico ao dos CPs da pesquisa: 7 dias de imersão na água e colocação em ambiente climatizado até os 28 dias de idade (ver item 3.11). Unicamente os CPs moldados a partir do traço Tr1 foram adensados.

Figura 17 - Vista geral dos materiais antes da elaboração dos traços.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.2.1 Dosagem dos traços Tr1, Tr2 e Tr3

O Quadro 15 a seguir apresenta a dosagem em massa do traço Tr1 ($\gamma_0 = 2200 \text{ kg/m}^3$) para 1 m^3 de concreto.

Quadro 15 - Dosagem em massa do traço Tr1 ($\gamma_0 = 2200 \text{ kg/m}^3$) para 1 m^3 de concreto.

Material	Massa (kg)
Cimento	340,00
Água	214,00
Agregado miúdo	986,00
Agregado graúdo	714,00
Fibras de polipropileno	0,50
Aditivo plastificante	1,785

Fonte: Empresa Gethal ® (2014).

Os traços Tr2 ($\gamma_0 = 1700 \text{ kg/m}^3$) e Tr3 ($\gamma_0 = 1500 \text{ kg/m}^3$) são obtidos a partir do traço Tr1, adicionando o agente espumígeno na mistura. A quantidade de agente espumígeno adotada no traço Tr3 é o dobro da quantidade de agente espumígeno adotada no traço Tr2. Ao pedido da empresa Gethal (proprietário intelectual dos traços da pesquisa), não são divulgadas as quantidades de agente espumígeno adotadas nos traços Tr2 e Tr3.

3.2.2 Massa específica aparente no estado fresco (γ_0) e aos 28 dias (γ_{28})

As massas específicas aparentes no estado fresco (γ_0) foram determinadas dividindo a massa de concreto contido em um recipiente cilíndrico pelo volume do recipiente (Figura 18). O volume do recipiente foi considerado igual a $1,57 \text{ dm}^3$.

Figura 18 - Moldagem (a) e pesagem (b) do concreto para determinação dos γ_0 .



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O Quadro 16 apresenta as etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr1 (2200 kg/m^3).

Quadro 16 - Etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr1 (2200 kg/m^3).

Material colocado no misturador	Tempo de batida
Agregado graúdo (100 %) e cimento (100 %).	30 s.
Agregado miúdo (50 %).	30 s.
Água (34 %).	30 s.
Agregado miúdo (50 %).	30 s.
Água (33 %).	30 s.
Fibras de polipropileno (100 %).	30 s.
Água (33 %) e aditivo plastificante (100 %).	60 s.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

O Quadro 17 apresenta as etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr2 (1700 kg/m³).

Quadro 17 - Etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr2 (1700 kg/m³).

Material colocado no misturador	Tempo de batida
Agregado graúdo (100 %) e cimento (100 %).	30 s.
Agregado miúdo (50 %).	30 s.
Água (34 %).	30 s.
Agregado miúdo (50 %).	30 s.
Água (33 %).	30 s.
Fibras de polipropileno (100 %).	30 s.
Água (33 %) com aditivo plastificante (100 %) e incorporador (100 %).	60 s.
Acréscimo para atingir o γ_0 (1700 kg/m ³).	10 min.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

O Quadro 18 apresenta as etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr3 (1500 kg/m³). Para este traço, a quantidade de incorporador de ar colocada no misturador foi multiplicada por 2 em relação ao traço Tr2.

Quadro 18 - Etapas a seguir para atingir o γ_0 do traço Tr3 (1500 kg/m³).

Material colocado no misturador	Tempo de batida
Agregado graúdo (100 %) e cimento (100 %).	30 s.
Agregado miúdo (50 %).	30 s.
Água (34 %).	30 s.
Agregado miúdo (50 %).	30 s.
Água (33 %).	30 s.
Fibras de polipropileno (100 %).	30 s.
Água (33 %) com aditivo plastificante e incorporador (100 %).	60 s.
Acréscimo para atingir o γ_0 (1500 kg/m ³).	25 min.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

A Tabela 8 a seguir apresenta os resultados obtidos para determinação dos γ_0 e γ_{28} . As massas específicas aparentes aos 28 dias (γ_{28}) foram determinadas dividindo a

massa do CP cilíndrico pelo volume do mesmo ($1,57 \text{ dm}^3$), considerado constante ao longo do tempo. A não consideração da retração do concreto ao longo do tempo pode ter prejudicado a precisão dos valores de γ_{28} .

Tabela 8 - Massa específica aparente (γ_0) no estado fresco e aos 28 dias (γ_{28}).

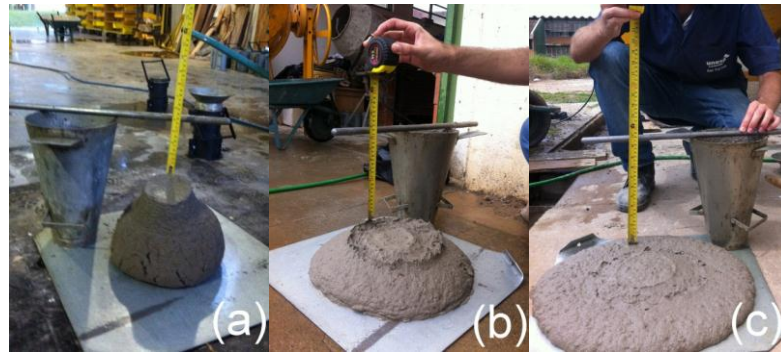
	Traço T1		Traço T2		Traço T3	
CP	$\gamma_0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_{28} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_{28} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\gamma_{28} \text{ (kg/m}^3\text{)}$
1	2285	2282	1646	1576	1534	1471
2	2171	2180	1636	1560	1582	1528
3	2219	2228	1646	1569	1569	1512
4	2238	2235	1655	1579	1642	1579
5	2305	2308	1642	1557	1557	1487
6	2305	2314	1636	1557	1544	1477
7	2311	2317	1642	1566	1569	1493
8	2209	2209	1633	1563	1525	1458
9	2219	2219	1639	1557	1582	1522
10	-	-	-	-	1614	1553
11	-	-	-	-	1569	1509
12	-	-	-	-	1598	1534
Média (kg/m³)	2251	2255	1642	1565	1574	1510
DP (kg/m³)	51	51	7	8	33	36
CV (%)	2,27	2,27	0,41	0,54	2,12	2,35

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.2.3 Consistência do concreto fresco (a)

A consistência dos concretos no estado fresco foi determinada pelo abatimento do tronco de cone, conforme as recomendações da ABNT NBR NM 67:1998 (Figura 19).

Figura 19 - Abatimento do tronco de cone dos traços Tr1 (a), Tr2 (b) e Tr3 (c) conforme ABNT NBR NM 67:1998.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 - Abatimento do tronco de cone dos traços Tr1, Tr2 e Tr3.

Traço	γ_o (kg/m ³)	a (mm)
Tr1	2251	140
Tr2	1642	215
Tr3	1574	260

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.2.4 Resistência à compressão média aos 28 dias (f_{cm})

A determinação da resistência à compressão média (f_{cm}) foi feita conforme as recomendações da ABNT NBR 5739:2007. Os ensaios foram realizados com auxílio de uma prensa universal (marca EMIC ®) de capacidade igual a 600 kN (Figura 20). Este equipamento foi usado também para determinar o módulo de elasticidade (E_{ci}).

Figura 20 - Prensa universal EMIC ® utilizada para determinação de f_{cm} , E_{ci} .



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Resistências à compressão média (f_{cm}) dos concretos da pesquisa.

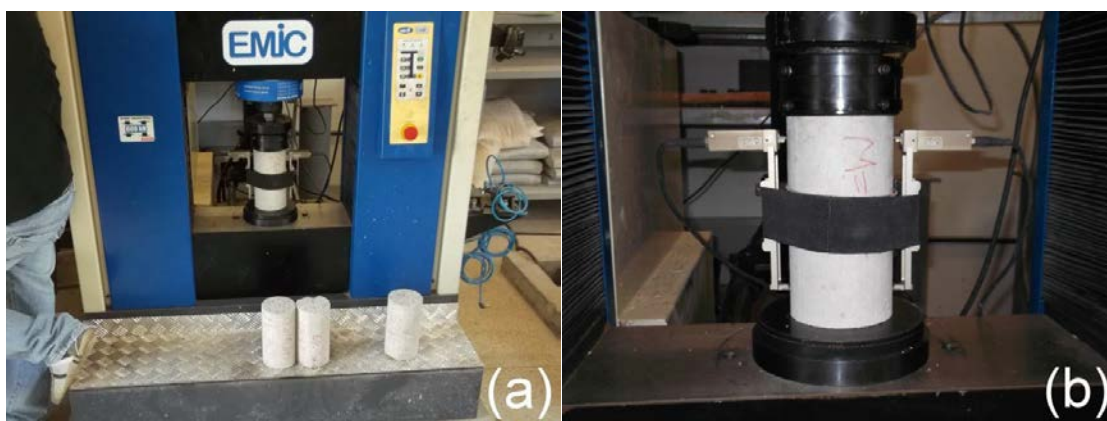
CP	Traço Tr1	Traço Tr2	Traço Tr3
1	25,727	2,479	1,388
2	21,803	2,456	1,583
3	29,813	2,582	1,399
4	26,170	2,650	1,905
5	23,990	2,490	1,740
6	22,080	2,720	1,370
7	sem	sem	1,400
f_{cm} (MPa)	24,931	2,563	1,541
DP (MPa)	2,993	0,106	0,211
CV (%)	12,01	4,14	13,68

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.2.5 Módulo de elasticidade aos 28 dias (E_{ci})

O módulo de elasticidade aos 28 dias de cada concreto foi determinado conforme as recomendações da ABNT NBR 8522:2008 (Figura 21).

Figura 21 - Determinação do módulo de elasticidade (E_{ci}).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 - Módulo de elasticidade aos 28 dias (E_{ci}) dos concretos da pesquisa.

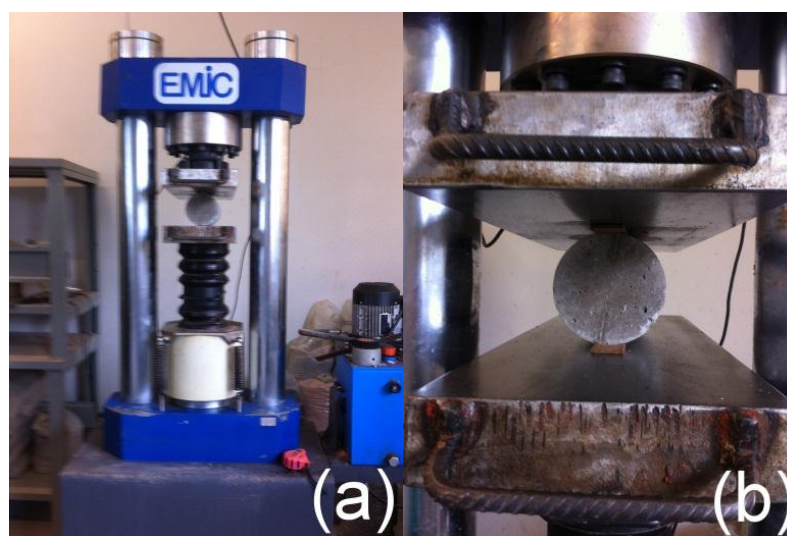
CP	Traço Tr1	Traço Tr2	Traço Tr3
1	27,780	9,940	3,310
2	25,140	4,830	4,140
3	25,220	6,210	-
E_{ci} (GPa)	26,047	6,993	3,725
DP (GPa)	1,502	2,644	0,587
CV (%)	5,77	37,80	15,76

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.2.6 Resistência à tração aos 28 dias ($f_{ct,sp}$)

A resistência à tração dos concretos da pesquisa foi determinada por compressão diametral, conforme as recomendações da ABNT NBR 7222:2011 (Figura 22) e auxílio de uma prensa EMIC®.

Figura 22 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

A Tabela 12 a seguir apresenta os resultados obtidos.

Tabela 12 - Resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$).

CP	Traço Tr1	Traço Tr2	Traço Tr3
1	2,222	0,653	0,306
2	2,349	0,583	0,334
3	1,636	0,563	0,220
4	sem	sem	0,318
Média ou $f_{ct,sp}$ (MPa)	2,069	0,600	0,295
DP (MPa)	0,380	0,047	0,051
CV (%)	18,38	7,88	17,31

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL ADOTADO

A idéia geral dos ensaios resume-se em arrancar barras simples de aço (corpos-de-prova do tipo “Barra”) ou barras de aço dotadas de uma barra transversal soldada (corpos-de-prova do tipo “Tela”) parcialmente imersa em um cilindro de concreto. Três traços foram elaborados para obter massas específicas do concreto no estado fresco (γ_0) diferentes:

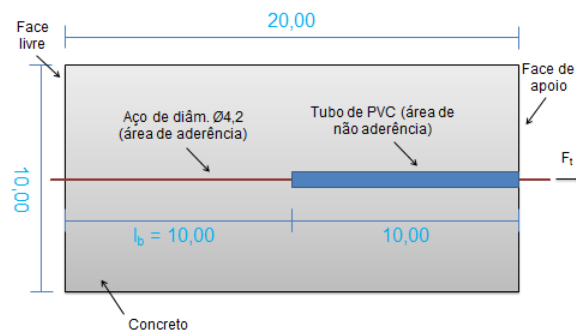
- um traço sem colocação do agente espumígeno, correspondendo ao traço Tr1 tal que $\gamma_0 = 2200 \text{ kg/m}^3$ (valor esperado);
- dois traços com colocação do agente espumígeno em quantidades diferentes, correspondendo ao traço Tr2 tal que $\gamma_0 = 1700 \text{ kg/m}^3$ e ao traço Tr3 tal que $\gamma_0 = 1500 \text{ kg/m}^3$ (valores esperados).

Todas as armaduras de aço utilizadas no trabalho têm um diâmetro $\varnothing$ igual a 4,2 mm. Durante o ensaio de arrancamento, a força de tração (F_t) e o deslocamento relativo entre o aço e o concreto (Δ) foram medidos.

3.3.1 Corpo-de-prova do tipo “Barra”

O CP do tipo “Barra” está apresentado na Figura 23. A barra de aço é parcialmente imersa no centro do cilindro de concreto de diâmetro igual a 10,00 cm e de altura igual a 20,00 cm. O comprimento de ancoragem dentro do CP (l_b) vale a metade da altura do cilindro. O restante da barra dentro do cilindro é isolado do concreto com um tubo de PVC de comprimento igual a 10,00 cm. Conforme indicado por RILEM (1978, p. 3), o tubo de PVC foi colocado na zona que perturba (aumenta) a aderência devida à compressão do concreto na proximidade da face de apoio do cilindro.

Figura 23 - Corte longitudinal do CP tipo "Barra".

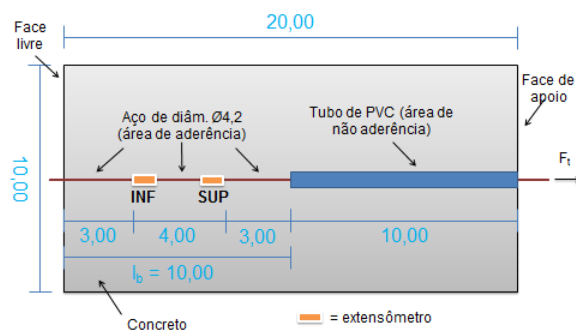


Obs.: Cotas em cm. Desenho sem escala.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

A Figura 24 apresenta o CP do tipo “Barra” instrumentado com dois extensômetros, colocados sobre a parte da barra de aço imersa no concreto.

Figura 24 - Corte longitudinal do CP tipo "Barra" dotado de dois extensômetros.



Obs.: Cotas em cm. Desenho sem escala.

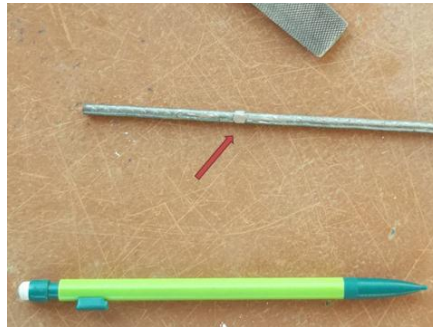
Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.3.2 Corpo-de-prova do tipo "Tela"

A armadura do CP do tipo "Tela" foi obtida a partir do corte de uma tela soldada do tipo CA 60 com malha quadrada (10,00 cm x 10,00 cm). O item 3.6 detalha esta fase da construção dos CPs. O corte cuidadoso da malha não permitiu eliminar completamente as barras transversais indesejáveis para o ensaio, deixando sobrar uma pequena parte dessas barras ao nível da solda (Figura 25).

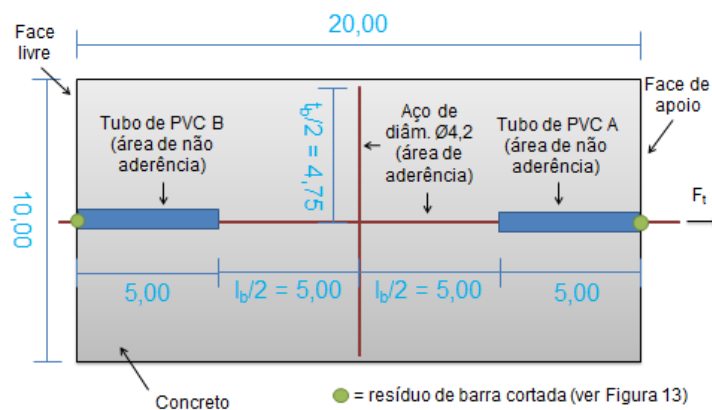
Para limitar a interferência desses resíduos na aderência entre a armadura e o concreto, foi decidido colocar os pontos de solda nas extremidades do cilindro (Figura 26). Desta forma, a barra transversal do corpo-de-prova encontra-se no meio do cilindro.

Figura 25 - Exemplo de resíduo de barra transversal cortada sobrando na armadura do CP tipo "Tela".



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 26 - Corte longitudinal do CP tipo "Tela".



Obs.: Cotas em cm. Desenho sem escala.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Quadro 19 - Descrição das amostras.

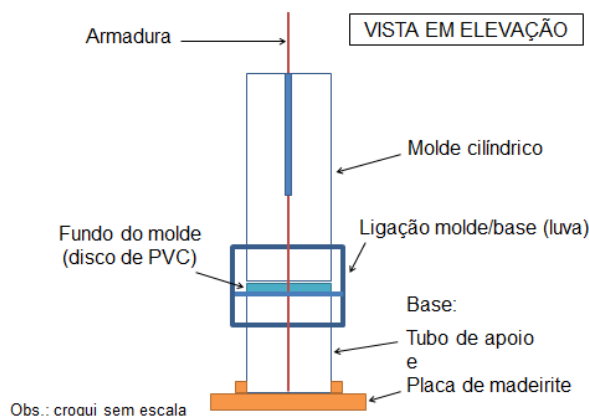
Amostra	Tipo de CP	γ_0 (kg/m ³)	CPs	Observação
AB1-E	“Barra”	2200	B1-1, B2-1 e B3-1	Com extensômetro
AB-1	“Barra”	2200	B4-1, B5-1, B6-1, B7-1, B8-1 e B9-1	Sem extensômetro
AB-2	“Barra”	1700	B1-2, B2-2, B3-2, B4-2, B5-2, B6-2, B7-2, B8-2 e B9-2	Sem extensômetro
AB3-E	“Barra”	1500	B1-3, B2-3 e B3-3	Com extensômetro
AB-3	“Barra”	1500	B4-3, B5-3, B6-3, B7-3, B8-3 e B9-3	Sem extensômetro
AT1-E	“Tela”	2200	T1-1, T2-1 e T3-1	Com extensômetro
AT-1	“Tela”	2200	T4-1, T5-1, T6-1, T7-1, T8-1 e T9-1	Sem extensômetro
AT-2	“Tela”	1700	T1-2, T2-2, T3-2, T4-2, T5-2, T6-2, T7-2, T8-2 e T9-2	Sem extensômetro
AT3-E	“Tela”	1500	T1-3, T2-3 e T3-3	Com extensômetro
AT-3	“Tela”	1500	T4-3, T5-3, T6-3, T7-3, T8-3 e T9-3	Sem extensômetro

Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.4 FABRICAÇÃO DOS MOLDES E DAS BASES PARA OS CPS DO TIPO “BARRA”

A Figura 28 apresenta a vista em elevação do dispositivo (molde cilíndrico dotado de uma base) que foi proposto para realizar os ensaios de arrancamento dos CPs do tipo “Barra”. Nove exemplares deste dispositivo foram fabricados.

Figura 28 - Dispositivo utilizado para moldar os CPs do tipo "Barra".



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.4.1 Confeção dos moldes cilíndricos

Os moldes cilíndricos foram realizados cortando tubos de PVC (marca Tigre®) de diâmetro igual a 100 mm e comprimento igual a 200 mm (Figura 29-a). Para facilitar as desmoldagens os cilindros foram riscados na direção longitudinal (Figura 29-b). Uma grossa média foi passada na parte interna dos cilindros para eliminar as asperezas aparecendo após os cortes (Figura 29-c).

Figura 29 - Corte dos moldes cilíndricos para CPs do tipo “Barra” e “Tela”.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

A altura dos moldes foi conferida com um paquímetro manual de precisão 0,05 mm (Figura 30): todas as alturas reais estão no intervalo [19,975 mm ; 20,180 mm].

Figura 30 - Controle da altura real dos moldes com paquímetro manual.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O fundo dos moldes foi tampado com discos de PVC de diâmetro menor que 100 mm, para permitir o encaixe no molde. Esta etapa foi feita com auxílio de um torno mecânico (Figura 31-a), a partir do corte de placas de PVC de espessura valendo 10 mm. Com auxílio de uma furadeira de bancada, foi feito um furo no centro dos discos (Figura 31-b) para permitir a saída da armadura fora do cilindro de concreto.

Figura 31 - Realização dos discos de PVC (a) com furo no centro (b).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.4.2 Ligação entre os moldes cilíndricos e as bases

A ligação entre os moldes e as bases foi feita utilizando luvas de esgoto em PVC de diâmetro igual a 100 mm (Figura 32).

Figura 32 - Preparação das luvas para ligação das bases com os moldes.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.4.3 Confecção das bases

As luvas descritas no item anterior foram fixadas também a tubos de esgoto em PVC de diâmetro igual a 100 mm e de comprimento igual a 150 mm, para permitir a saída da armadura fora do cilindro de concreto com um comprimento suficiente para realizar o ensaio de arrancamento (Figura 33).

Figura 33 - Tubos de apoio utilizados para permitir a saída da armadura fora do cilindro de concreto.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os tubos de apoio foram colocados sobre placas de madeirite compensado de espessura igual a 12 mm e com dimensões valendo 13,0 cm x 13,0 cm (Figura 34).

Figura 34 - Preparação das placas de madeirite.



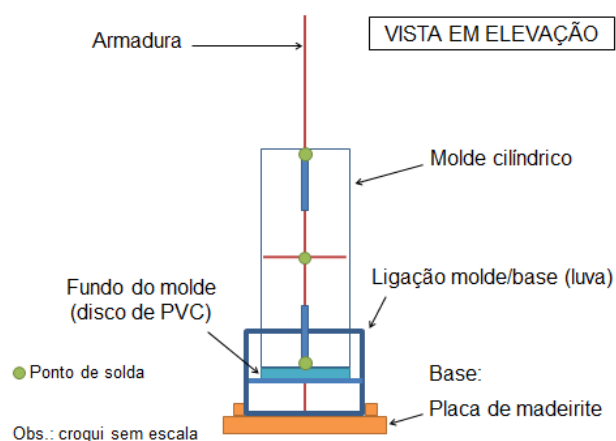
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para poder fixar a extremidade das armaduras nas placas de madeirites e limitar a movimentação das mesmas durante as moldagens, foram feitos furos no centro das placas com auxílio de pregos e de um martelo (Figura 34-b). Não foi usada a furadeira de bancada, pois ela estraga facilmente o madeirite. Para limitar a translação horizontal dos tubos de apoio (Figura 33) sobre as placas de madeirite durante as moldagens, foram colados, com um adesivo à base de PVA (marca Cascola ®), cubos de madeira de dimensão 1,0 cm x 1,0 cm x 1,0 cm sobre as placas de madeirite (Figura 34-c).

3.5 FABRICAÇÃO DOS MOLDES E DAS BASES PARA OS CPS DO TIPO “TELA”

A Figura 35 apresenta a vista em elevação do dispositivo (molde cilíndrico dotado de uma base) que foi proposto para realizar os ensaios de arrancamento dos CPs do tipo “Tela”. Nove exemplares deste modelo foram feitos.

Figura 35 - Dispositivo utilizado para moldar os CPs do tipo "Tela".



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Todas as etapas para realizar os moldes e as bases foram iguais às etapas de realização do dispositivo proposto para moldar os CPs do tipo “Barra”, exceto a não colocação dos tubos de apoio (Figura 33). A presença dos pontos de solda após o corte das armaduras dos CPs do tipo “Tela” (Figura 25, item 3.1.2), de tamanho maior que o furo central dos discos de PVC, junto com a presença da barra transversal, obrigaram a deixar a parte das armaduras saindo pelo fundo dos moldes livres de qualquer ponto de solda (para conseguir enfiar as armaduras dentro do furo dos discos).

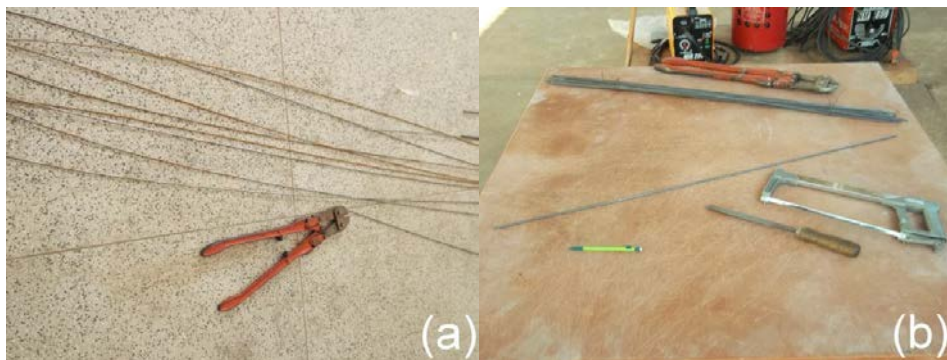
Como as malhas da tela que deu origem às armaduras são de dimensões 10 cm x 10 cm, o comprimento das armaduras saindo pelo fundo do molde teve que ser inferior a 10 cm (para evitar a presença dos pontos de solda nessa região). Por isso, os tubos de apoio de comprimento igual a 15 cm (Figura 33), não foram usados para moldar os CPs do tipo “Tela”. Um comprimento de aproximadamente 5 cm foi deixado na parte das armaduras saindo do molde pelo fundo. As luvas (Figura 32) foram diretamente apoiadas sobre as placas de madeirite (Figura 34).

3.6 CORTE DAS ARMADURAS

3.6.1 Armaduras dos CPs do tipo “Barra”

As armaduras dos CPs do tipo “Barra” foram obtidas a partir do corte de 27 barras de aço (tipo CA-60) de diâmetro igual a 4,2 mm e de comprimento igual a 1,10 m. Os cortes foram feitos com alicate (Figura 36-a) e serra manual (Figura 36-b).

Figura 36 - Corte das armaduras para os CPs do tipo “Barra”.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.6.2 Armaduras dos CPs do tipo “Tela”

As armaduras dos CPs do tipo “Tela” foram obtidas a partir do corte de uma tela quadrada (10 cm x 10 cm) do tipo CA-60 e de diâmetro igual a 4,2 mm (Figura 37). Um total de 27 armaduras foi cortado, cada armadura tendo um comprimento de 1,00 m e a barra transversal sendo posicionada conforme indicado na Figura 37-b. Os cortes foram realizados com alicate e serra manual.

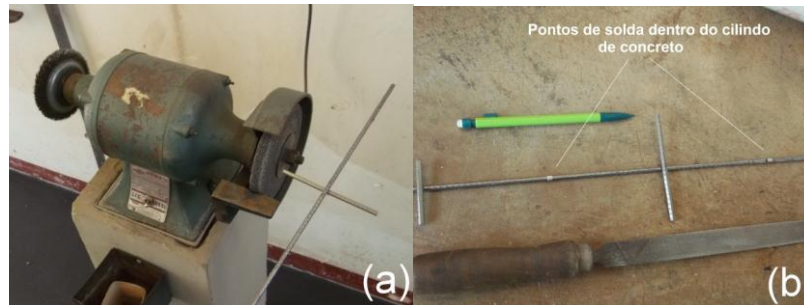
Figura 37 - Corte das armaduras para os CPs do tipo “Tela”.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para padronizar o comprimento das barras transversais, as extremidades das mesmas foram lixadas com uma máquina elétrica esmeril (Figura 38-a). Finalmente, uma grossa média foi passada nos pontos de solda localizados dentro do cilindro de concreto (Figura 38-b), para limitar a influência dos mesmos nos resultados.

Figura 38 - Padronização do comprimento das barras transversais (a) e redução dos pontos de solda com grossa média (b).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O controle do comprimento das barras transversais (t_b) foi feito com um paquímetro manual de precisão igual a 0,05 mm (Figura 39). Todos os valores estão no intervalo [9,120 cm ; 9,675 cm].

Figura 39 - Controle do comprimento das barras transversais (t_b).

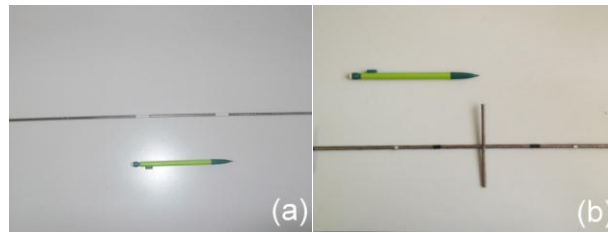


Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.7 DELIMITAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DE ANCORAGEM (L_B)

Para delimitar os comprimentos de ancoragem primeiramente foram marcadas nas armaduras, com fita isolante, as zonas de aderência (Figura 40).

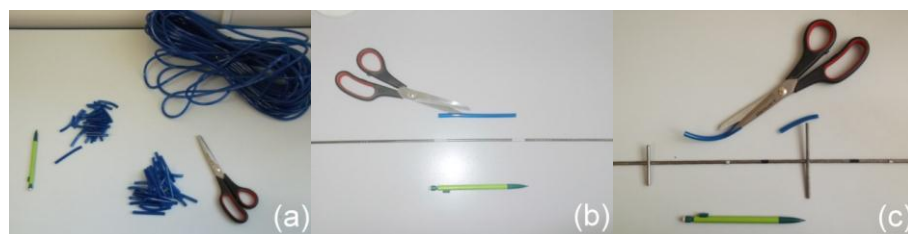
Figura 40 - Comprimento de ancoragem nas armaduras: “Barra” (a) e “Tela” (b).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Em seguida foram cortados transversalmente (Figura 41-a) e longitudinalmente (Figura 41-b-c), tubos em PVC flexível de diâmetro igual a 5 mm, de maneira a respeitar as condições de ancoragem descritas anteriormente na Figura 23 (CP tipo “Barra”) e na Figura 26 (CP tipo “Tela”).

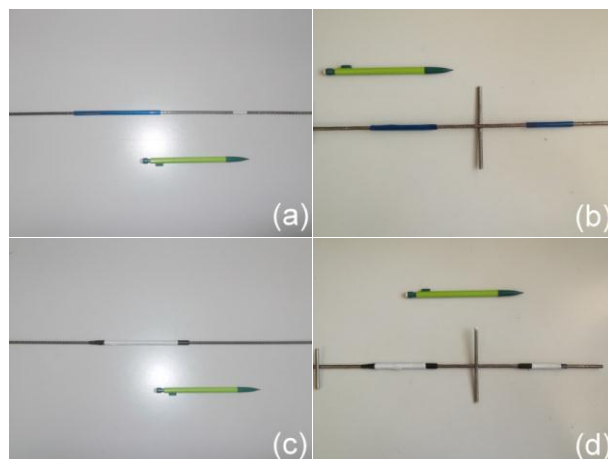
Figura 41 - Corte transversal (a) e longitudinal (b e c) dos tubos flexíveis para facilitar a colocação nas armaduras do tipo “Barra” (b) e “Tela” (c).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Após a colocação dos tubos flexíveis nas armaduras (Figura 42-a-b), os mesmos foram fixados com fita isolante (Figura 42-c-d).

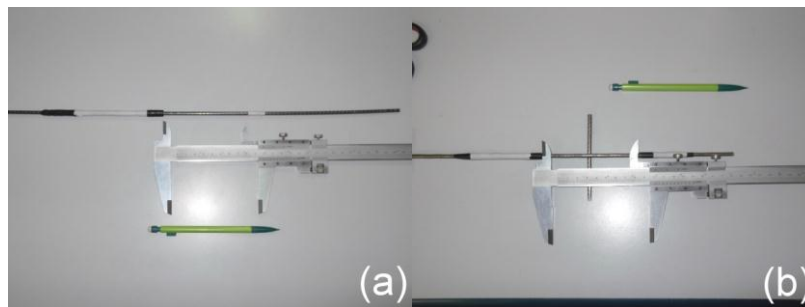
Figura 42 - Enfição (a e b) e fixação (c e d) dos tubos flexíveis com fita isolante.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Após a fixação dos tubos flexíveis, o comprimento de ancoragem (l_b) de todas as armaduras foi conferido com um paquímetro de precisão igual a 0,05 mm (Figura 43). Para as armaduras do tipo “Barra”, todos os comprimentos estiveram no intervalo [10,015 cm ; 10,2010 cm]. Para as armaduras do tipo “Tela”, todos os comprimentos estiveram no intervalo [9,935 cm ; 10,225 cm].

Figura 43 - Verificação com paquímetro do comprimento l_b das armaduras do tipo “Barra” (a) e “Tela” (b) antes os ensaios de arrancamento.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os valores de l_b medidos aqui foram utilizados para calcular o τ_{bu} dos CPs do tipo “Barra” unicamente quando não foi possível medir o l_b real do CP após a realização do ensaio de arrancamento (por causa do esmagamento do concreto).

3.8 COLOCAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS

As etapas para colocação dos extensômetros estão listadas a seguir. Algumas delas estão ilustradas na Figura 44.

- lixamento da armadura com lixa grossa de granulação 100 (Figura 44-a-b);
- lixamento da armadura com lixa fina de granulação 400;
- limpeza da região com álcool isopropílico;
- marcação dos extensômetros na armadura;
- nova limpeza da região com álcool isopropílico;
- posicionamento dos extensômetros com fita adesiva;
- colagem dos extensômetros com cola do tipo Loctite/Super Bonder® (Figura 44-c);
- soldagem dos cabos aos extensômetros (Figura 44-d-e);
- impermeabilização da região com resina de silicone;

- segunda impermeabilização da região com aplicação de uma cera de proteção (marca Excel Sensores/WK ®);
- proteção final da região com fita de auto fusão (Figura 44-f-g).

Figura 44 - Colocação dos extensômetros nas armaduras.



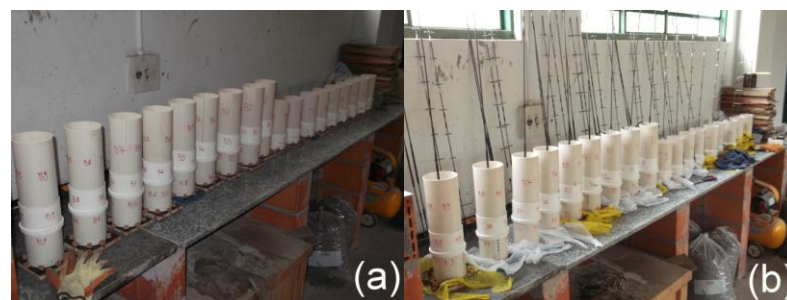
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Vale ressaltar que para a colagem dos extensômetros, não foi usado uma cola resistente à alta temperatura, material mais adequado para este tipo de aplicações que a cola do tipo Loctite/Super Bonder ®. Isso pode explicar a descolagem dos extensômetros inferiores dos CPs T1-3, T2-3 e T3-3 antes do fim do ensaio (ver os diagramas $F_t-\epsilon_s$ dos Apêndices AZ, BA e BB).

3.9 MONTAGEM FINAL DOS MOLDES E DAS BASES

A montagem final dos dispositivos foi feita fixando os moldes sobre as bases (Figura 45-a) e enfiando as armaduras dentro dos moldes (Figura 45-b).

Figura 45 - Montagem final dos moldes.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.10 MOLDAGEM DOS CPS

Todas as moldagens foram realizadas no Laboratório de Sistemas Estruturais da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (Figura 46).

Figura 46 - Moldagem dos CPs.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

A moldagem dos concretos contendo o agente espumígeno (traços Tr2 e Tr3) foi feita sem adensamento do concreto. O concreto sem o agente espumígeno (traço Tr1) foi adensado com uma haste metálica (Figura 47).

Figura 47 - Adensamento do concreto sem agente espumígeno.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Após a moldagem, um filme de plástico foi colocado no topo de todos os CPs (Figura 48) para limitar a evaporação da água e favorecer a reação de hidratação do cimento, conforme as indicações da ABNT NBR 5738:2003 (item 8.1.1 da Norma).

Figura 48 - Filme de plástico colocado no topo dos CPs após a moldagem.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.11 DESFORMA E CURA DOS CPS

Os CPs foram desmoldados 24 horas após as moldagens (Figura 49).

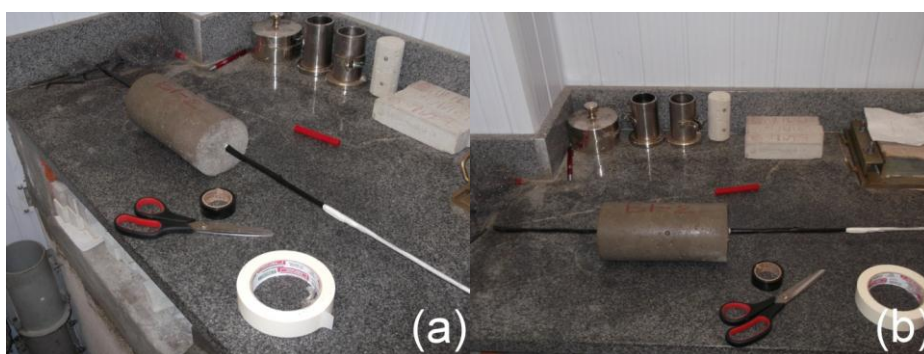
Figura 49 - Desforma dos CPs.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para proteger as armaduras da corrosão até o dia dos ensaios, foi aplicada uma fita isolante em volta das mesmas (Figura 50).

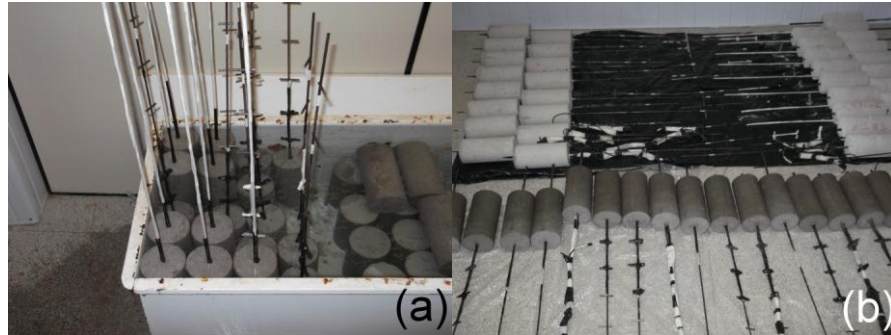
Figura 50 - Proteção das armaduras com fita isolante antes da cura dos CPs.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Durante 7 dias, os cilindros de concreto foram imersos na água dentro de um tanque para realização da cura (Figura 51-a). Após 7 dias, os CPs foram colocados dentro de uma sala climatizada (Figura 51-b) até o transporte para a Faculdade de Engenharia UNESP de Ilha Solteira-SP (local de realização dos ensaios).

Figura 51 - Cura em tanque (a) e armazenamento (b) dos CPs.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Após o transporte até Ilha Solteira, os CPs foram armazenados no laboratório do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Os CPs foram ensaiados após os 28 dias de idade.

3.12 CAPEAMENTO DOS CPS

Para evitar a concentração de tensões na face superior dos CPs, um capeamento realizado com madeirite foi adotado (Figura 53). Antes de lixar a face superior dos CPs com uma grossa média (Figura 52-c), a fita isolante protegendo as armaduras e a sobra de tubo flexível delimitando o comprimento de ancoragem foram retiradas com uma faca (Figura 52-a-b).

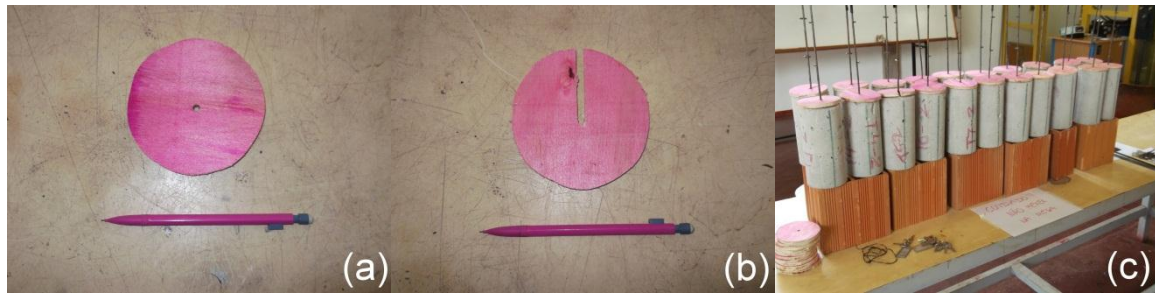
Figura 52 - Retirada da fita (a), da sobra do tubo flexível (b), lixamento do CP (c).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

O madeirite (de espessura igual a 6 mm) foi cortado (com uma serra-fita elétrica) para obter discos de diâmetro igual a 10 cm (Figura 53-a-b). Os discos foram furados no centro (com furadeira de bancada) para permitir a passagem das armaduras (Figura 53-a-b). Para os CPs dotados de extensômetros, foi necessário realizar um corte suplementar para permitir a passagem dos cabos (Figura 53-b).

Figura 53 - Capeamento dos CPs.



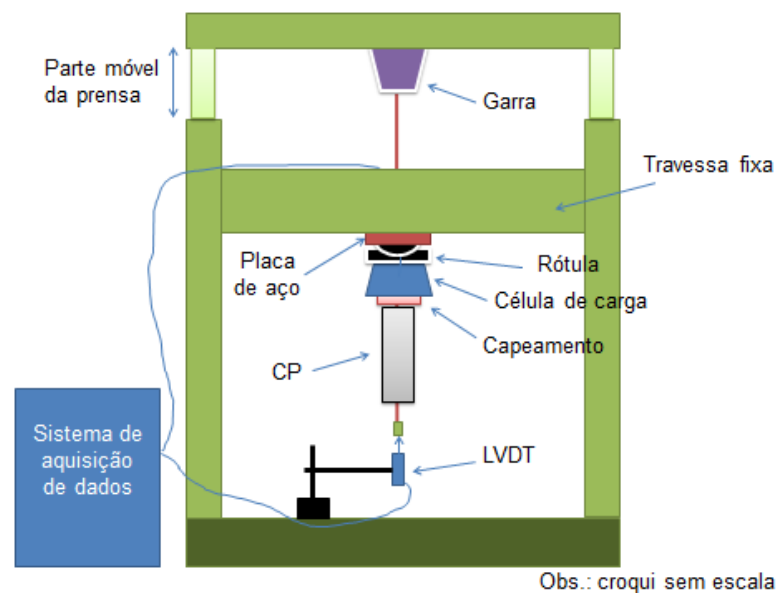
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Vale ressaltar que, propondo um outro tipo de molde permitindo ter a face de apoio do CP no fundo do molde (e não na face livre do molde, no topo, com é o caso neste trabalho), a etapa de capeamento poderia ter sido evitada.

3.13 MONTAGEM DO SISTEMA DE ARRANCAMENTO

A Figura 54 apresenta as diferentes partes do sistema de arrancamento.

Figura 54 - Vista em elevação do sistema de arrancamento (croqui).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os ensaios de arrancamento foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia UNESP de Ilha Solteira-SP, com auxílio de uma prensa universal (marca Dinateste ®) de capacidade igual a 1000 kN (Figura 55).

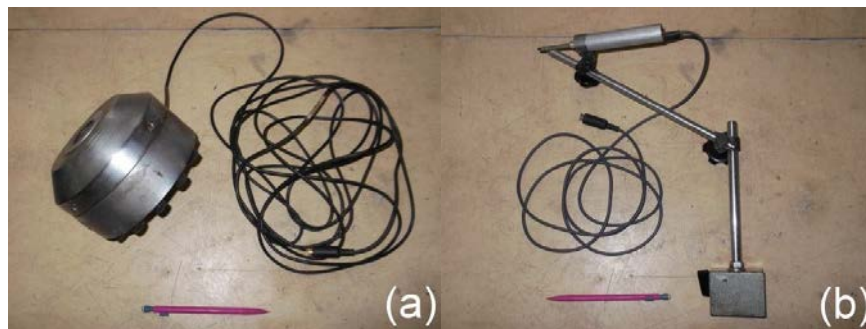
Figura 55 - Prensa universal utilizada para os ensaios de arrancamento.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para medição da força de arrancamento ao longo dos ensaios, foi utilizada uma célula de carga (marca Micro Sensores Industrial ®, modelo MUF-2-10TD6 e nº 045113) de capacidade igual a 10 tf (Figura 56-a). Para medição do deslizamento das armaduras dentro dos cilindros de concreto, usou-se um LVDT (marca Kyoza ®, modelo DTH-A-30 e nº EZ5700016) fixado a uma base magnética (Figura 56-b).

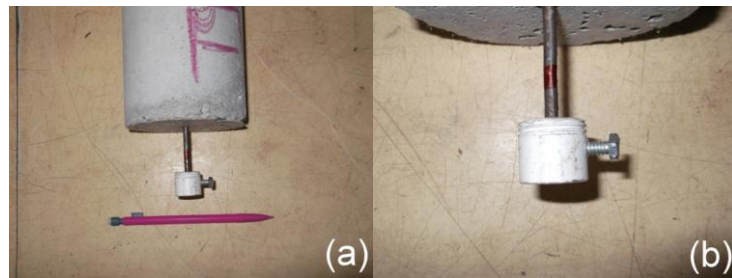
Figura 56 - Célula de carga (a) e LVDT (b).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para aumentar a área de contato entre o LVDT e a extremidade livre das armaduras (o que evita a “saída” do LVDT do local de medição durante o ensaio), foi elaborado um dispositivo ilustrado pela Figura 57: um cilindro de PVC foi furado no centro, enfiado na extremidade livre da armadura, e fixado à mesma com um parafuso.

Figura 57 - Dispositivo adotado para aumentar a área de contato entre o LVDT e a extremidade livre da armadura.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para facilitar o posicionamento dos CPs na vertical, foi colocada uma rótula em cima da célula de carga (Figura 58-a). Uma placa de aço de espessura igual a 17 mm furada no centro (Figura 58-b) foi colocada em cima da rótula para permitir o encaixe na prensa (Figura 58-c).

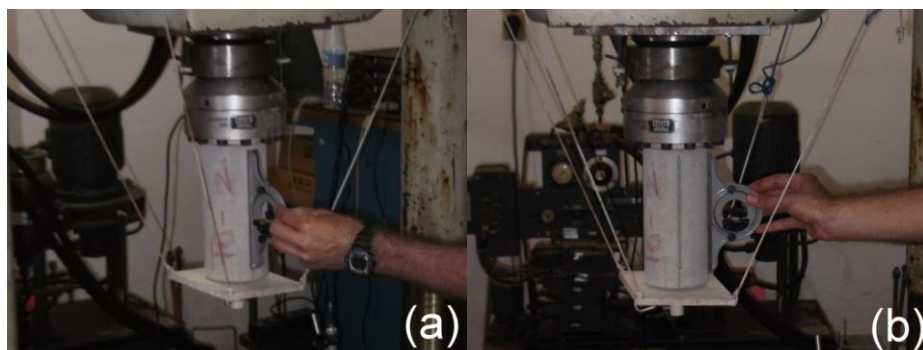
Figura 58 - Dispositivo para encaixe do CP na prensa.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Uma vez os CPs colocados na prensa, os mesmos foram fixados pelo fechamento da garra (Figura 54). Antes do início dos ensaios, para cada CP, o cilindro foi colocado na vertical (alinhando o mesmo com dois planos perpendiculares) com auxílio de um nível de pedreiro (Figura 59).

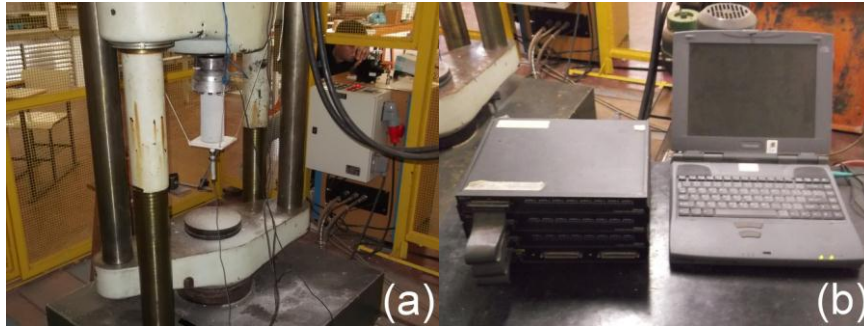
Figura 59 - Alinhamento dos CPs com a vertical.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Em seguida, a célula de carga e o LVDT foram ligados a um sistema de aquisição de dados (Figura 60). Utilizou-se o módulo de aquisição Iotech – DBK43A e o programa DASyLab32 v. 4.01.11 para gravação computacional dos dados (Figura 60-b).

Figura 60 - CP sendo rompido (a) e sistema de aquisição de dados (b).



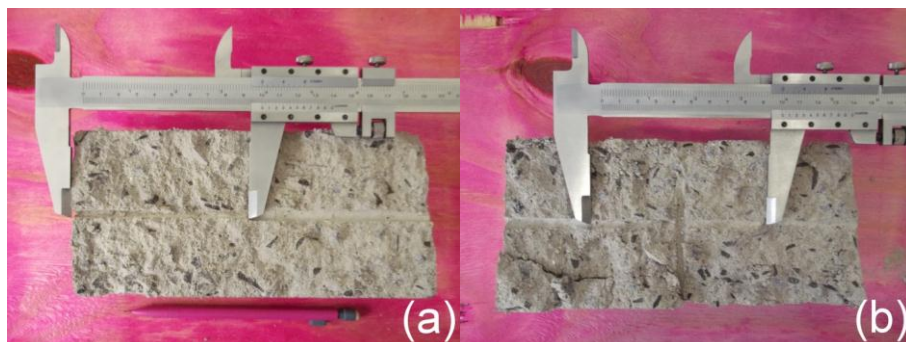
Fonte: dados do próprio autor (2014).

3.14 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO

Para cada CP ensaiado (total de 54 CPs), foram medidas a força de arrancamento (F_t) e o deslizamento da armadura dentro do cilindro de concreto (Δ). Para os CPs dotados de extensômetros (total de 12 CPs), também foram medidas as deformações dos pontos inferior (ϵ_{s-inf}) e superior (ϵ_{s-sup}), conforme ilustrado na Figura 24 e na Figura 27 (item 3.1).

Para todos os CPs, o ensaio foi encerrado após Δ ultrapassar 10 mm. Em seguida, para determinação do comprimento de ancoragem real (l_b) e observação da parte interno dos cilindros, todos os CPs foram abertos (Figura 61).

Figura 61 - Verificação do comprimento de ancoragem após abertura dos cilindros para os CPs do tipo “Barra” (a) e “Tela” (b).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Vale ressaltar que não foi possível medir o comprimento l_b em todos os casos (esmagamento pronunciado do concreto para a maioria dos CPs contendo o agente espumígeno). Essa informação está especificada nos laudos apresentados no item 3.16.

3.15 CÁLCULO DA TENSÃO ÚLTIMA DE ADERÊNCIA

Para determinar a tensão última de aderência (τ_{bu}) dos CPs do tipo “Barra”, foi dividida a força de tração máxima aplicada durante o ensaio (F_{tu}) pela área de contato entre o concreto e a armadura dentro do cilindro (área de aderência, valendo $\pi \cdot \varnothing \cdot l_b$):

$$\tau_{bu} = F_{tu} / (\pi \cdot \varnothing \cdot l_b) \quad (1)$$

3.16 APRESENTAÇÃO DOS LAUDOS (APÊNDICES)

Para cada CP, foi elaborado um laudo contendo as informações resumidas no Quadro 20 a seguir. Os laudos estão colocados nos apêndices da dissertação.

Quadro 20 - Conteúdo dos laudos apresentados nos apêndices.

Parte	Conteúdo	Justificação
1	Fotografias da parte externa do cilindro de concreto (antes do ensaio de arrancamento).	Avaliação da qualidade da moldagem e do respeito da posição central da armadura dentro do cilindro.
2	Fotografias da parte externa do cilindro de concreto (após o ensaio de arrancamento).	Identificação da presença de fissuras ou do esmagamento do concreto durante o ensaio.
3	Fotografias do modo de ruptura do CP.	Identificação do modo de ruptura, avaliação da coerência com o modo de ruptura observado a partir do diagrama $F_t\Delta$.
4	Fotografia da parte interna do cilindro (após o ensaio de arrancamento).	Determinação do l_b real (quando possível), avaliação da posição da armadura dentro do cilindro, avaliação da qualidade da moldagem.
5	Diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados (a , γ_0 , γ_{28} , f_{cm} , $f_{ct,sp}$, E_{ci} , $\emptyset$, l_b , P , F_{tu} , Δ_u , τ_{bu}).	Verificação da coerência do diagrama $F_t\Delta$ com o modo de ruptura observado visualmente (parte 3), determinação de F_{tu} e l_b para cálculo de τ_{bu} .
6	Diagrama $F_t\epsilon_s$ (para os CPs dotados de extensômetros).	Determinação de $\epsilon_{s-sup-u}$, $\epsilon_{s-inf-u}$, $\epsilon_{s-sup-máx}$, $\epsilon_{s-inf-máx}$.
7	Fatos relevantes do ensaio.	Comentários sobre os resultados obtidos.
8	Conclusão do ensaio.	Principal fato do ensaio, comparação do ensaio com o resto da amostra.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

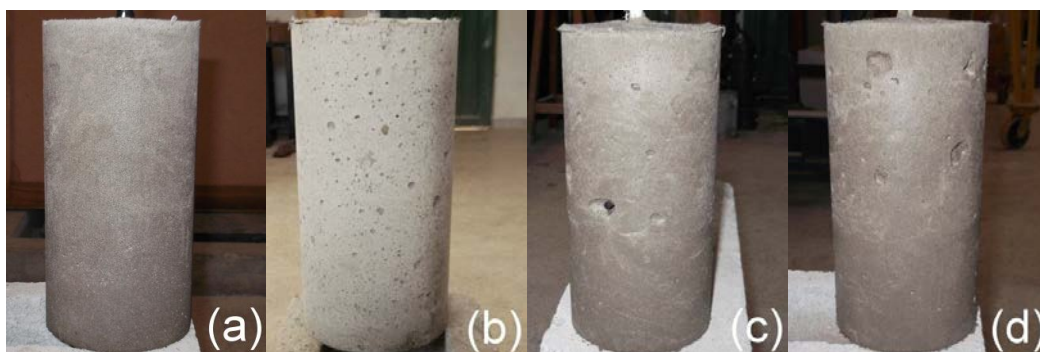
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 QUALIDADE DA MOLDAGEM

A maioria dos CPs da pesquisa foram moldados de forma regular (Figura 62-b), com presença de pequenas bicheiras de diâmetro inferior a 5 mm. Dois CPs (B2-3 e T7-3) tiveram uma moldagem excelente (Figura 62-a). Para 3 CPs, (T7-2, T8-2 e T6-3) o molde não foi preenchido completamente no lugar da armadura transversal (Figura 62-c). Outros CPs, como por exemplo o T6-2 (Figura 62-d), tiveram defeitos mais pronunciados (presença de bicheira de diâmetro superior a 1 cm).

Comparando o desempenho mecânico (τ_{bu} ou F_{tu}) de cada CP com a sua qualidade de moldagem respectiva, conclui-se que, nesta pesquisa, não tem ligação entre os dois critérios.

Figura 62 - Moldagens: excelente (a), regular (b) e com defeitos (c e d).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.2 POSICIONAMENTO DA ARMADURA

O respeito da posição central da armadura dentro do cilindro foi avaliado segundo três conceitos: excelente (46,3 % dos CPs, ver a Figura 63-a), regular (31,5 % dos CPs, ver a Figura 63-b) ou insuficiente (22,2 % dos CPs, ver a Figura 63-c). Comparando o desempenho mecânico (τ_{bu} ou F_{tu}) de cada CP com o conceito atribuído, conclui-se que não tem ligação entre os dois critérios. Por exemplo, o CP T8-2, a pesar de ter um conceito “insuficiente”, teve o melhor desempenho mecânico da amostra AT2.

Figura 63 - Conceitos adotados para avaliação da colocação da armadura no molde: excelente (a), regular (b) e insuficiente (c).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.3 COMPRIMENTOS L_B E T_B REAIS

Como já foi mencionado no capítulo anterior, os comprimentos reais de l_b (item 3.7) e t_b (item 3.6.2) foram determinados com um paquímetro manual. Após avaliação do desempenho mecânico (τ_{bu} ou F_{tu}) de cada CP, as diferenças de comprimentos reais observadas nas amostras não interferiram nos resultados: não são necessariamente os CPs com maior valor de l_b ou t_b que tiveram o melhor desempenho mecânico.

4.4 INFLUÊNCIA DE Γ_{28} E DO TIPO DE CP SOBRE O MODO DE RUPTURA

4.4.1 Amostras AB1, AB2 e AB3

100 % dos CPs do tipo “Barra” tiveram uma ruptura por deslizamento da armadura (Figura 64).

Figura 64 - Ruptura dos CPs das amostras AB1 (a), AB2 (b) e AB3 (c).

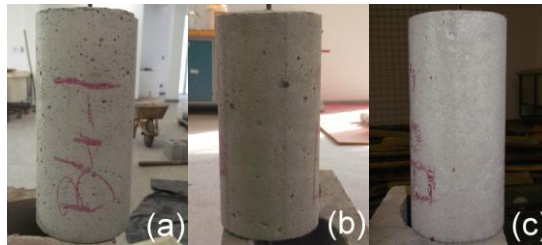


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Na amostra AB2, 3 CPs (33 % do total) tiveram o deslizamento provocado unicamente pela pré-carga (P) necessária para fixar o CP na prensa. A mesma observação foi feita para 100 % dos CPs da amostra AB3. Para esses casos, não foi

possível obter o diagrama $F_r-\Delta$. Para 100 % dos CPs das amostras AB1, AB2 e AB3, o arrancamento da armadura não provocou o aparecimento de fissuras nos cilindros de concreto (Figura 65).

Figura 65 - Não fissuração dos cilindros após ruptura dos CPs das amostras AB1 (a), AB2 (b) e AB3 (c).

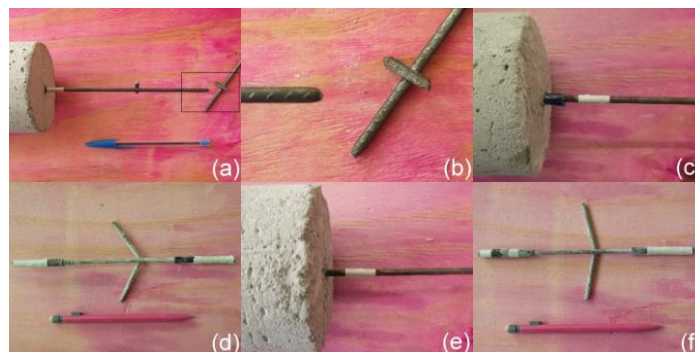


Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.4.2 Amostras AT1, AT2 e AT3

Na amostra AT1, 6 CPs (100 %) romperam ao nível da armadura, fora do cilindro de concreto (Figura 66-a-b). Na amostra AT2, 7 CPs (78 %) romperam por deslizamento da barra longitudinal com dobramento da barra transversal (Figura 66-c-d) e 2 CPs (22 %) romperam ao nível da solda ligando a barra longitudinal com a barra transversal (Figura 260 do Apêndice AN e Figura 264-c do Apêndice AO). Na amostra AT3, 6 CPs (100 %) romperam por deslizamento da barra longitudinal com dobramento da barra transversal (Figura 66-e-f).

Figura 66 - Modo de ruptura: AT1 (a e b), AT2 (c e d) e AT3 (e e f).



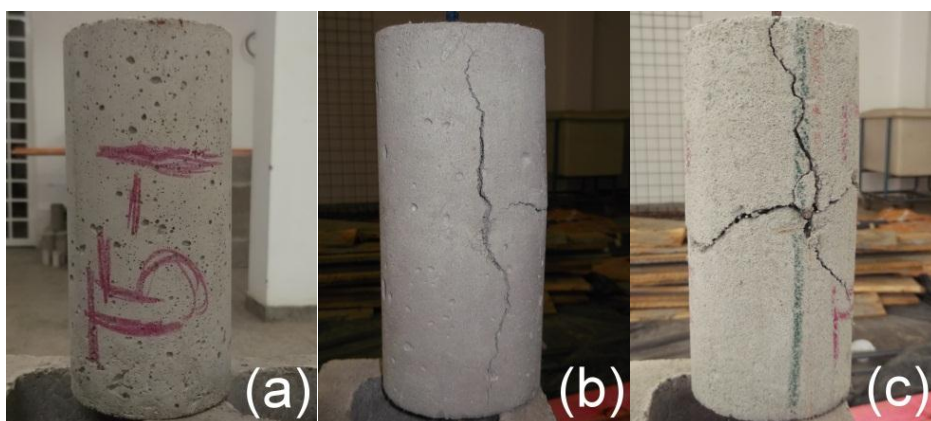
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Os CPs da amostra AT2 tiveram um dobramento da barra transversal (Figura 66-d) mais pronunciado que o dos CPs da amostra AT3 (Figura 66-f). Essas observações

revelam a diminuição da resistência ao arrancamento da armadura transversal do concreto junto com a diminuição de γ_0 .

Para 100 % dos CPs da amostra AT1, não houve fissuração dos cilindros (Figura 67-a), pois a ruptura aconteceu fora do cilindro, ao nível da armadura (Figura 66-a-b). Para 7 CPs (78 %) da amostra AT2, o cilindro fissurou longitudinalmente e transversalmente, consequência do dobramento da barra transversal e do deslizamento da barra longitudinal ao longo do ensaio (Figura 67-b). Os dois CPs da amostra AT2 que romperam ao nível da solda (CPs T7-2 e T8-2) não sofreram nenhuma fissuração (ver a Figura 258 do Apêndice AN e Figura 263 do Apêndice AO). Para 100 % dos CPs da amostra AT3, a fissuração dos cilindros foi mais importante, chegando a provocar a abertura do CP em dois casos (CPs T4-3 e T9-3).

Figura 67 - Não fissuração dos cilindros da amostra AT1 (a), fissuração e esmagamento dos cilindros das amostras AT2 (b) e AT3 (c).



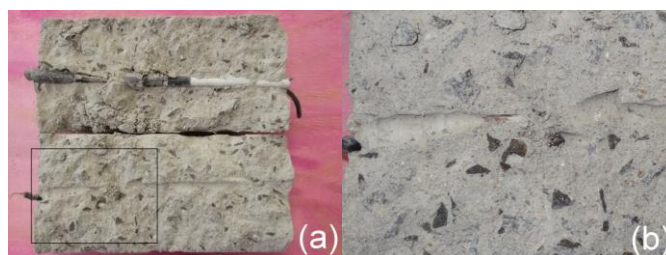
Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.5 INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DOS EXTENSÔMETROS SOBRE OS RESULTADOS

4.5.1 Amostras AB1-E e AB3-E

A colocação dos extensômetros nas amostras AB1-E e AB3-E interferiu na zona de aderência (Figura 68) impossibilitando a medição de l_b e o cálculo preciso de τ_{bu} .

Figura 68 - Interferência na zona de aderência provocada pela colocação dos extensômetros (exemplo do CP B1-1).



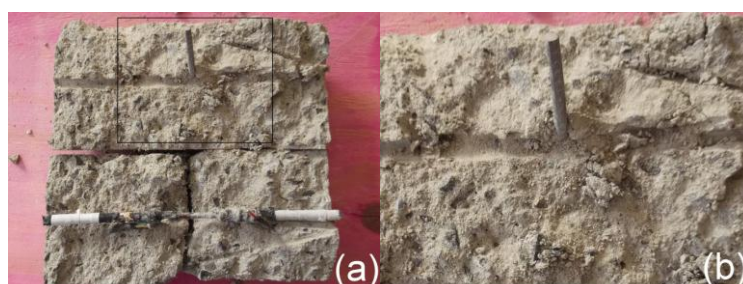
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Para os CPs da amostra AB1-E, a presença dos extensômetros provocou uma forte diminuição de F_{tu} em comparação à amostra AB1 (média de 0,972 kN para AB1-E e de 6,495 kN para AB1). Para os 3 CPs (100 %) da amostra AB3-E, a pré-carga (P) foi suficiente para provocar o deslizamento da armadura (situação idêntica à amostra AB3). Também, como para as amostras AB1, AB2 e AB3, os cilindros das amostras AB1-E e AB3-E não sofreram nenhuma fissuração. Portanto, para os CPs do tipo “Barra”, a colocação dos extensômetros não modificou o modo de ruptura, mas prejudicou o desempenho mecânico (diminuição de F_{tu}). Como não foi possível determinar com precisão os valores de l_b nesses casos, os resultados quantitativos da amostra AB1-E e AB3-E (τ_{bum}) não são considerados na pesquisa.

4.5.2 Amostra AT1-E

Para os 3 CPs (100 %) da amostra AT1-E, a ruptura ocorreu ao nível da solda entre a barra longitudinal e a barra transversal (Figura 69), e não fora do cilindro como no caso dos CPs da amostra AT1 (Figura 66-a-b). Notou-se também que os cilindros não sofreram nenhuma fissuração (situação idêntica aos CPs da amostra AT1, ver a Figura 67-a).

Figura 69 - Modo de ruptura dos CPs da amostra AT1-E (exemplo do CP T3-1).



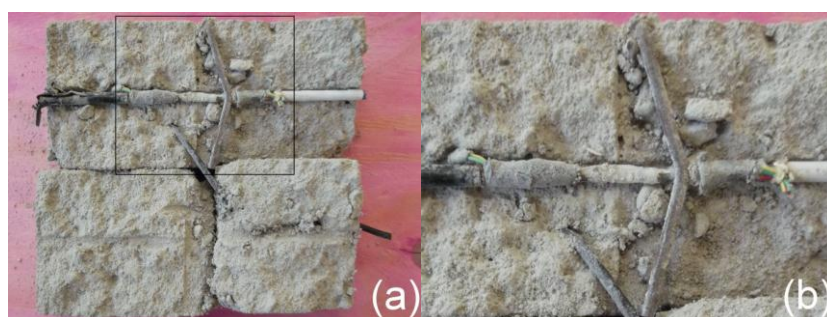
Fonte: dados do próprio autor (2014).

A proteção dos extensômetros provocou uma forte redução do comprimento de ancoragem longitudinal (l_b), como no caso dos CPs do tipo “Barra”. Entretanto, neste caso, o valor de F_{tu} de cada CP ficou próximo ao dos CPs da amostra AT1 (média de 9,781 kN para AT1-E e 10,141 kN para AT1). Isso, comparando com os resultados da amostra AB1, mostra que a maior contribuição da aderência dos CPs do tipo “Tela” vem da barra transversal (t_b) e não da barra longitudinal (l_b). Assim, mesmo que o comprimento de ancoragem longitudinal (l_b) seja reduzido pela colocação dos extensômetros, os resultados quantitativos obtidos com a amostra AT1-E foram considerados nesta pesquisa.

4.5.3 Amostra AT3-E

Para os 3 CPs (100 %) da amostra AT3-E, a ruptura ocorreu por deslizamento da barra longitudinal com dobramento da barra transversal (Figura 70), ou seja, o modo de ruptura foi idêntico ao da amostra AT3 (Figura 66-e-f). Também, como no caso da amostra AT3, os cilindros da amostra AT3-E fissuraram longitudinalmente e transversalmente (Figura 67-c).

Figura 70 - Modo de ruptura dos CPs da amostra AT3-E (exemplo do CP T1-3).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

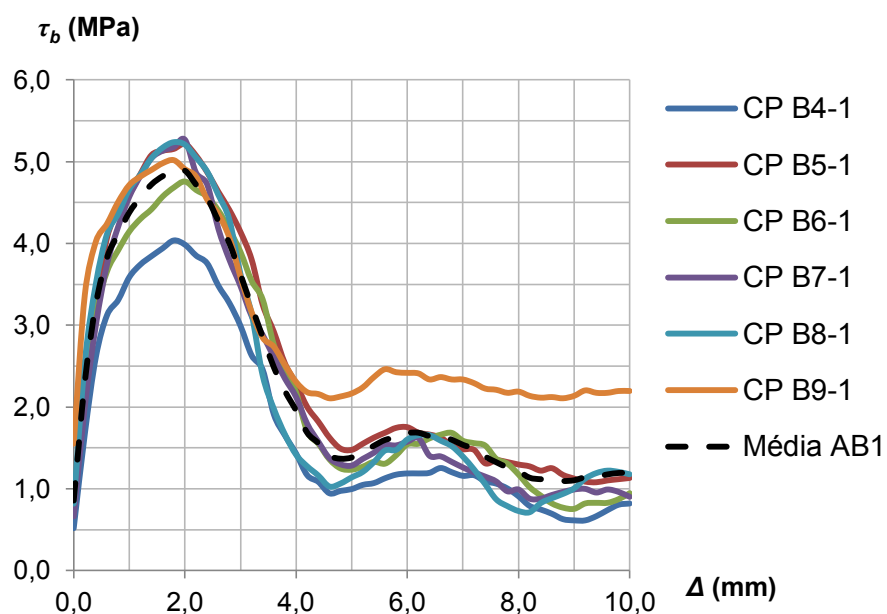
A mesma observação que para a amostra AT1-E pode ser feita a respeito da influência dos extensômetros nos resultados: apesar de ter um comprimento longitudinal bastante reduzido pela proteção dos extensômetros, o valor de F_{tu} de cada CP da amostra AT3-E ficou próximo ao dos CPs da amostra AT3 (média de 2,564 kN para AT3-E e 2,965 kN para AT3). Esta observação confirma novamente que, no caso dos CPs do tipo “Tela”, a maior contribuição da aderência vem da barra transversal (t_b) e não da barra longitudinal (l_b). Sendo assim, os resultados obtidos com a amostra AT3-E foram considerados nesta pesquisa.

4.6 INFLUÊNCIA DE γ_{28} SOBRE OS DIAGRAMAS $\tau_b-\Delta$ OU $F_T-\Delta$

4.6.1 Amostra AB1

Para 100 % dos CPs da amostra AB1 (Figura 71), os diagramas $\tau_b-\Delta$ obtidos são característicos da ruptura por deslizamento da armadura dentro do cilindro: observe-se um suave decréscimo da curva após τ_{bu} ser atingido. Este modo de ruptura é coerente com as observações visuais realizadas após os ensaios (ver o item 4.4.1). A tensão última de aderência média (τ_{bum}) da amostra AB1 vale 4,923 MPa ($DP = 0,475$ MPa e $CP = 9,65$ %). O Apêndice BJ contém o detalhamento dos resultados quantitativos. Não foi possível propor uma justificação para explicar o afastamento da curva do CP B4-1 em relação ao resto da amostra (Figura 71).

Figura 71 - Diagramas $\tau_b-\Delta$ da amostra AB1.



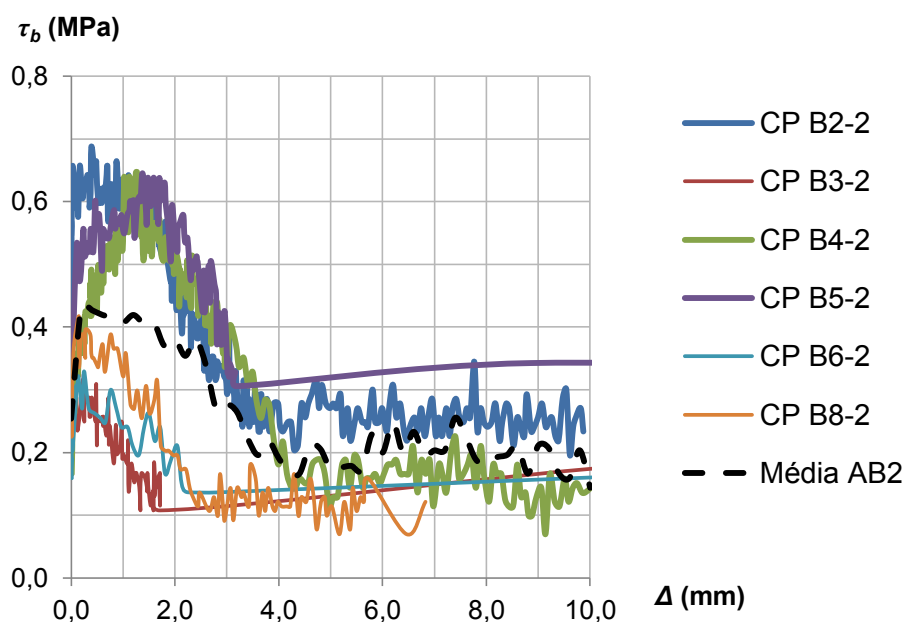
Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.6.2 Amostra AB2

Para os CPs da amostra AB2 (Figura 72), os diagramas $\tau_b-\Delta$ também são característicos da ruptura por deslizamento da armadura dentro do cilindro: observe-se um suave decréscimo da curva após τ_{bu} ser atingido. Este modo de ruptura é coerente com as observações visuais realizadas após os ensaios (item 4.4.1). A

tensão última de aderência média (τ_{bum}) da amostra AB2 vale 0,379 MPa ($DP = 0,240$ MPa e $CV = 63,42$ %). O Apêndice BM contém o detalhamento dos resultados quantitativos. A precisão do valor da pré-carga (P) lida diretamente na prensa antes de iniciar o ensaio vale em torno de 0,30 kN. Isso pode justificar a dispersão dos diagramas τ_b - Δ ao longo do eixo vertical da Figura 72. Também, dentro dos 3 CPs que romperam com a pré-carga (CPs B1-2, B7-2 e B9-2), dois romperam unicamente com o peso próprio da célula de carga (0,092 kN). Isso, junto com a imprecisão de P , explica a forte dispersão dos resultados da amostra AB2 ($CV = 63,42$ %).

Figura 72 - Diagramas τ_b - Δ da amostra AB2.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.6.3 Amostra AB3

Para os 6 CPs (100 %) da amostra AB3, o deslizamento da barra ocorreu após a aplicação da pré-carga (P), impossibilitando a obtenção dos diagramas τ_b - Δ . A tensão última de aderência média (τ_{bum}) da amostra vale 0,107 MPa ($DP = 0,091$ MPa e $CV = 85,07$ %). O Apêndice BP contém o detalhamento dos resultados quantitativos da amostra em questão. 5 CPs (83 %) romperam unicamente com o peso da célula de carga ($P = 0,092$ kN) e 1 CP só (17 %) da amostra rompeu com uma pré-carga de 0,387 kN (caso do CP B9-3). Este último caso é responsável da

forte dispersão dos resultados: descartando o resultado do CP B9-3, o desvio padrão amostral (DP) cairia para 1,01 %. Não foi encontrada uma justificação para explicar o resultado obtido com o CP B9-3.

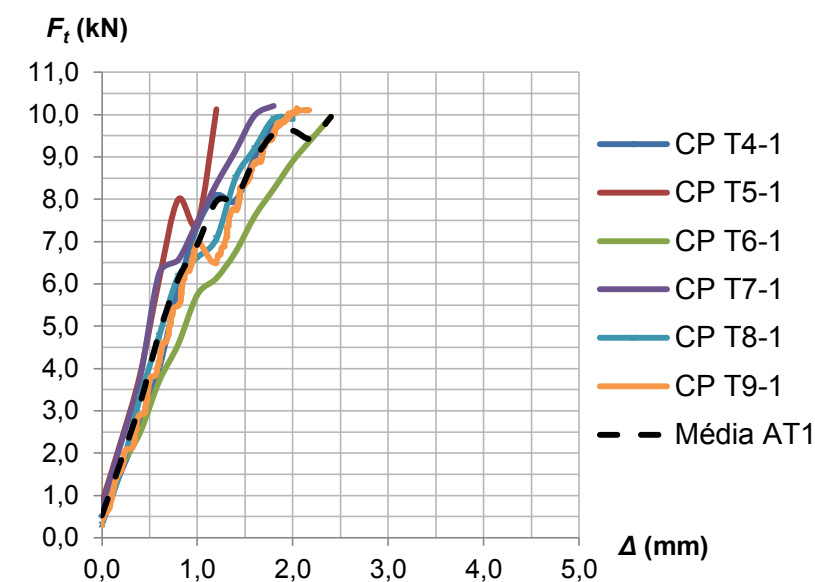
4.6.4 Amostras AB1-E e AB3-E

Conforme já foi explicado no item 4.5.1, não foi possível obter os diagramas τ_b - Δ : para todos os CPs, a proteção dos extensômetros reduziu o comprimento de ancoragem l_b , impossibilitando a medição precisa do mesmo e, portanto, o cálculo de τ_b .

4.6.5 Amostra AT1

Para os 6 CPs (100 %) da amostra AT1, os diagramas F_t - Δ apresentados nos Apêndices são característicos de uma ruptura do tipo frágil: nota-se um forte decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido. Esta observação é coerente com as observações visuais dos CPs feitas após os ensaios: para 100 % dos CPs, a barra de aço rompeu fora do cilindro, ou seja, a ruptura foi do tipo frágil. Para facilitar a visualização da curva média (Figura 73), o diagrama F_t - Δ de cada CP está representado unicamente até F_{tu} .

Figura 73 - Diagramas F_t - Δ da amostra AT1.

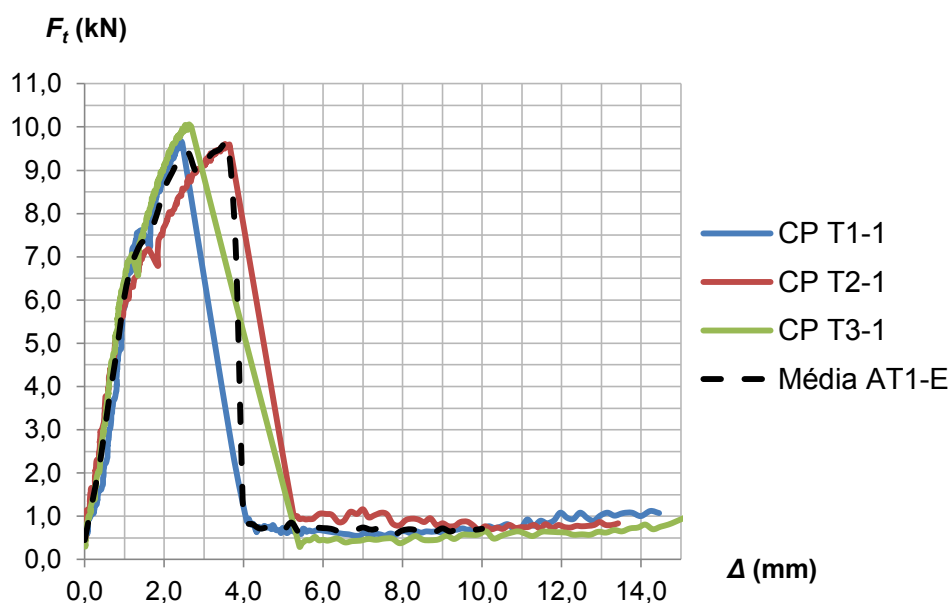


A força última de arrancamento média (F_{tum}) da amostra AT1 vale 10,141 kN ($DP = 0,225$ kN e $CV = 2,22$ %). O Apêndice BL contém o detalhamento dos resultados quantitativos da amostra em questão. Vale ressaltar a baixa dispersão dos resultados ($CV = 2,22$ %).

4.6.6 Amostra AT1-E

Para os 3 CPs (100 %) da amostra AT1-E, os diagramas $F_t\Delta$ obtidos são característicos de uma ruptura do tipo frágil: nota-se um forte decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido (Figura 74). Esta observação é coerente com as observações visuais dos CPs feitas após os ensaios: para 100% dos CPs, a ruptura ocorreu ao nível da solda entre a barra longitudinal e a barra transversal (ver o item 4.5.2).

Figura 74 - Diagramas $F_t\Delta$ da amostra AT1-E.

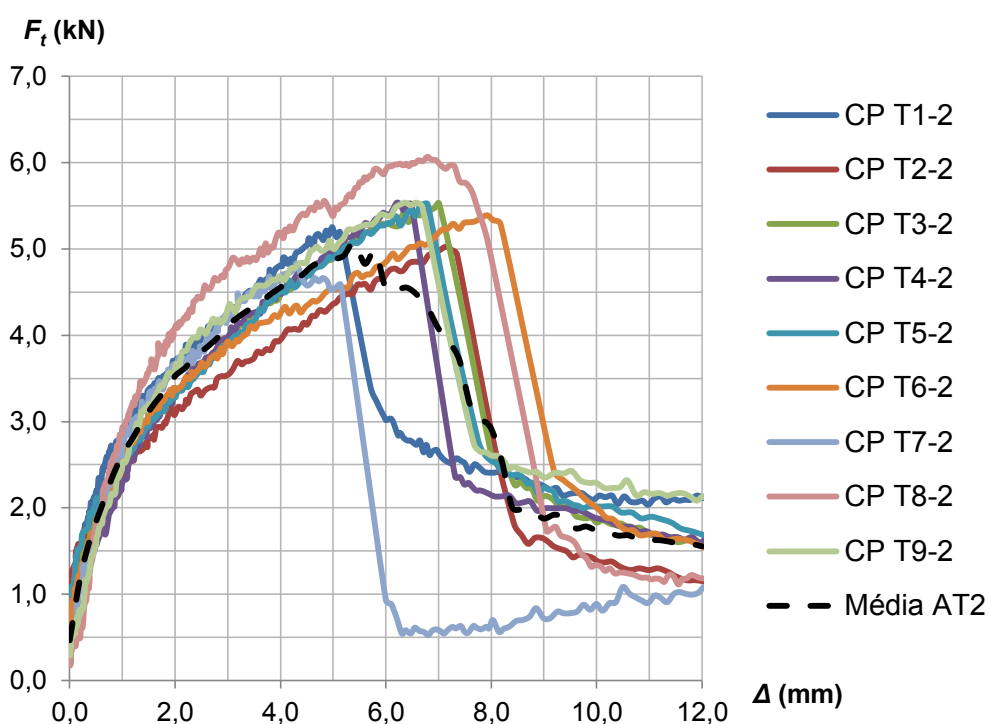


Fonte: dados do próprio autor (2014).

A força última de arrancamento média (F_{tum}) da amostra AT1-E vale 9,781 kN ($DP = 0,243$ kN e $CV = 2,48$ %), ou seja, 3,55 % a menos que o valor de F_{tum} da amostra AT1 (10,141 kN). Isso, junto com os modos de ruptura observados (itens 4.4.2 e 4.5.2), demonstra que a resistência ao arrancamento da solda é próxima à resistência à tração do aço e que, no caso da amostra AT1-E, a presença dos extensômetros interferiu pouco nos resultados. O Apêndice BK contém o detalhamento dos resultados quantitativos da amostra em questão.

4.6.7 Amostra AT2

Para os 6 CPs (100 %) da amostra AT2, os diagramas $F_t\Delta$ obtidos são característicos de uma ruptura do tipo frágil: nota-se um forte decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido (Figura 75). Esta observação é coerente com as observações visuais dos CPs feitas após os ensaios: 7 CPs (78 %) romperam por esmagamento do concreto devido ao deslocamento das barras longitudinal e transversal dentro do cilindro (ruptura do tipo frágil, ver a Figura 67-b) e 2 CPs (22 %) romperam ao nível da solda (ruptura do tipo frágil igualmente, ver a Figura 260 do Apêndice AN e a Figura 264-c do Apêndice AO). Entretanto, nota-se que o valor de F_{tu} dos 2 CPs que romperam ao nível da solda (4,830 kN para o CP T7-2 e 6,067 kN para o CP T8-2) é menor que o valor de F_{tum} da amostra AT1-E (9,781 kN), na qual também os CPs romperam ao nível da solda. Para o caso dos CPs T7-2 e T8-2, é possível que a solda esteve de menor qualidade, ou que o dobramento da barra transversal facilitou o arrancamento da solda. A força última de arrancamento média (F_{tum}) da amostra AT2 vale 5,409 kN ($DP = 0,353$ kN, $CV = 6,53$ %). O Apêndice BN contém o detalhamento dos resultados quantitativos da amostra em questão.

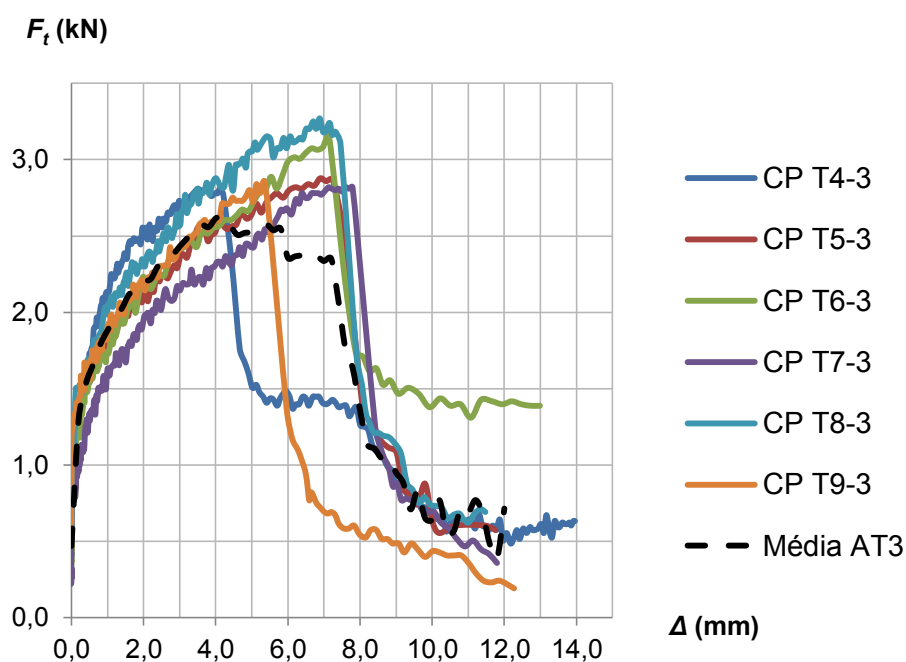
Figura 75 - Diagramas $F_t\Delta$ da amostra AT2.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.6.8 Amostra AT3

Para os 6 CPs (100 %) da amostra AT3, os diagramas $F_t\Delta$ obtidos são característicos de uma ruptura de tipo frágil: note-se um forte decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido (Figura 76). Esta observação é coerente com as observações visuais dos CPs feitas após os ensaios: 100 % dos CPs romperam por esmagamento do concreto devido ao deslocamento das barras longitudinal e transversal dentro do cilindro (ruptura do tipo frágil, ver o item 4.4.2).

Figura 76 - Diagramas $F_t\Delta$ da amostra AT3.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

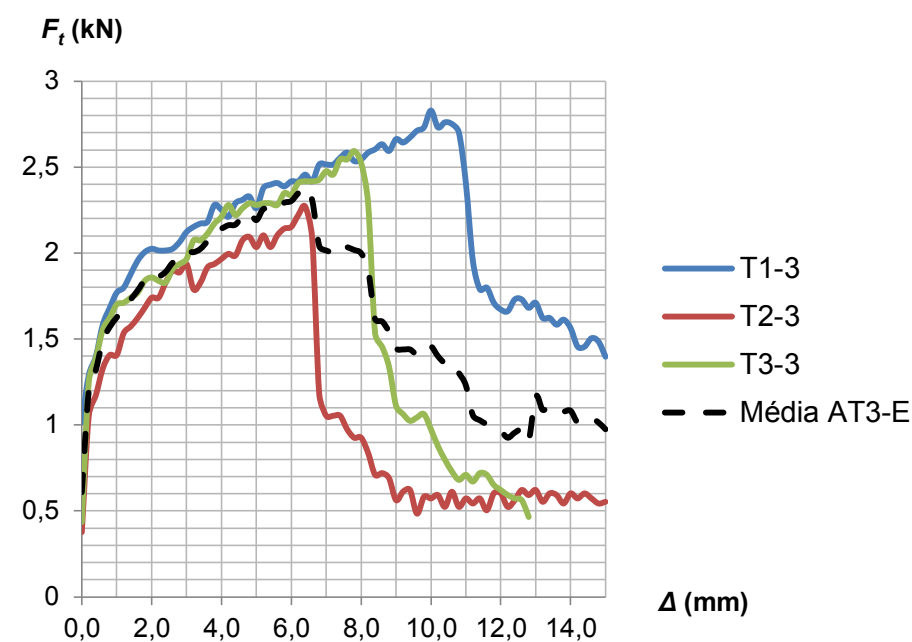
A força última de arrancamento média (F_{tum}) da amostra AT3 vale 2,965 kN ($DP = 0,197$ kN e $CV = 6,63$ %). O Apêndice BR contém o detalhamento dos resultados quantitativos da amostra em questão.

4.6.9 Amostra AT3-E

Para os 3 CPs (100 %) da amostra AT3-E, os diagramas $F_t\Delta$ obtidos são característicos de uma ruptura do tipo frágil: nota-se um forte decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido (Figura 77). Esta observação é coerente com as observações visuais

dos CPs feitas após os ensaios: para 100 % dos CPs, a ruptura ocorreu por esmagamento do concreto devido ao deslocamento das barras longitudinal e transversal dentro do cilindro (ruptura do tipo frágil, ver o item 4.5.3). A força última de arrancamento média (F_{tum}) da amostra AT3-E vale 2,564 kN ($DP = 0,281$ kN e $CV = 10,95$ %), ou seja 13,52 % a menos que o valor de F_{tum} da amostra AT3 (2,965 kN). Este resultado demonstra que, no caso da amostra AT3-E, a presença dos extensômetros teve uma leve influência nos resultados. Mesmo assim, os resultados obtidos são considerados nesta pesquisa. O Apêndice BQ contém o detalhamento dos resultados quantitativos da amostra em questão.

Figura 77 - Diagramas F_t - Δ da amostra AT3-E.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.7 DEFORMAÇÃO DAS ARMADURAS

4.7.1 Amostra AB1-E

Os 3 gráficos F_t - ϵ_s obtidos não permitem fazer observações sobre a deformação das barras ao longo dos ensaios (ver os Apêndices G, H e I). Para os CPs B2-1 e B3-1, a perda da ligação entre o extensômetro inferior e o cabo de alimentação pode ter ocorrido durante o manuseio das armaduras ou durante a moldagem dos CPs.

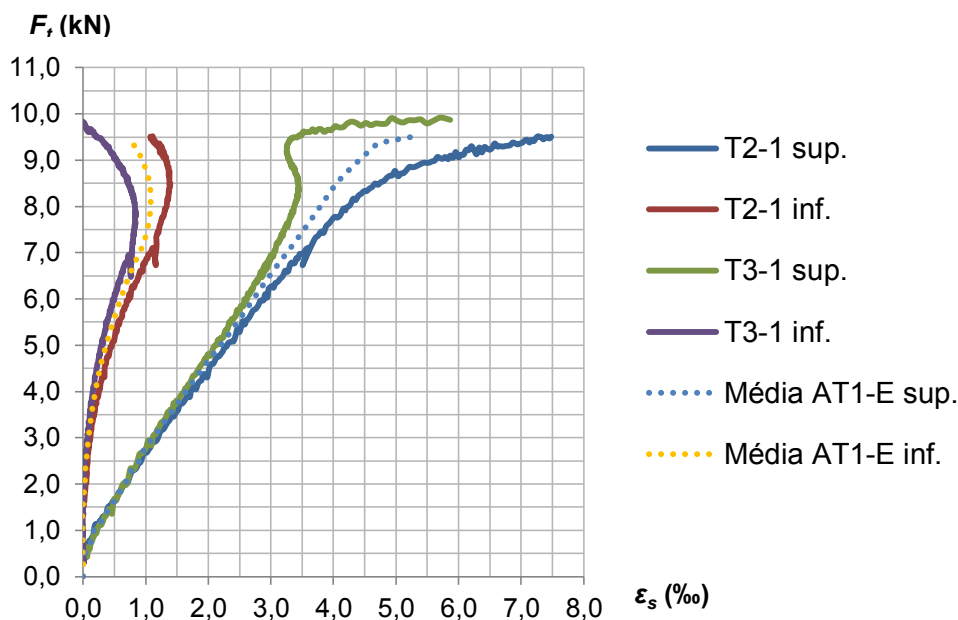
4.7.2 Amostra AB3-E

Para os 3 CPs (100 %) da amostra AB3-E, o deslizamento das barras foi iniciado apenas com a aplicação da pré-carga (P), impossibilitando a construção dos diagramas $\tau_b-\Delta$ e $\tau_b-\varepsilon_s$.

4.7.3 Amostra AT1-E

Infelizmente, não foi possível obter o diagrama $F_r-\varepsilon_s$ do CP T1-1. A perda da ligação entre os extensômetros e os cabos de alimentação pode ter ocorrido durante o manuseio das barras ou durante a moldagem do CP. A Figura 78 a seguir apresenta os diagramas $F_r-\varepsilon_s$ dos CPs T2-1 e T3-1, assim como os diagramas médios da deformação dos extensômetros superiores e inferiores.

Figura 78 - Diagramas $F_r-\varepsilon_s$ da amostra AT1-E.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

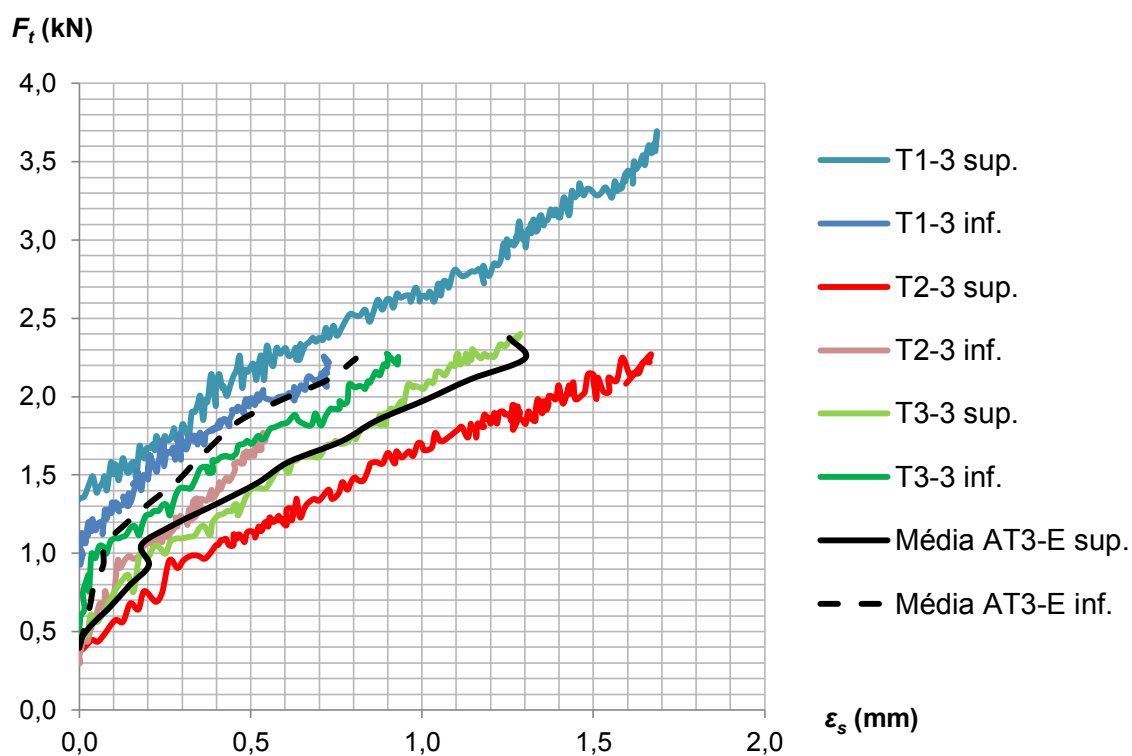
Para os dois CPs, notou-se que, ao longo do ensaio, o extensômetro superior deforma mais que o extensômetro inferior. Olhando as curvas médias, a diferença de deformação entre o extensômetro superior e o extensômetro inferior cresce ao longo do ensaio, para chegar até mais de 5 ‰. A diferença de deformação entre os dois extensômetros é provocada principalmente pela presença da armadura

transversal (t_b), que impede o deslocamento da parte da barra longitudinal que fica em baixo da solda (ver, por exemplo, a Figura 35 do item 3.5).

4.7.4 Amostra AT3-E

A Figura 79 a seguir apresenta os diagramas F_t - ε_s dos 3 CPs da amostra AT3-E, assim como as curvas médias da deformação dos extensômetros superiores e inferiores. Nota-se que para 100 % dos CPs, a deformação do extensômetro superior é maior que a deformação do extensômetro inferior. Observando as curvas médias, a diferença de deformação cresce ao longo do ensaio para chegar aproximadamente até 0,5 %. Também, nota-se que para os 3 CPs da amostra, a medida da deformação do extensômetro inferior interrompe-se com forças (F_t) menores que as forças máximas suportadas pelos extensômetros superiores. Assim, provavelmente, ao longo dos ensaios, os extensômetros inferiores foram descolados antes dos extensômetros superiores. Isso pode ser justificado pelo tipo de cola adotado na pesquisa (ver as explicações do item 3.8).

Figura 79 - Diagramas F_t - ε_s da amostra AT3-E.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.8 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A Tabela 13 a seguir resume os principais resultados do trabalho apresentados ao longo deste capítulo. A superposição dos diagramas médios permite comparar os resultados obtidos para cada amostra (Figura 80).

Para os CPs do tipo “Barra”, a redução de γ_{28} provoca uma forte diminuição de F_{tum} : observa-se uma diminuição de 5,994 kN (92,29 %) entre as amostras AB1 e AB2, e de 6,354 kN (97,83 %) entre as amostras AB1 e AB3 (diagrama médio da amostra AB3 não representado na Figura 80). Em termos de tensão última de aderência média (τ_{bum}), as mesmas observações podem ser feitas: diminuição de 4,544 MPa (ou 92,30 %) entre Tr1 e Tr2, e diminuição de 4,816 MPa (ou 97,83 %) entre Tr1 e Tr3.

Já, a diminuição de F_{tum} junto com γ_{28} é menos importante para os CPs dotados da barra transversal: observa-se uma diminuição de 4,732 kN (46,67 %) entre as amostras AT1 e AT2, e de 7,176 kN (70,76 %) entre as amostras AT1 e AT3.

O aumento da resistência ao arrancamento (F_{tum}) provocado pela introdução da barra transversal no meio do cilindro de concreto aumenta junto com a diminuição de γ_{28} : observa-se um aumento de 3,646 kN (56,14 %) entre as amostras AB1 e AT1, um aumento de 4,908 kN (979,64 %) entre as amostras AB2 e AT2, e um aumento de 2,824 kN (2002,84 %) entre as amostras AB3 e AT3 (diagrama médio da amostra AB3 não representado na Figura 80).

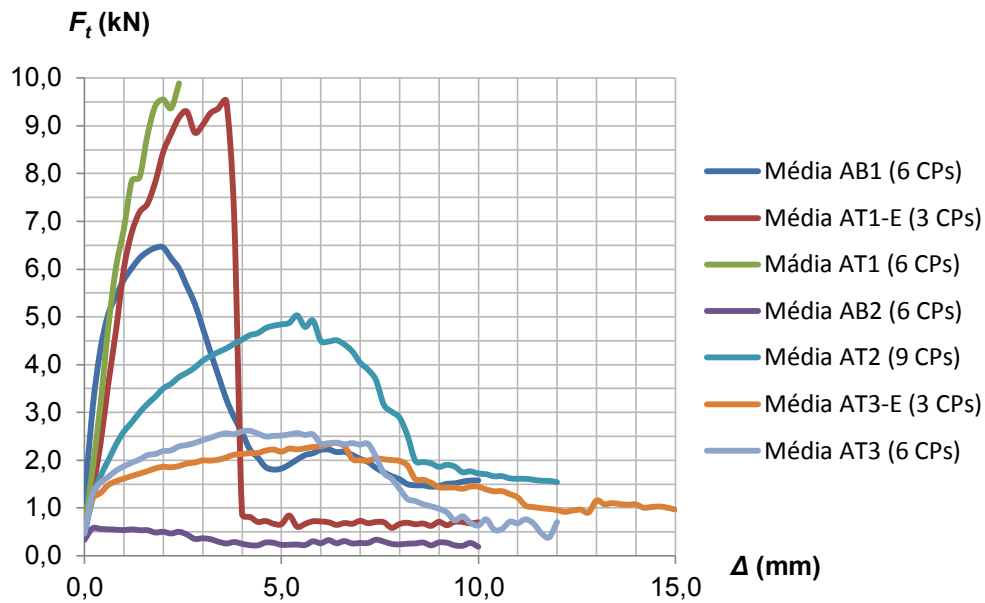
As comparações do diagrama da amostra AT1 com o da amostra AT1-E, e do diagrama da amostra AT2 com o da amostra AT2-E demonstram que para os CPs do tipo “Tela”, a presença dos extensômetros no local da ancoragem longitudinal não influenciou muito os resultados: observa-se uma redução de 0,360 kN (3,55 %) entre as amostras AT1 e AT1-E, e de 0,401 kN (13,52 %) entre as amostras AT3 e AT3-E.

Tabela 13 - Síntese dos resultados da pesquisa.

Amostra	γ_{28} (kg/m ³)	f_{cm} (MPa)	τ_{bum} (MPa) ou F_{tum} (kN)	DP (MPa ou kN)	CV (%)	Modo de ruptura e observações
AB1-E	2255	24,931	sem	sem	sem	Amostra de 3 CPs. Ruptura por deslizamento da armadura. Interferência dos extensômetros na área de aderência, impossibilitando o cálculo preciso de τ_b . Resultados da amostra no Apêndice BI.
AB1			$\tau_{bum} = 4,923$ MPa	0,475 MPa	9,65	Amostra de 6 CPs. Ruptura por deslizamento da armadura. Resultados da amostra no Apêndice BJ.
AT1-E			$F_{tum} =$ 9,781 kN	0,243 kN	2,48	Amostra de 3 CPs. Ruptura por quebra da solda entre barra longitudinal e transversal, seguida do deslizamento da barra longitudinal. Resultados da amostra no Apêndice BK.
AT1			$F_{tum} =$ 10,141 kN	0,225 kN	2,22	Amostra de 6 CPs. Ruptura da armadura fora do cilindro de concreto. Resultados da amostra no Apêndice BL.
AB2	1565	2,563	$\tau_{bum} = 0,379$ MPa	0,240 MPa	63,42	Amostra de 9 CPs. Ruptura por deslizamento da armadura. Resultados da amostra no Apêndice BM.
AT2			$F_{tum} =$ 5,409 kN	0,353 kN	6,53	Amostra de 9 CPs. Ruptura por esmagamento do cilindro de concreto, com dobramento da barra transversal. 2 CPs com ruptura da solda entre barras transversal e longitudinal, sem esmagamento do concreto. Resultados da amostra no Apêndice BN.
AB3-E	1510	1,541	sem	sem	sem	Amostra de 3 CPs. Pré-carga suficiente para provocar o deslizamento da armadura. Interferência dos extensômetros na área de aderência, impossibilitando o cálculo preciso de τ_b . Resultados da amostra no Apêndice BO.
AB3			$\tau_{bum} = 0,107$ MPa	0,091 MPa	85,07	Amostra de 6 CPs. Pré-carga suficiente para provocar o deslizamento da armadura. Resultados da amostra no Apêndice BP.
AT3-E			$F_{tum} =$ 2,564 kN	0,281 kN	10,95	Amostra de 3 CPs. Ruptura por esmagamento do cilindro de concreto, com dobramento da barra transversal. Resultados da amostra no Apêndice BQ.
AT3			$F_{tum} =$ 2,965 kN	0,197 kN	6,63	Amostra de 6 CPs. Ruptura por esmagamento do cilindro de concreto, com dobramento da barra transversal. Resultados da amostra no Apêndice BR.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

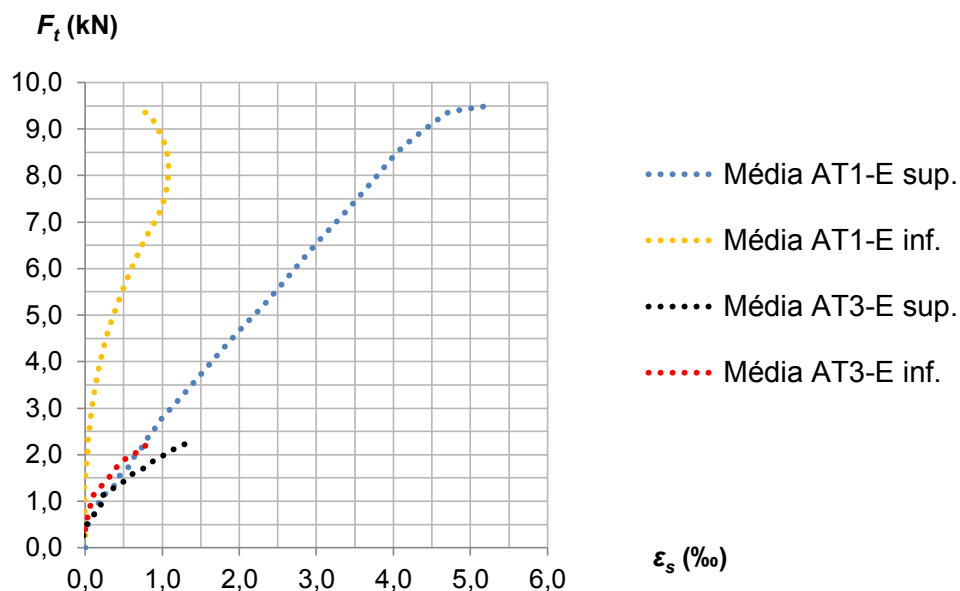
Figura 80 - Diagrama F_t - Δ médio obtido para cada amostra.



Fonte: Dados do próprio autor (2014).

A Figura 81 permite comparar a deformação das barras das amostras AT1-E e AT3-E. Nota-se que a diferença de deformação máxima entre os extensômetros superior e inferior diminui junto com γ_{28} (mais de 5 ‰ para AT1 e em volta de 0,5 ‰ para AT3). Também, nota-se que para o mesmo nível de solicitação (F_{tum}), os extensômetros da amostra AT3 se deformam mais que os da amostra AT1, o que confirma a diminuição da rigidez do concreto junto com γ_{28} .

Figura 81 - Diagramas F_t - ϵ_s das amostras AT1-E e AT3-E.



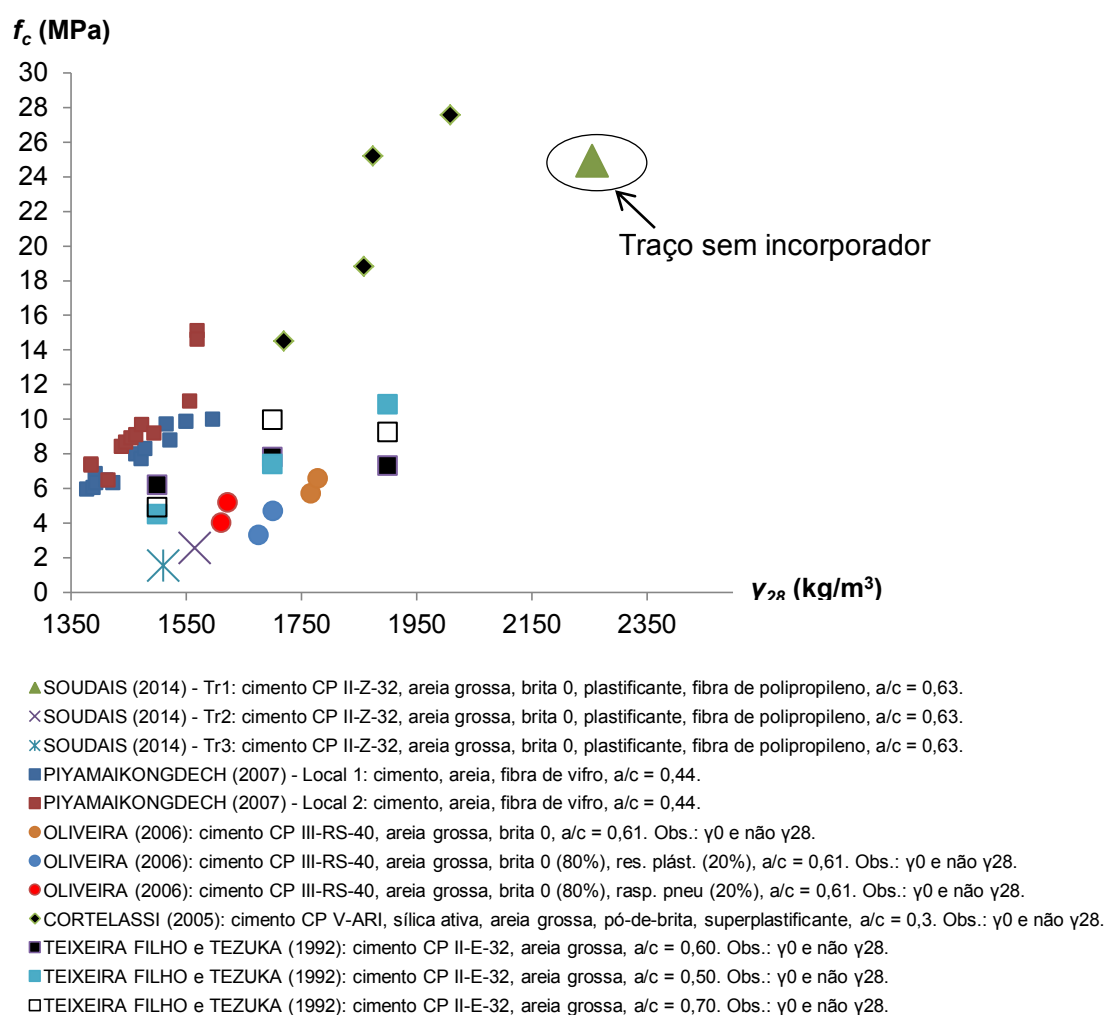
Fonte: dados do próprio autor (2014).

4.9 CONFRONTAÇÃO DOS RESULTADOS COM TRABALHOS SEMELHANTES

4.9.1 Evolução de f_c em função de γ_{28}

Para uma melhor apreciação dos resultados da pesquisa, este item os compara com os disponíveis na literatura (apresentados no capítulo 2). A Figura 82 apresenta a evolução da resistência à compressão (f_c) em função da massa específica aos 28 dias (γ_{28}), para os diferentes trabalhos de referência.

Figura 82 - Evolução de f_c em função de γ_{28} (síntese).



Fonte: adaptado das fontes citadas na própria Figura.

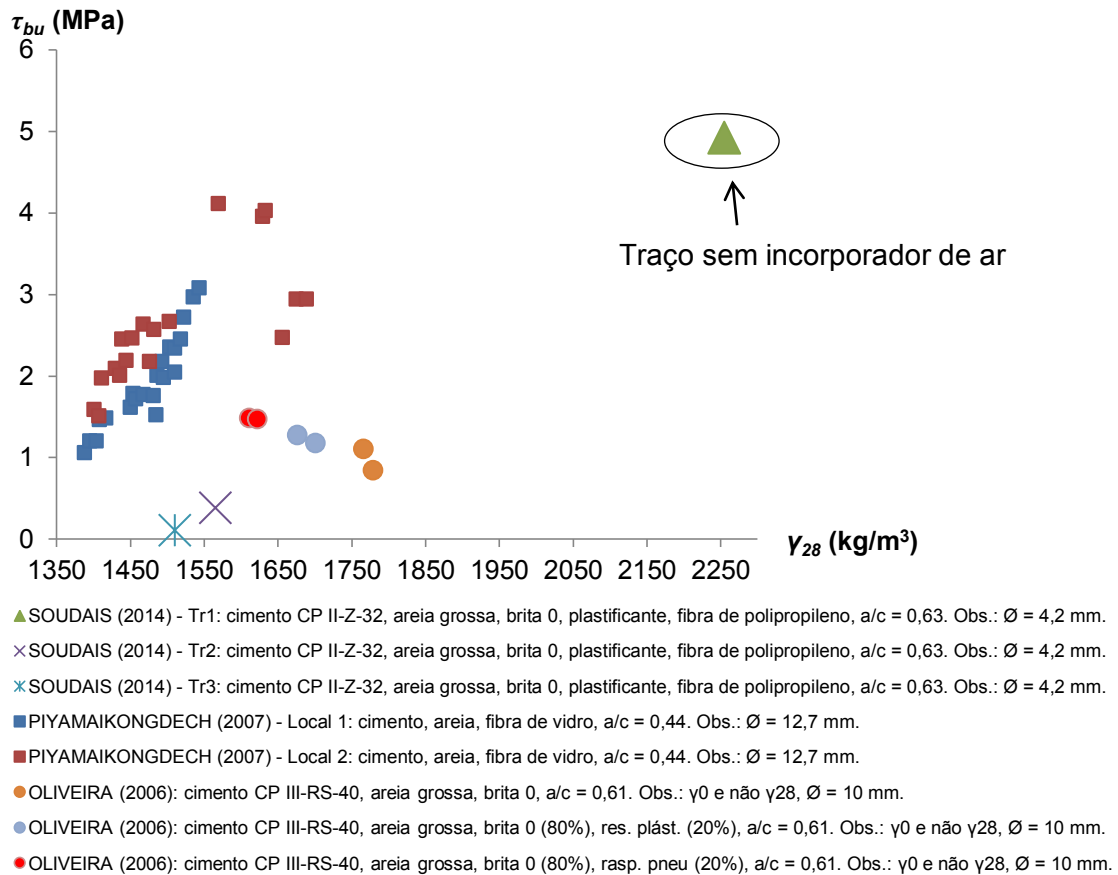
Teixeira Filho e Tezuka (1992) observaram que, para $\gamma_{28} < 1700 \text{ kg/m}^3$, o aumento da relação a/c pode ser favorável ao aumento de f_c . Já, para $\gamma_{28} > 1700 \text{ kg/m}^3$, o

contrário acontece, ou seja, a redução de a/c favorece a resistência à compressão (situação comum à dos concretos convencionais). Segundo Teixeira Filho e Tezuka (1992, p. 20-21), é o aumento da relação ar/cimento (em volume) que interfere nos resultados quando $\gamma_{28} < 1700 \text{ kg/m}^3$. Entretanto, desconsiderando os resultados de Teixeira Filho (1992), nota-se que, sistematicamente, para $1350 < \gamma_{28} < 2150 \text{ kg/m}^3$, f_c cresce junto com a diminuição de a/c. Assim, a tendência geral de f_c é de aumentar quando a relação a/c é rebaixada, mesmo para concretos de baixas massas específicas (com $\gamma_{28} < 1700 \text{ kg/m}^3$). Portanto, as observações feitas por Teixeira Filho e Tezuka (1992) não foram verificadas após confrontação com outros trabalhos.

4.9.2 Evolução de τ_{bu} em função de γ_{28}

A Figura 83 apresenta a evolução da tensão última de aderência (τ_{bu}) em função da massa específica aos 28 dias (γ_{28}), para os diferentes trabalhos de referência.

Figura 83 - Evolução de τ_{bu} em função de γ_{28} (síntese).



Fonte: adaptado das fontes citadas na própria Figura.

Como para a resistência à compressão, a Figura 83 permite observar que, sistematicamente, para $1350 < \gamma_{28} < 1850 \text{ kg/m}^3$, o valor da tensão última de aderência (τ_{bu}) cresce junto com a diminuição da relação a/c. Assim, para os concretos celulares com $1350 < \gamma_{28} < 1850 \text{ kg/m}^3$, a diminuição da relação a/c parece ser um fator determinante para melhorar a tensão última de aderência.

A Tabela 14 permite afinar a comparação dos resultados apresentados na Figura 82 e na Figura 83.

Tabela 14 - Comparação dos resultados da pesquisa com PIYAMAIKONGDECH (2007) e OLIVEIRA (2006).

Traço	γ (kg/m ³)	f_{cm} (MPa)	τ_{bum} (MPa)	τ_{bum}/f_{cm}	$\phi_{arm.}/\phi_{CP}$
SOUDAIS (2014) – Tr1	$\gamma_{28} = 2255$	24,931	4,923	19,7 %	4,2 %
SOUDAIS (2014) – Tr2	$\gamma_{28} = 1565$	2,563	0,379	14,8 %	4,2 %
SOUDAIS (2014) – Tr3	$\gamma_{28} = 1510$	1,541	0,107	6,9 %	4,2 %
PIYAMAIKONGDECH (2007) – Local 1	$\gamma_{28} = 1472^*$	8.165*	1,935*	23,7 %	8,3 %
PIYAMAIKONGDECH (2007) – Local 2	$\gamma_{28} = 1455^*$	8,798*	2,339*	26,6 %	8,3 %
OLIVEIRA (2006) – Brita 0 (100 %)	$\gamma_0 = 1772^*$	6,135*	0,970*	15,8 %	5,0 %
OLIVEIRA (2006) – Brita 0 (80 %) / res. plást. (20 %)	$\gamma_0 = 1689^*$	3,985*	1,220*	30,6 %	5,0 %
OLIVEIRA (2006) – Brita 0 (80 %) / rasp. pneu (20 %)	$\gamma_0 = 1617^*$	4,585*	1,475*	32,2 %	5,0 %

Obs.: valores de f_{cm} e τ_{bum} calculados a partir da Figura 82 e da Figura 83.

Fonte: interpretação dos dados fornecidos por Piyamaikongdech (2007) e Oliveira (2006).

Antes de analisar os resultados, é importante mencionar que:

- a quantidade de agente espumígeno contida no traço Tr3 e o dobro da quantidade contida no traço Tr2 (o traço Tr1 não contém agente espumígeno);
- a quantidade de agente espumígeno contida nos dois traços propostos por Piyamaikongdech (2007) é constante (PIYAMAIKONGDECH, 2007, p. 17);
- a quantidade de agente espumígeno contida nos três traços propostos por Oliveira (2006) é constante (OLIVEIRA, 2006, p. 95).

Observando os resultados da própria pesquisa (Tr1, Tr2 e Tr3), nota-se que, a redução de γ_{28} pela incorporação crescente do agente espumígeno nas misturas, provocou uma diminuição de f_{cm} , uma diminuição de τ_{bum} e uma diminuição da relação τ_{bum} / f_{cm} .

Por outro lado, observando os resultados de Oliveira (2006), a diminuição de γ_0 pela substituição parcial do agregado graúdo (brita 0) por “agregados” mais leves (resíduos plásticos ou raspa de pneu), junto com uma quantidade de agente espumígeno constante, provocou uma diminuição de f_{cm} , um aumento de τ_{bum} e um aumento da relação τ_{bum} / f_{cm} .

Assim, isso demonstra que rebaixar a massa específica dos concretos celulares (γ_0 ou γ_{28}) exclusivamente pela incorporação de agente espumígeno nos traços, acaba prejudicando o desempenho da aderência entre o concreto e as barras de aço (diminuição de τ_{bum} / f_{cm} , caso da própria pesquisa). Introduzir agregados leves nos traços para reduzir a quantidade de agente espumígeno necessária para alcançar a massa específica desejada (γ_{28}) parece ser uma boa alternativa para melhorar a aderência (aumentar τ_{bum} e τ_{bum} / f_{cm}).

Observando os resultados obtidos por Piyamaikongdech (2007) e comparando eles com os outros trabalhos da Tabela 14, nota-se que Piyamaikongdech (2007) apresenta os maiores valores de f_{cm} e altas relações τ_{bum} / f_{cm} (em torno de 25 %). Apesar de ter uma relação a/c (0,44) mais baixa que os outros trabalhos da Tabela 14 (o que aumenta o valor de τ_{bum} , conforme já foi mencionado anteriormente), a não utilização do agregado graúdo no traço pode ter contribuído, também, na melhoria da aderência.

Esta afirmação é justificada pela observação da Figura 82: todos os traços sem agregado graúdo tiveram um melhor desempenho mecânico (maior f_{cm} , e potencialmente um maior τ_{bum}) que os traços com agregados graúdos. Por exemplo, para $\gamma_{28} = 1700 \text{ kg/m}^3$, f_{cm} é maior para Teixeira Filho e Tezuka (1992) com a/c velendo 0,7 que para Oliveira (2006) com a/c valendo 0,61 (respectivamente, 9,95 MPa contra 4,67 MPa).

Desconsiderando o traço Tr1 (que não tem agente espumígeno) e os dois últimos traços de Oliveira (2006) que contêm parcialmente resíduos provenientes da indústria como agregado, nota-se que a relação τ_{bum} / f_{cm} aumenta junto com a relação entre o diâmetro da armadura $\varnothing_{arm.}$ e o diâmetro do CP cilíndrico ($\varnothing_{CP}$). Assim, para concretos celulares realizados com agregados convencionais (miúdo

exclusivamente ou conjunto miúdo com graúdo), o desempenho da aderência (τ_{bum} / f_{cm}) aumenta junto com a relação $\emptyset_{arm.} / \emptyset_{CP}$. A quantidade de concreto envolvendo a armadura devendo ser suficiente para garantir o não fendilhamento do concreto na hora do ensaio, existe um valor ótimo (máximo) para $\emptyset_{arm.} / \emptyset_{CP}$. Este valor ótimo poderá ser estudado em trabalhos futuros.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Relembrando o objetivo principal deste trabalho, que consistiu em estudar o fenômeno de aderência entre o concreto celular e as barras de aço para o uso estrutural do material composto obtido, o presente capítulo contém as conclusões da pesquisa assim como sugestões para trabalhos futuros.

5.1 RESUMO DA PESQUISA

Nesta pesquisa, três traços foram elaborados, correspondentes a três massas específicas aos 28 dias (γ_{28}) diferentes: 2255 kg/m³, 1565 kg/m³ e 1510 kg/m³. O traço tal que $\gamma_{28} = 2255$ kg/m³ (traço de referência), não contém agente espumígeno. Já, o traço tal que $\gamma_{28} = 1510$ kg/m³ contém o dobro da quantidade de agente espumígeno necessária para atingir $\gamma_{28} = 1565$ kg/m³.

Para avaliar a aderência entre o concreto celular e as barras de aço, dois tipos de ensaio de arrancamento foram realizados, sendo os dois uma adaptação do ensaio “pull-out” descrito pela RILEM (1978). O primeiro tipo (tipo “Barra”) consistiu em arrancar uma barra de aço longitudinal de diâmetro igual a 4,2 mm parcialmente imersa dentro de um cilindro de concreto, de diâmetro igual a 10 cm e de comprimento igual a 20 cm. Já, o segundo tipo (tipo “Tela”) consistiu em arrancar uma barra de diâmetro igual a 4,2 mm, dotada de uma barra transversal soldada de comprimento igual a 9,50 cm e imersa no centro do cilindro de concreto. Para cada tipo de ensaio, a força de arrancamento e o deslizamento da armadura dentro do cilindro foram medidos.

5.2 INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA SOBRE A TENSÃO ÚLTIMA DE ADERÊNCIA

Entre $\gamma_{28} = 2255$ kg/m³ e $\gamma_{28} = 1565$ kg/m³, a tensão última de aderência passou de 4,923 MPa para 0,379 MPa (diminuição de 92,30 %). Entre 2255 kg/m³ e 1510 kg/m³, a tensão última de aderência passou de 4,923 MPa para 0,107 MPa (diminuição de 97,30 %). Assim, esta pesquisa revelou a influência do agente espumígeno na forte diminuição da aderência entre as barras de aço de diâmetro

igual a 4,2 mm e os concretos celulares com $\gamma_{28} = 1565$ e 1510 kg/m^3 . Portanto, para aplicações estruturais, o estudo da aderência entre concretos celulares e as barras de aço é imprescindível.

5.3 INFLUÊNCIA DA BARRA TRANSVERSAL SOBRE A ADERÊNCIA

Entre $\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$ e $\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$, a força máxima necessária para arrancar a armadura dotada da barra transversal soldada (F_{tum}) passou de 10,141 kN para 5,409 kN (diminuição de 46,67 %). Entre $\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$ e $\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$, a força F_{tum} passou de 10,141 kN para 2,965 kN (diminuição de 70,76 %). Em comparação com as diminuições observadas para os ensaios do tipo “Barra”, (item 5.2), a presença da barra transversal soldada permitiu reduzir a diminuição da aderência provocada pelo rebaixamento de γ_{28} .

Comparando os dois tipos de ensaios, notou-se que o aumento da aderência (F_{tum}) devido à presença da barra transversal cresceu junto com o rebaixamento de γ_{28} . Para $\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$, F_{tum} passou de 6,495 kN (sem barra transversal) para 10,141 kN (com barra transversal), correspondente a um aumento de 56,14 %. Para $\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$, F_{tum} passou de 0,501 kN (sem barra transversal) para 5,409 kN (com barra transversal) correspondente a um aumento de 979,64 %. Para $\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$, F_{tum} passou de 0,141 kN (sem barra transversal) para 2,965 kN (com barra transversal) correspondente a um aumento de 2002,84 %.

O modo de ruptura diferente observado entre os CPs do tipo “Tela” feitos com concreto convencional (ruptura da armadura longitudinal fora do cilindro) e aqueles feitos com concreto celular (ruptura na zona de aderência dentro do cilindro) não permite concluir sobre as diferenças de ganho de aderência observadas em função do tipo de concreto (56,14 % para o concreto convencional, 979,64 % e 2002,84 % para o concreto celular). Entretanto, para os CPs do tipo “Tela” feitos com concreto celular, o ganho de aderência passou de 979,64 % (com $\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$) para 2002,84 % (com $\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$) e o mesmo modo de ruptura foi observado para as duas amostras. Assim, neste caso, pode-se concluir que, o ganho de aderência proporcionado pela barra transversal aumenta quando γ_{28} é rebaixado.

Portanto, essa pesquisa revelou que ancoragens especiais (não exclusivamente retas) como, por exemplo, barras transversais, têm um desempenho mecânico acrescido à medida que a massa específica do concreto é rebaixada (à medida que a taxa de incorporado de ar no traço aumenta). Esta observação encoraja a utilização de ancoragens especiais nas peças estruturais feitas com concreto celular.

5.4 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

A comparação dos resultados da pesquisa com os trabalhos desenvolvidos por Cortelassi (2005), Piyamaikongdech (2007) e Oliveira (2006) revelou que a relação água/cimento influencia o valor da resistência a compressão simples (f_c) dos concretos celulares: f_c aumenta quando a/c é rebaixado. Assim, como neste trabalho a relação a/c adotada foi alta em comparação com os outros trabalhos encontrados na literatura (a/c = 0,63), as baixas resistências observadas para os traços tal que e $\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$ (2,523 MPa) e $\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$ (1,541 MPa) são justificadas.

Também, foi observado o mesmo fenômeno para a tensão última de aderência: ela cresce junto com o rebaixamento da relação a/c, o que justifica os valores baixos encontrados neste trabalho: 0,379 MPa para $\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$ e 0,107 MPa para $\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$.

5.5 QUANTIDADE DE AGENTE ESPUMÍGENO NO TRAÇO

Após análise dos resultados da pesquisa, constatou-se que, além de reduzir a tensão última de aderência (τ_{bu}), o aumento da quantidade de agente espumígeno nos traços reduz a relação τ_{bu} / f_c , provocando uma queda da eficiência mecânica em comparação à resistência à compressão do traço (f_c). Isso revela que, para os concretos celulares, a diminuição da tensão de aderência é mais sensível à incorporação do agente espumígeno que a diminuição da resistência à compressão.

5.6 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS

A análise dos resultados obtidos por Oliveira (2006), mostrou que a substituição do agregado graúdo (brita 0) por agregados mais leves provenientes da

indústria (resíduos plásticos ou raspa de pneu) no concreto celular (já com presença de agente espumígeno), permite, apesar de uma diminuição de f_c , um aumento de τ_{bu} e um aumento da relação τ_{bu} / f_c . Também, a comparação dos resultados obtidos por Oliveira (2006) com os apresentados nesta dissertação revelou que, para os concretos celulares, a não utilização do agregado graúdo no traço parece contribuir para o aumento da resistência à compressão do concreto celular, e, portanto, para o aumento da tensão de aderência.

5.7 DIMENSÃO DA ARMADURA

Comparando os resultados da pesquisa com os trabalhos desenvolvidos por Oliveira (2006) e Piyamaikongdech (2007), não ficou claro se o diâmetro da armadura (4,2 mm), relativamente pequeno em relação ao diâmetro do CP (100 mm), teve ou não uma influência significativa no valor da tensão última de aderência.

5.8 Modelos propostos na literatura

As equações propostas Oliveira (2006, p. 165) e Piyamaikongdech (2007, p. 54) que, respectivamente, relacionam a resistência à compressão com a tensão de aderência e a massa específica aos 28 dias com a tensão de aderência, não foram verificadas a partir dos resultados deste trabalho. Isso confirma que qualquer alteração de parâmetro (como, por exemplo, a relação a/c, a quantidade de agente espumígeno, o tipo de agregado ou o diâmetro da armadura) interfere nas correlações. Assim, os modelos propostos na literatura para determinação da tensão de aderência dos concretos celulares, têm aplicação restrita.

5.9 Propostas para trabalhos futuros

De acordo com as conclusões apresentadas nos itens anteriores deste capítulo, a seguir figura uma lista de propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros:

- estudar a influência da diminuição da relação a/c nos resultados (f_c , τ_{bu} , τ_{bu} / f_c). A diminuição da relação a/c, junto com a diminuição da quantidade de

agente espumígeno utilizada no traço deve melhorar o desempenho mecânico dos concretos realizados nesta pesquisa;

- estudar a influência da não utilização do agregado graúdo nos resultados (f_c , τ_{bu} , τ_{bu} / f_c). A não utilização do agregado graúdo deveria melhorar o desempenho mecânico do concreto celular utilizado nesta pesquisa;

- estudar a influência do aumento do diâmetro da armadura sobre a tensão última de aderência. Determinar o diâmetro (ou a relação $\emptyset_{arm.} / \emptyset_{CP}$) ótimo para obter a maior eficiência da aderência no concreto celular (maior relação τ_{bu} / f_c).

- conforme as observações do item 5.3, outros ensaios, proporcionando o mesmo modo de ruptura entre CPs do tipo “Tela” de concreto convencional e celular deverão ser feitos, para determinar se o desempenho mecânico da ancoragem especial (a barra transversal) é função do tipo de concreto (convencional ou celular) ou se é unicamente função do rebaixamento da massa específica do concreto (qualquer que seja o tipo de concreto).

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira: NEPAE, 2002. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/downloads.php>>. Acesso em: 16 jan. 2014. 30 p. Apostila.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739**: concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6502**: rochas e solos – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7222**: concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8522**: concreto – determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8953**: concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12644**: concreto celular espumoso – determinação da densidade de massa aparente no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 1992a. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12646**: paredes de concreto celular espumoso moldadas no local – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1992b. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45:** agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52:** agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67:** concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248:** agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

BARROS, M. M. B. de et al. **Desenvolvimento de um método construtivo para produção de vedações verticais de concreto celular - Projeto EPUSP/GETHAL 01:** Relatório de acompanhamento dos trabalhos nº 2. São Paulo: [s.n.], 1998. 84 p. Relatório técnico nº 20.094.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** segundo a NBR 6118: 2003. 3. ed. São Carlos: Ed. UFSCar, 2007. 368 p.

CHIOCCA, A. C. **Gethal ®:** sistemas construtivos. [S.l.]: [s.n.], 2006. Documento concedido pela empresa Gethal ®.

CORTELASSI, E. M. **Avaliação do comportamento de concretos celulares espumosos de alto desempenho.** 2005. 197 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos celulares espumosos.** São Paulo: Departamento de Engenharia Construção Civil da EPUSP, 1987. 20 p. Boletim técnico.

FONSECA, J. S. da; MARTINS, G. de A. **Curso de estatística.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996. 320 p.

FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1995. 382 p.

GRANJU, J.-L. **Béton armé:** théorie et applications selon l'Eurocode 2. [s.l.]: Eyrolles, 2011. 476 p.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto, volume 1:** princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. Tradução de: David Fridman. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. 336 p.

LIMA, T. L. **Dosagem e propriedades do concreto celular estrutural.** 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Departamento de

Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. Dissertação em andamento.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. **Como construir:** paredes de concreto. Revista Técnica, [s.l.], n. 147, p.74-80, jun. 2009. Mensal.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1982. 738 p.

OLIVEIRA, K. R. de S. **Aderência da armadura ao concreto leve com adição de resíduos.** 2006. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 5. ed. Porto Alegre: Globo, 1978. 307 p.

PIYAMAIKONGDECH, A. **Ductile lightweight concrete for lightweight structural application.** 2007. 183 f. Thesis (Master of Science) - Faculty of the Graduate School, University of Texas, Arlington, 2007.

Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions – RILEM. **Recommandation RILEM/CEB/FIP RC 6:** essais portant sur l'adhérence des armatures du béton. 2. Essai par traction. [s.l.]: [s.n.], 1978. 5 p.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção:** recebimento, transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação. São Paulo: Pini, 1995.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural:** produção, propriedades, microestruturas e aplicações. São Paulo: Pini, 2009. 144 p.

TEIXEIRA FILHO, F. J.; TEZUKA, Y. **Considerações sobre algumas propriedades dos concretos celulares espumosos.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1992. 29 p. Boletim técnico.

VEDACIT ®. **Cemix 2000 ®:** aditivo plastificante polifuncional. Disponível em: <<http://www.vedacit.com.br/component/content/article/84-aditivos-para-concreto/25-cemix-2000?directory=247>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

APÊNDICES

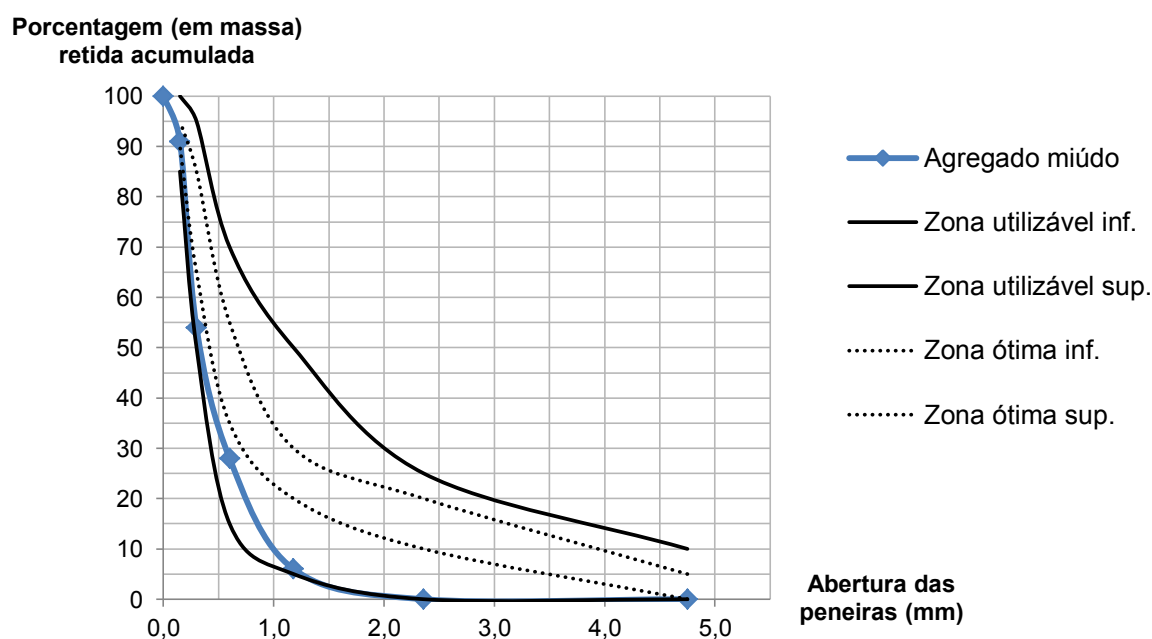
APÊNDICE A – Distribuição granulométrica (agregado miúdo)

Tabela 15 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Média (Amostra 1 e 2)	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida	% retida	% retida acumulada
4,75	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0
2,36	0,24	0,0	0,00	0,0	0	0
1,18	31,97	6,4	27,50	5,5	6	6
0,60	118,52	23,7	102,00	20,4	22	28
0,30	134,91	27,0	132,5	26,5	26	54
0,15	174,74	34,9	191,00	38,2	37	91
fundo	40,21	8,0	47,00	9,4	9	100
Total	500,59	100,0	500,00	100,0	100	-
Dimensão máxima característica (mm)						1,18
Módulo de finura						1,79
Tipo de areia (classificação da ABNT NBR 6502:1995)						Areia grossa

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 84 - Curva granulométrica do agregado miúdo conforme as recomendações da ABNT NBR NM 248:2003 e da ABNT NBR 7211:2009.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

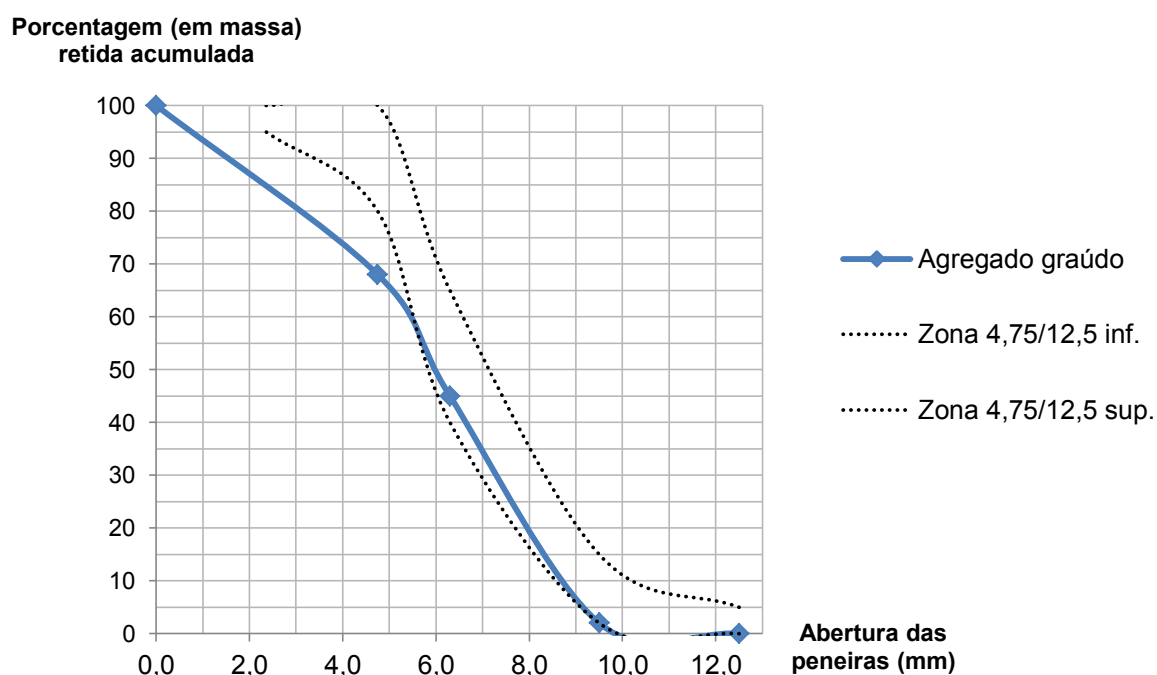
APÊNDICE B – Distribuição granulométrica (agregado graúdo)

Tabela 16 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Média (Amostra 1 e 2)	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida	% retida	% retida acumulada
19	0	0,0	0	0	0	0
9,5	107	2,1	133	2,7	2	2
6,3	2151	43,1	2137	42,8	43	45
4,75	1134	22,7	1113	22,3	23	68
fundo	1593	32,0	1606	32,2	32	100
Total	4985	99,9	4989	100,0	100	-
Dimensão máxima característica (mm)						9,5
Módulo de finura						5,7
Tipo de brita conforme a classificação de Ripper (1995, p. 11)						Brita 0

Fonte: dados do próprio autor (2014).

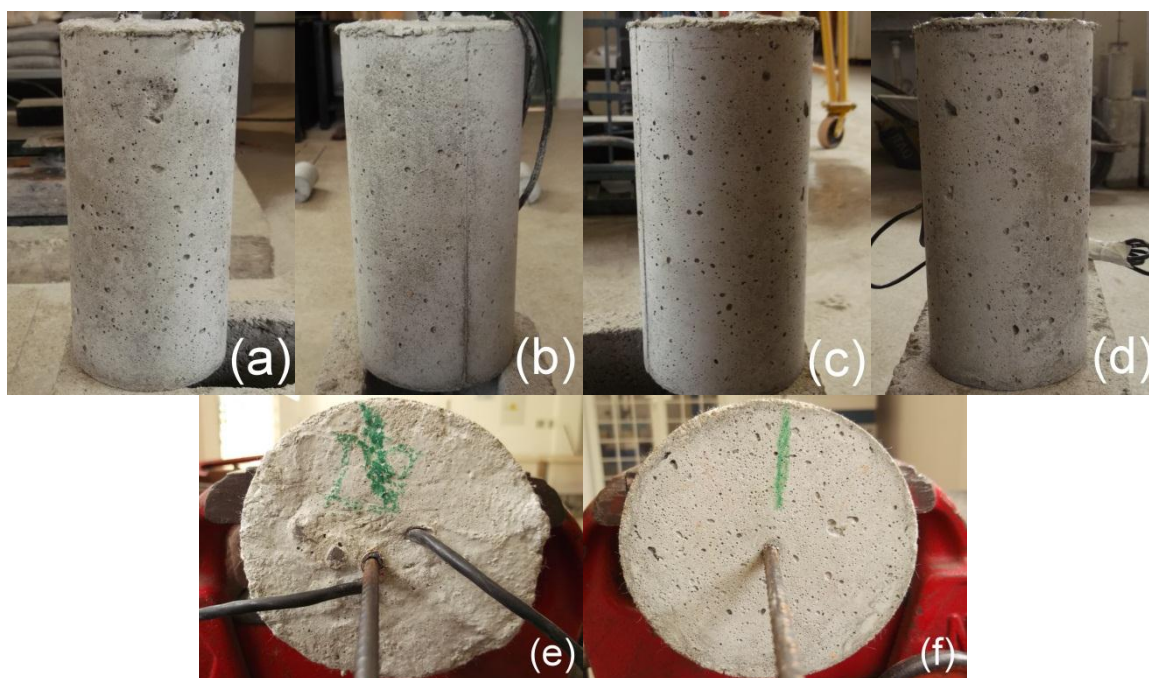
Figura 85 - Curva granulométrica do agregado graúdo conforme as recomendações da ABNT NBR NM 248:2003 e da ABNT NBR 7211:2009.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

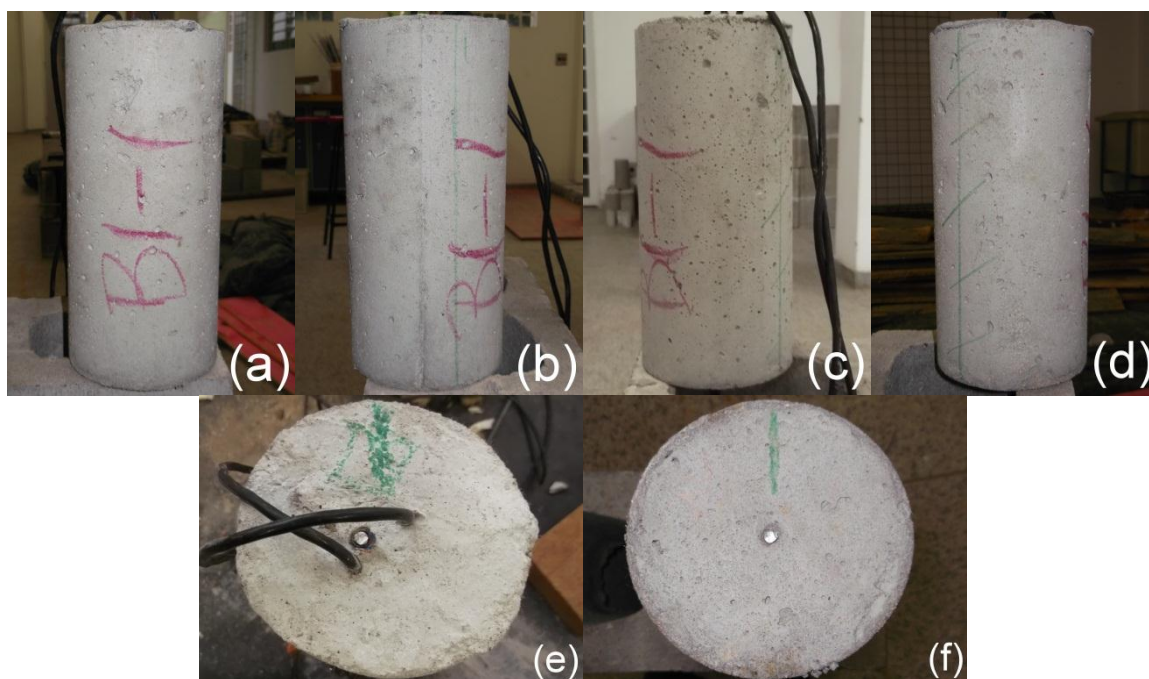
APÊNDICE C – Laudo CP B1-1

Figura 86 - CP B1-1: antes arrancamento (parte externa).



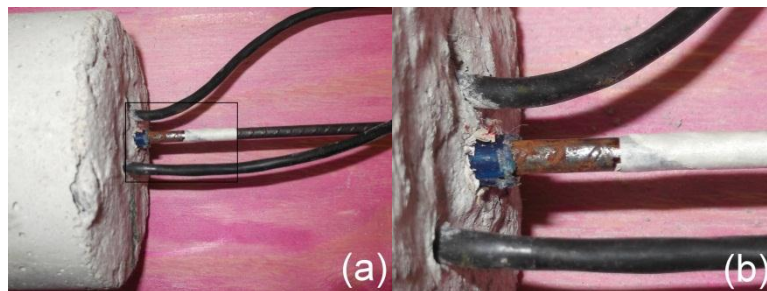
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 87 - CP B1-1: após arrancamento (parte externa).



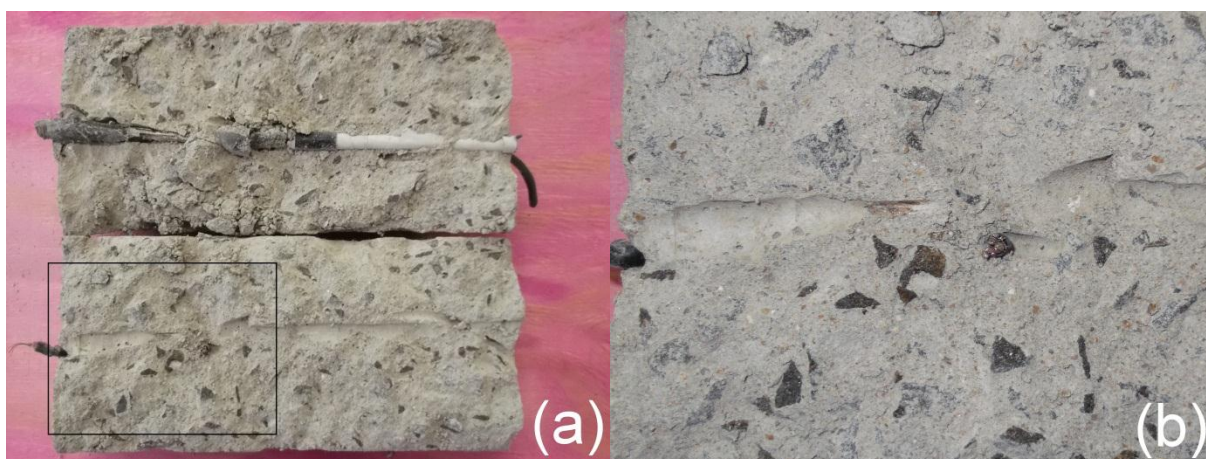
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 88 - CP B1-1: após arrancamento (modo de ruptura).



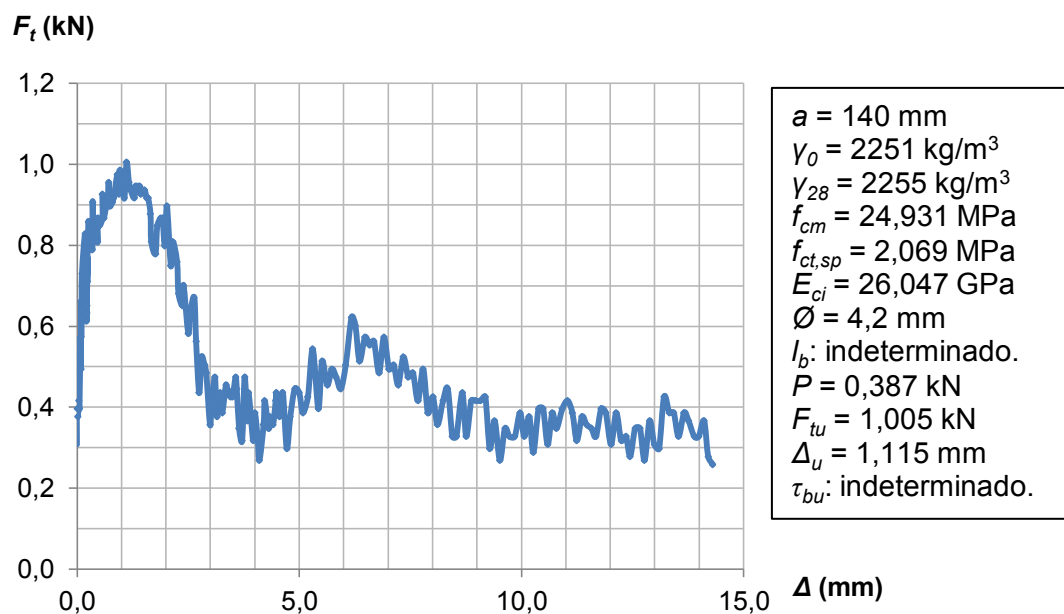
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 89 - CP B1-1: após arrancamento (parte interna).

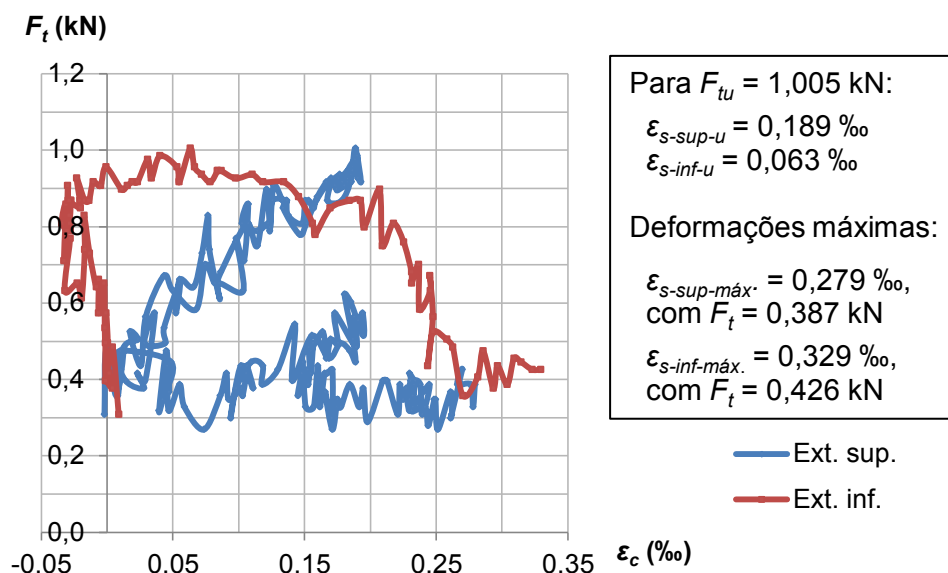


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 90 - CP B1-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 91 - CP B1-1: Diagrama F_t - ϵ_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 86), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro na parte superior do CP (Figura 87-e). Armadura um pouco inclinada dentro do CP (Figura 89-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 87).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 88). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 90).
- A presença dos extensômetros interferiu na zone de aderência (Figura 89), impossibilitando a medição de l_b com precisão e, portanto, o cálculo de τ_{bu} .

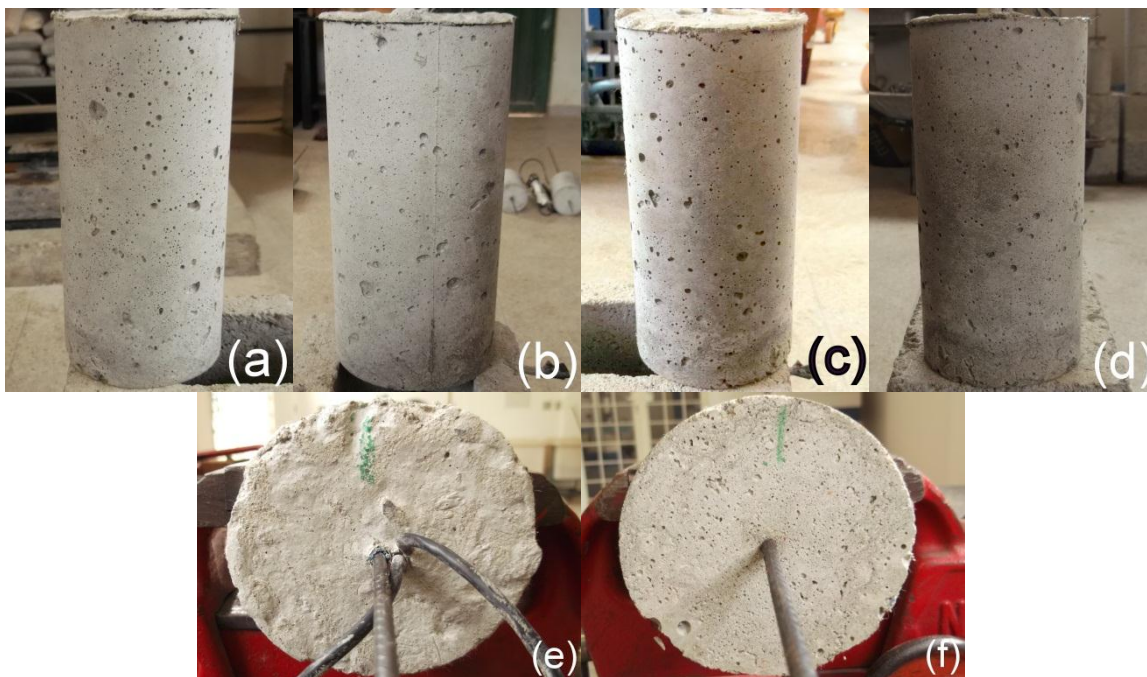
- O diagrama $F_t-\epsilon_s$ obtido não permitiu fazer conclusões.

Conclusão do ensaio:

A presença dos extensômetros impossibilitou o cálculo de τ_{bu} com precisão. A leve inclinação da armadura dentro do CP pode ter influenciado no valor de F_t (1,005 kN).

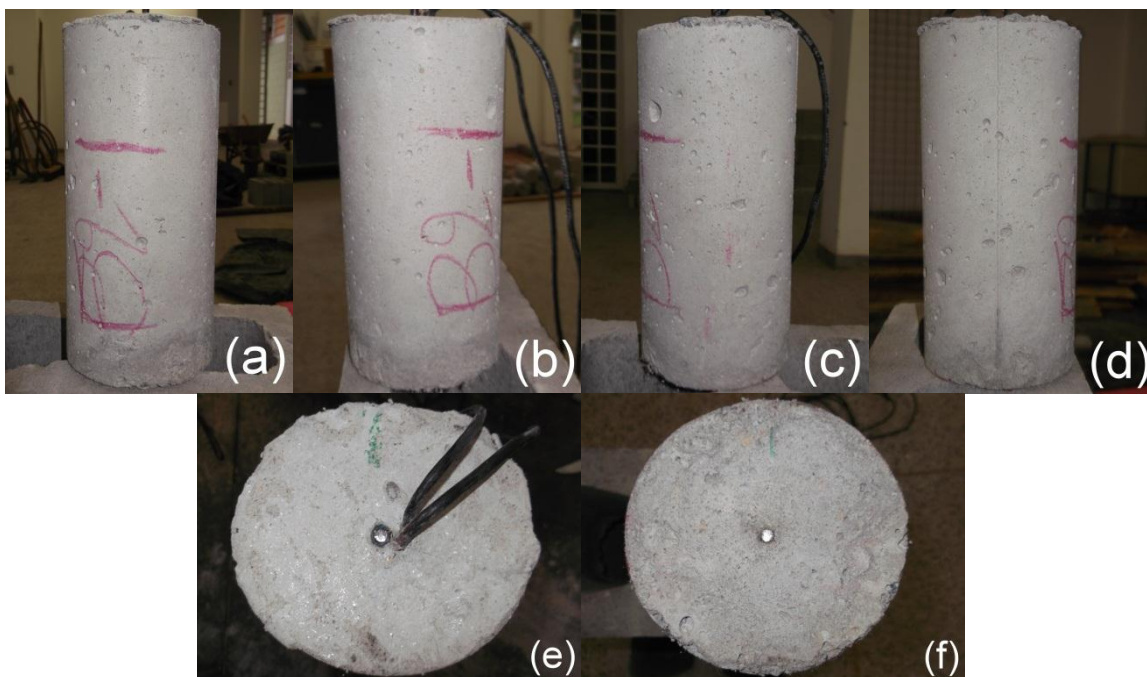
APÊNDICE D – Laudo CP B2-1

Figura 92 - CP B2-1: antes arrancamento (parte externa).



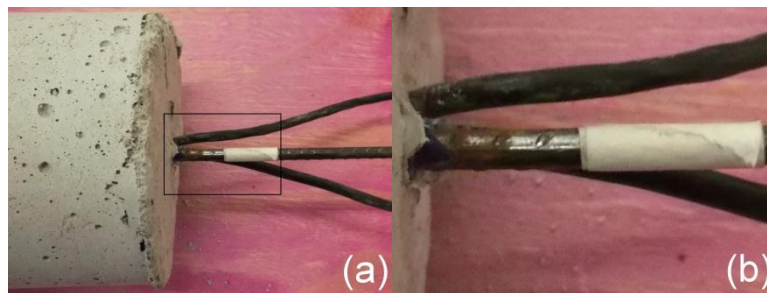
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 93 - CP B2-1: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 94 - CP B2-1: após arrancamento (modo de ruptura).



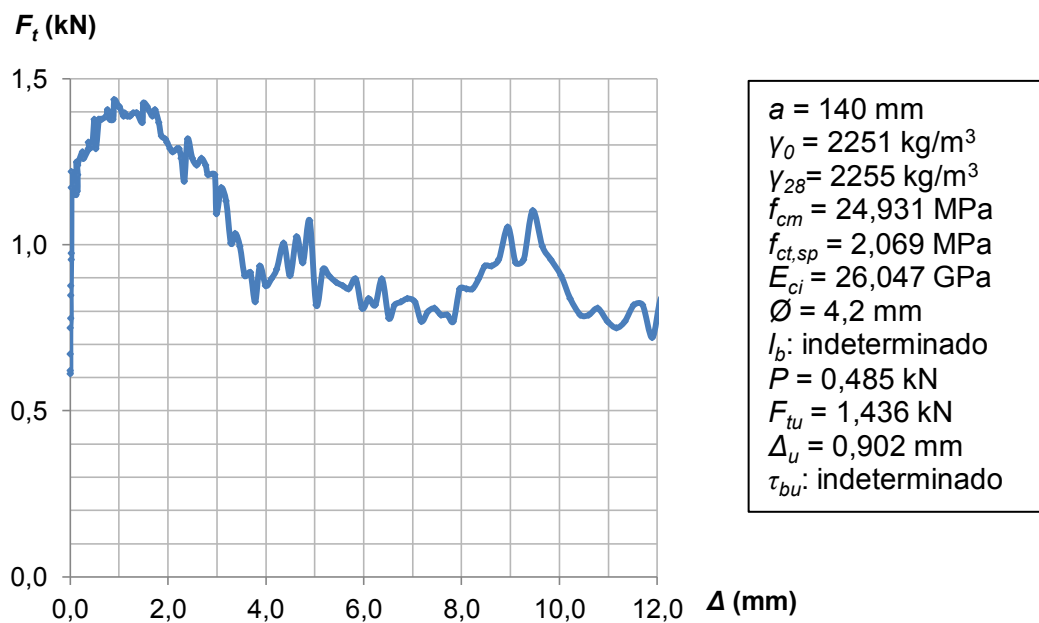
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 95 - CP B2-1: após arrancamento (parte interna).

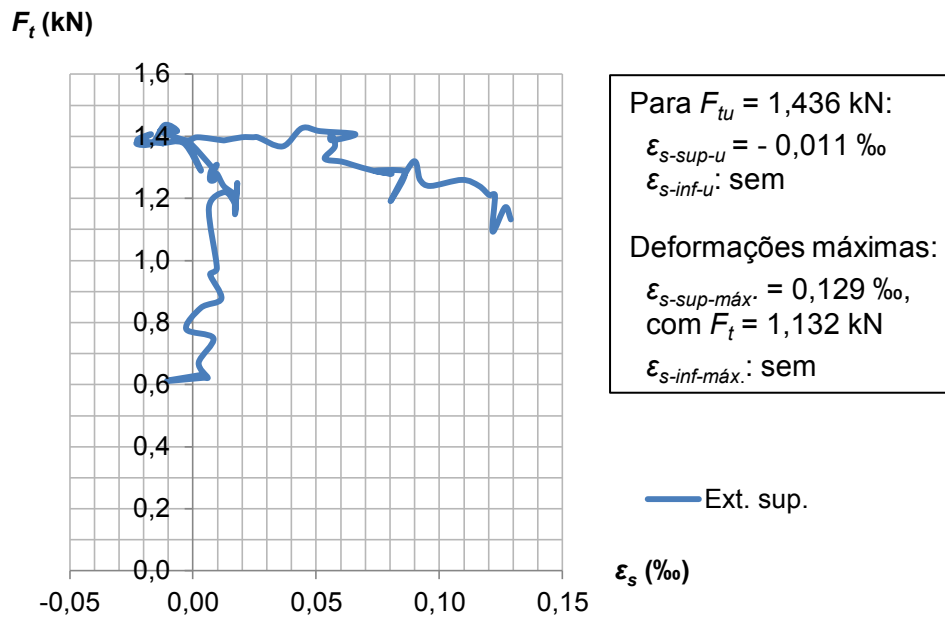


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 96 - CP B2-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 97 - CP B2-1: Diagrama F_t - ε_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 92), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 93-e-f, Figura 95-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 93).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 94). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 96).
- A presença dos extensômetros interferiu na zone de aderência (Figura 95), impossibilitando a medição de l_b com precisão e, portanto, o cálculo de τ_{bu} .
- O diagrama F_t - ε_s obtido não permitiu fazer conclusões. Não foi possível medir a deformação ε_{s-inf} ao longo do ensaio (provável perda da ligação entre o extensômetro

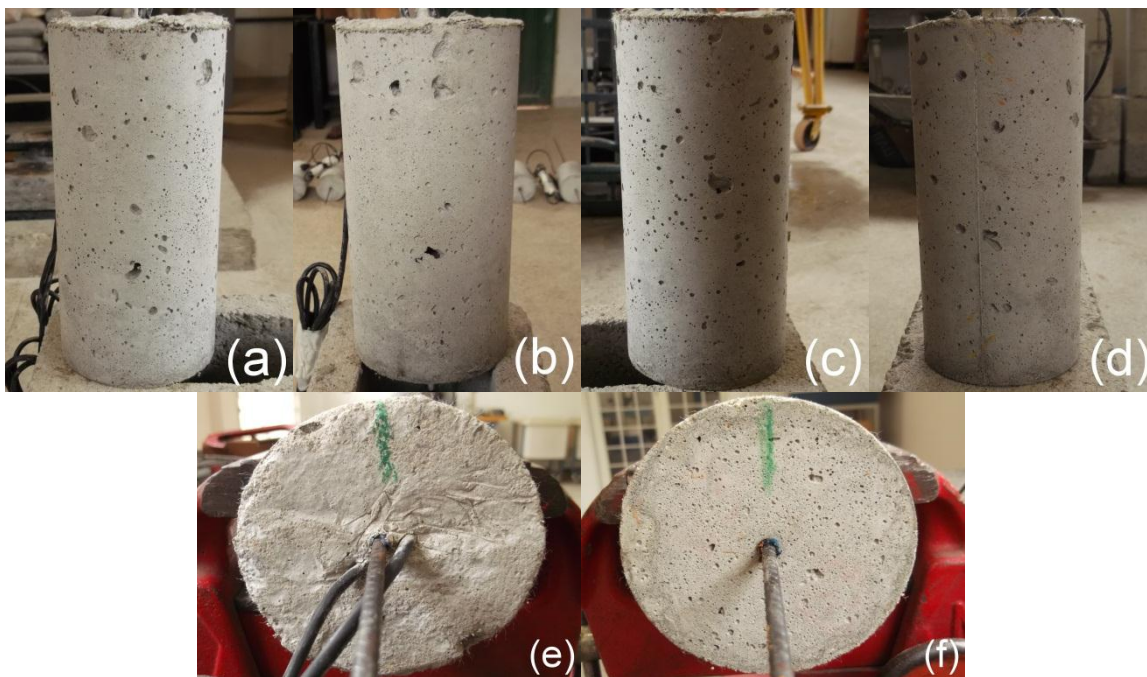
e o cabo de alimentação ocorrida durante o manuseio das armaduras ou durante a moldagem do CP).

Conclusão do ensaio:

A presença dos extensômetros impossibilitou o cálculo de τ_{bu} com precisão. Ensaio com o maior F_{tu} da amostra AB1-E (1,436 kN), que pode ser explicado pela excelente colocação da armadura dentro do CP (comparada com os outros CPs da amostra).

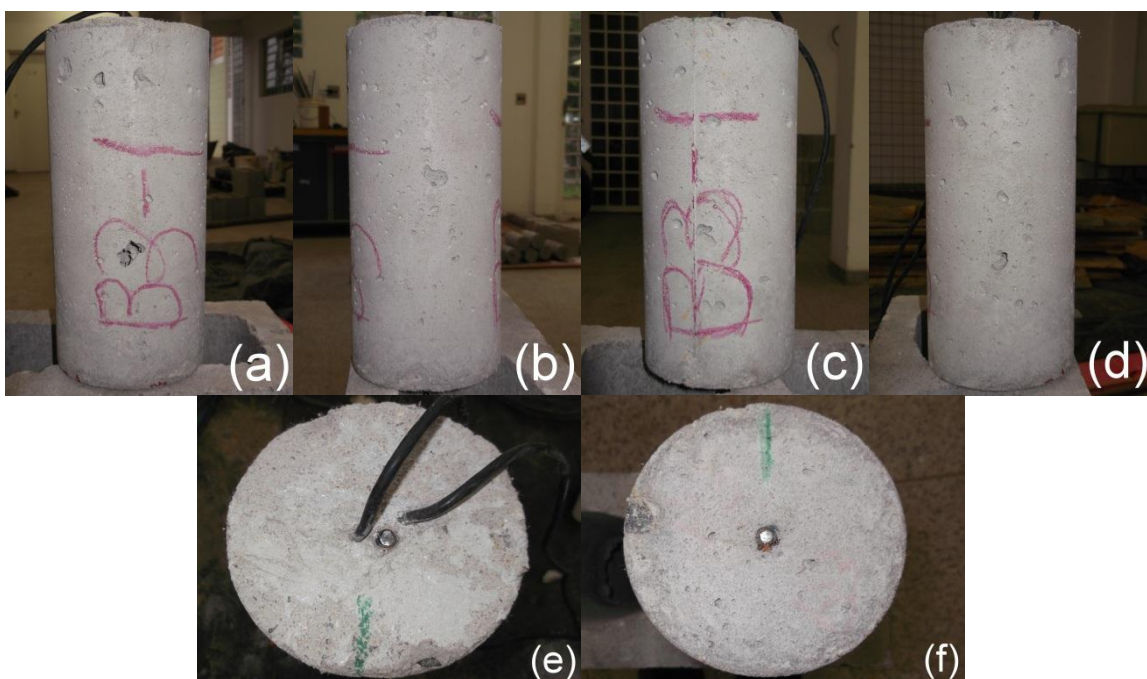
APÊNDICE E – Laudo CP B3-1

Figura 98 - CP B3-1: antes arrancamento (parte externa).



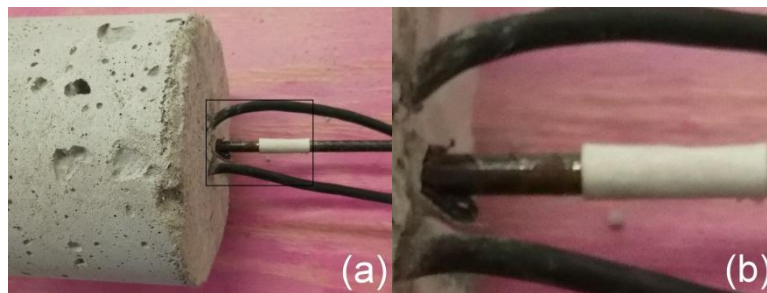
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 99 - CP B3-1: após arrancamento (parte externa).



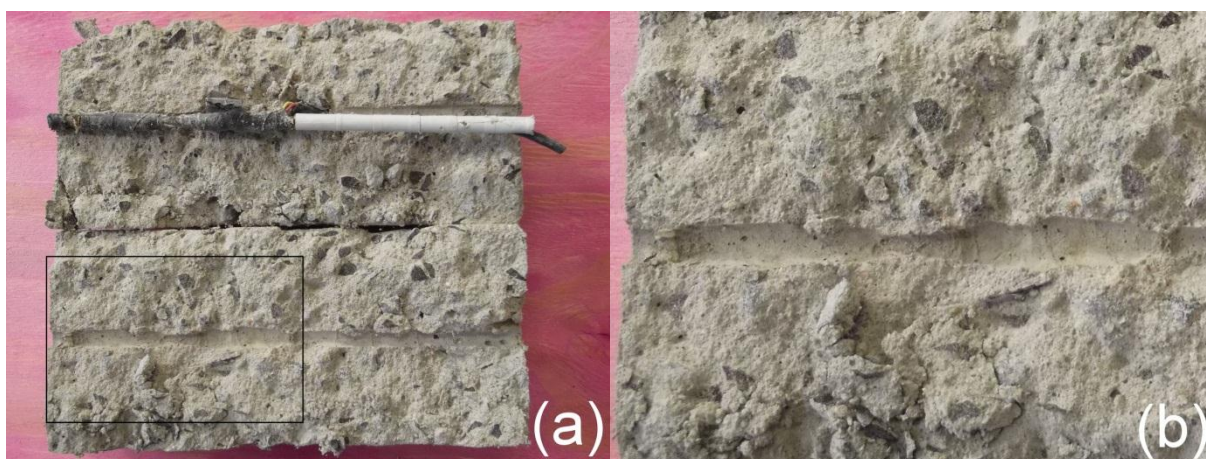
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 100 - CP B3-1: após arrancamento (modo de ruptura).



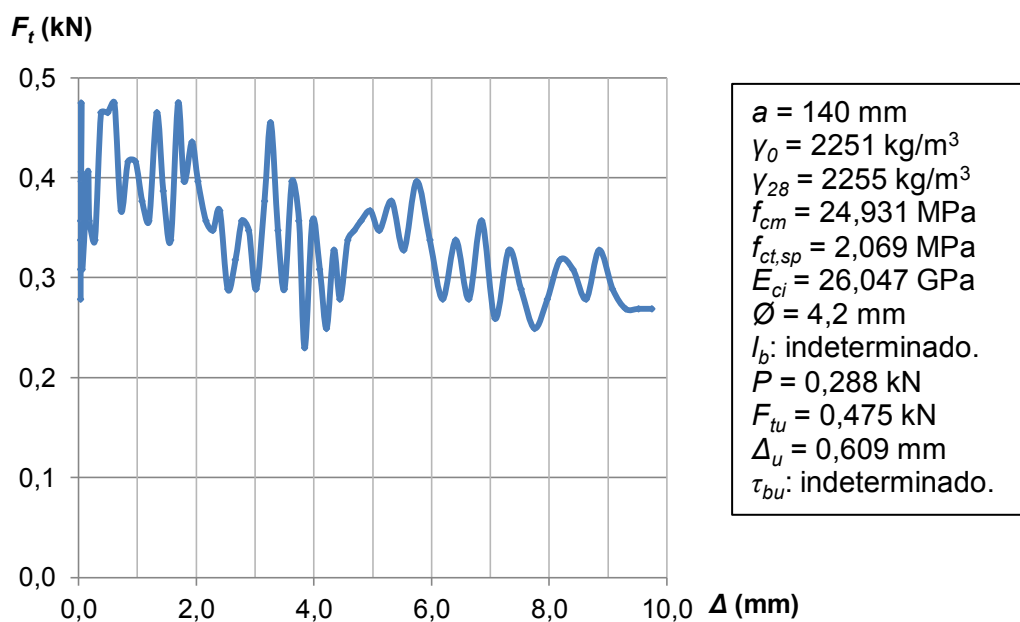
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 101 - CP B3-1: após arrancamento (parte interna).

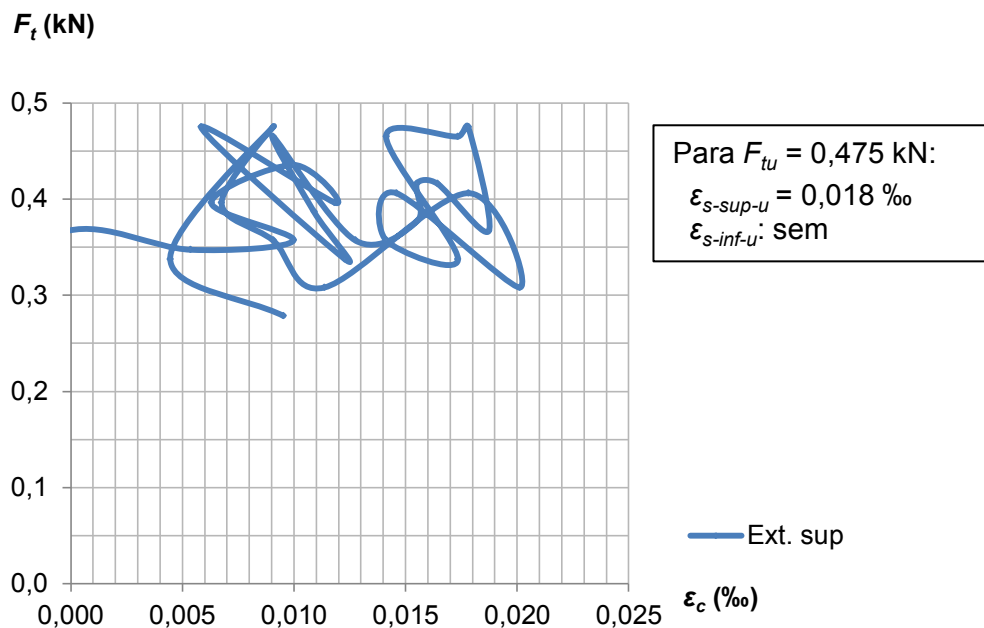


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 102 - CP B3-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 103 - CP B3-1: Diagrama F_t - ε_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 98), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 99-e-f, Figura 101-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 99).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 100). Diagrama F_t - Δ sem variação importante de F_t (Figura 102).
- A presença dos extensômetros interferiu na zona de aderência (Figura 101), impossibilitando a medição de l_b com precisão e, portanto, o cálculo de τ_{bu} .
- O diagrama F_t - ε_s obtido não permitiu fazer conclusões. Não foi possível medir a deformação ε_{s-inf} ao longo do ensaio (provável perda da ligação entre o extensômetro

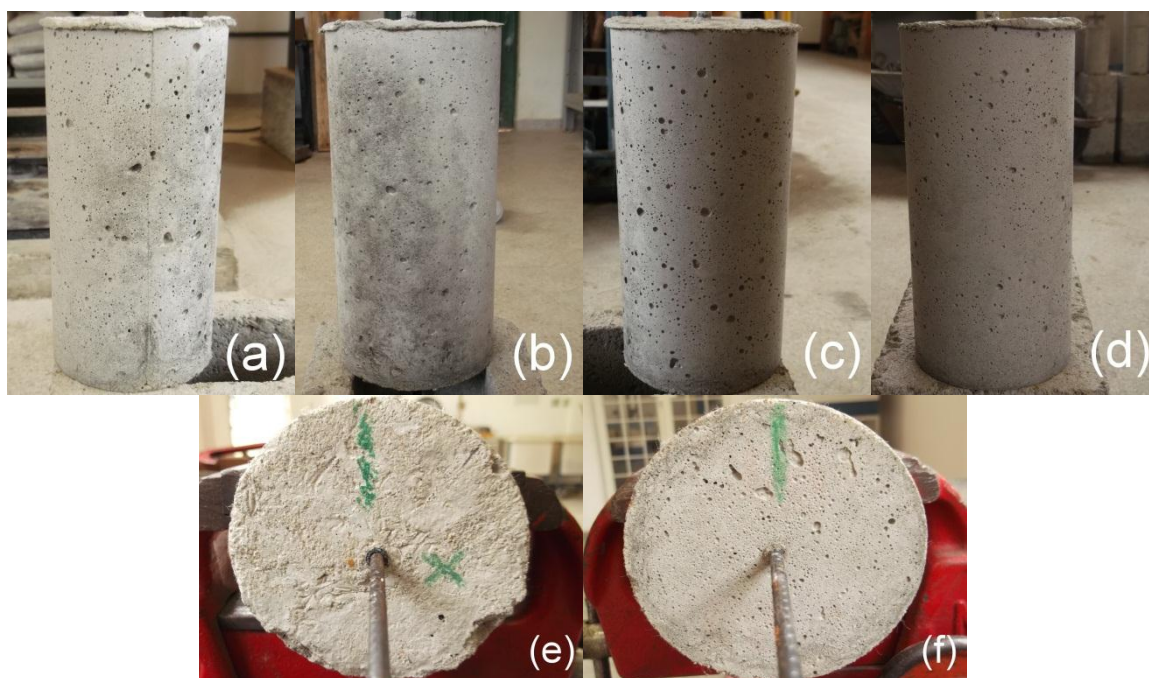
e o cabo de alimentação ocorrida durante o manuseio das armaduras ou durante a moldagem do CP).

Conclusão do ensaio:

A presença dos extensômetros impossibilitou o cálculo de τ_{bu} com precisão. Ensaio com o menor F_{tu} da amostra AB1-E (0,475 kN), que pode ser explicado pelo cobrimento quase total da zona de aderência pela fita de auto fusão (Figura 101).

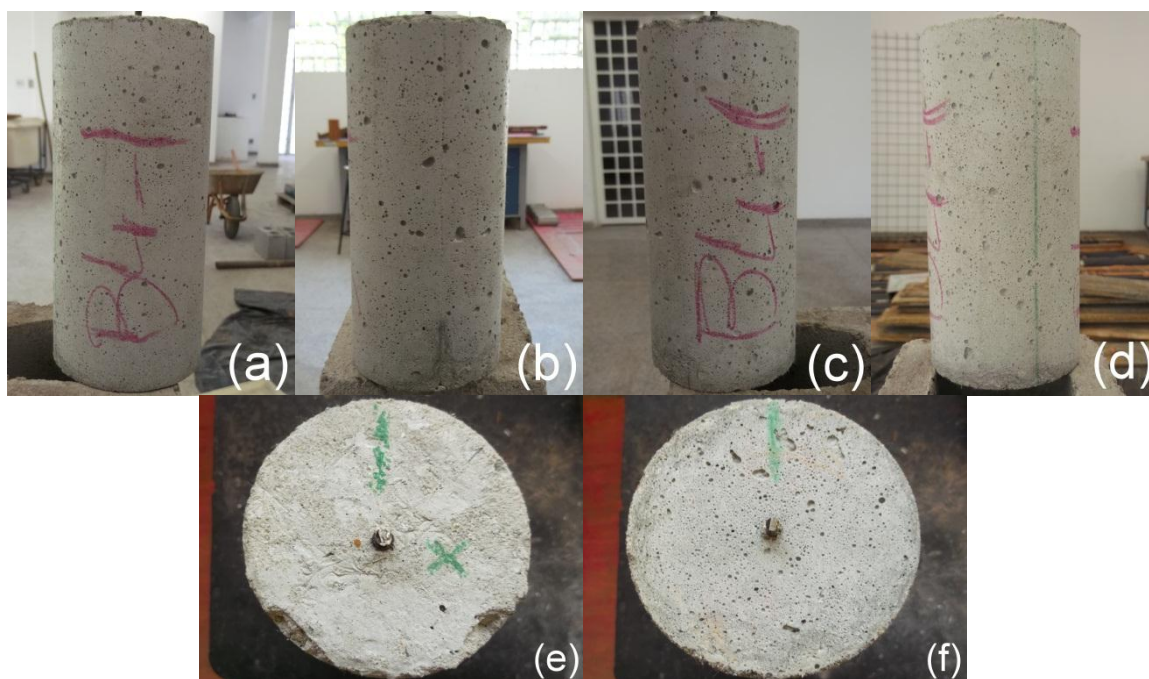
APÊNDICE F – Laudo CP B4-1

Figura 104 - CP B4-1: antes arrancamento (parte externa).



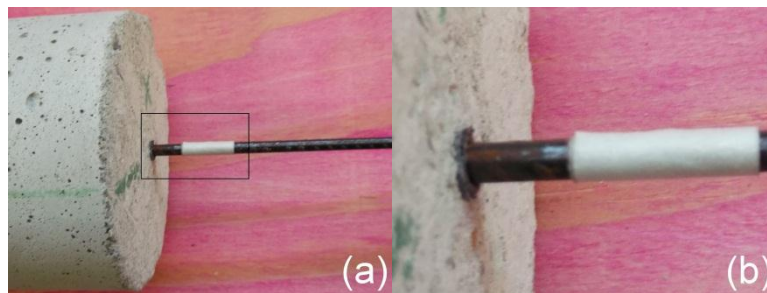
Fonte: Dados do próprio autor (2014).

Figura 105 - CP B4-1: após arrancamento (parte externa).



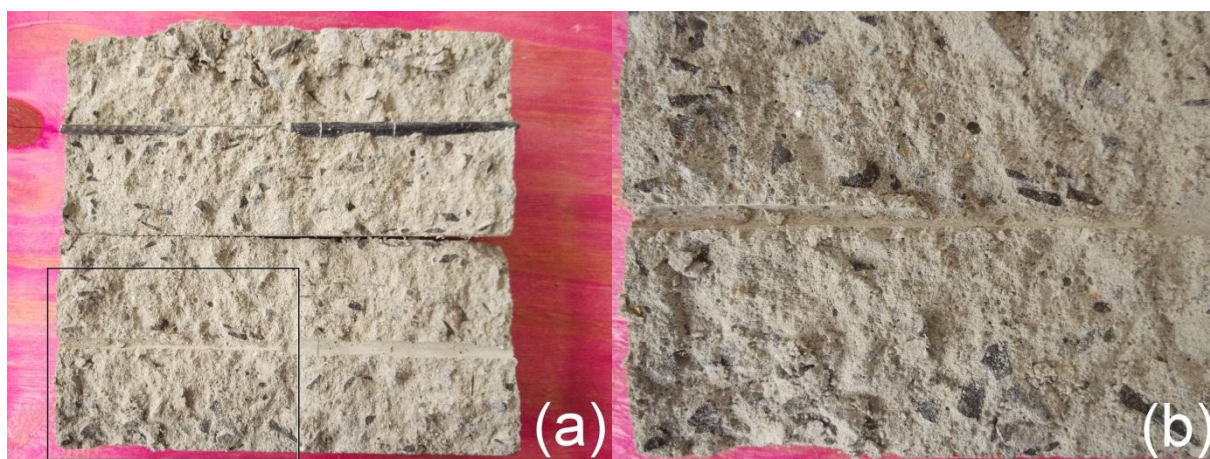
Fonte: Dados do próprio autor (2014).

Figura 106 - CP B4-1: após arrancamento (modo de ruptura).



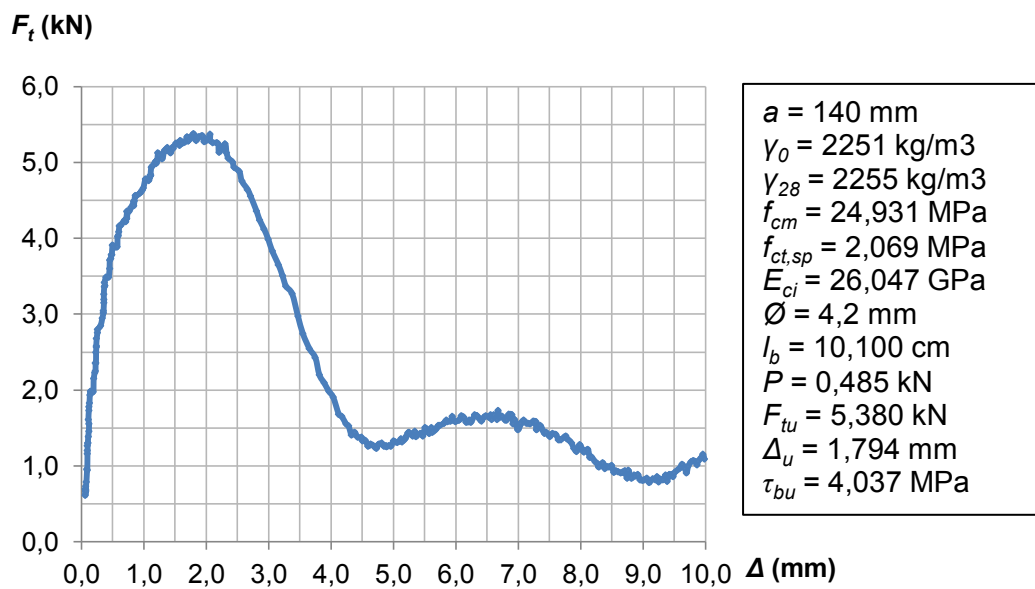
Fonte: Dados do próprio autor (2014).

Figura 107 - CP B4-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: Dados do próprio autor (2014).

Figura 108 - CP B4-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: Dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

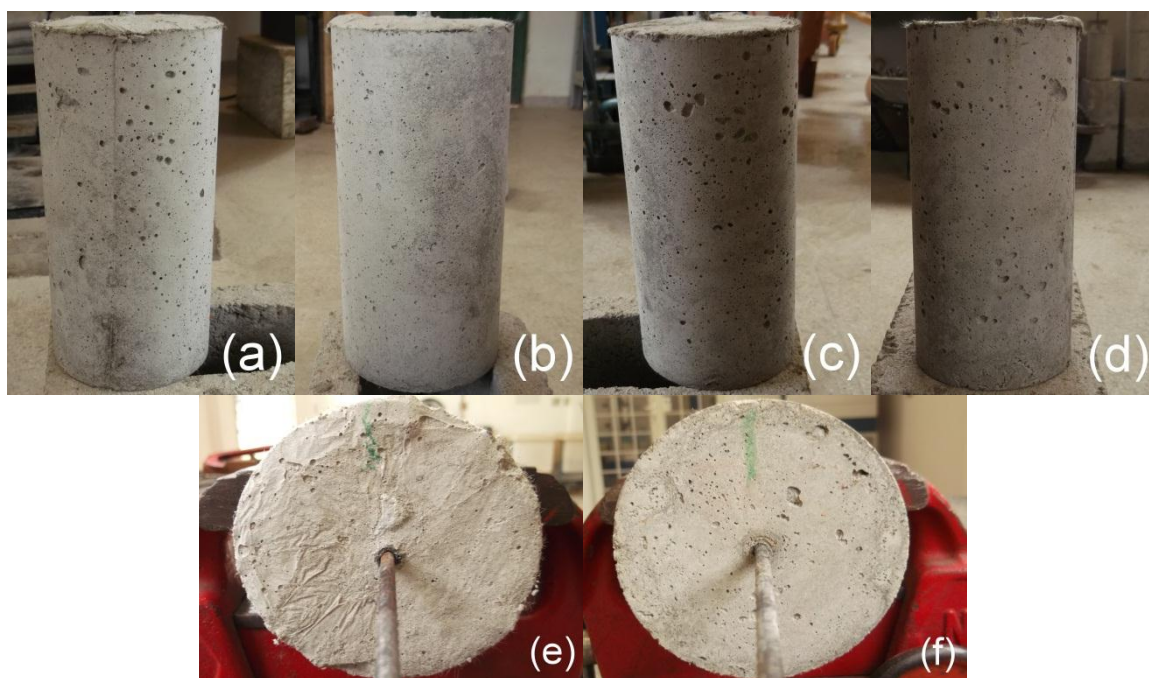
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 104), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 105-e-f, Figura 107-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 105).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 106). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 108).

Conclusão do ensaio:

CP com o menor τ_{bu} da amostra AB1 (4,037 MPa), sem proposta para justificar. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra.

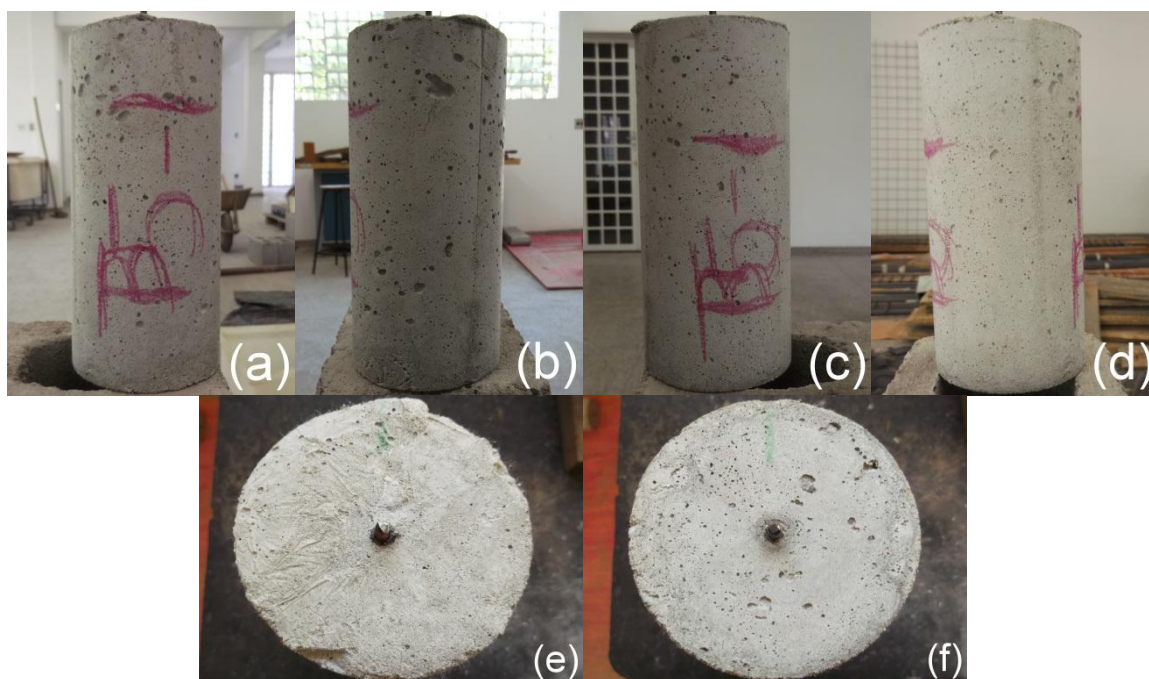
APÊNDICE G – Laudo CP B5-1

Figura 109 - CP B5-1: antes arrancamento (parte externa).



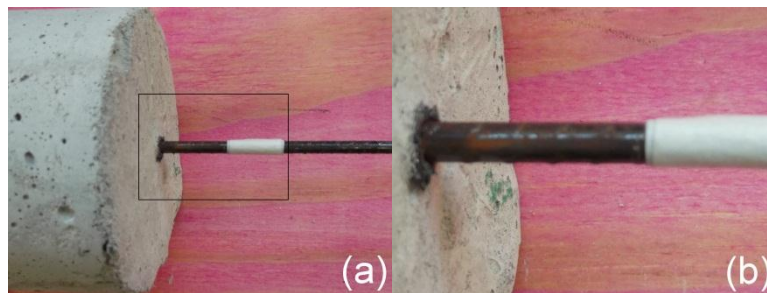
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 110 - CP B5-1: após arrancamento (parte externa).



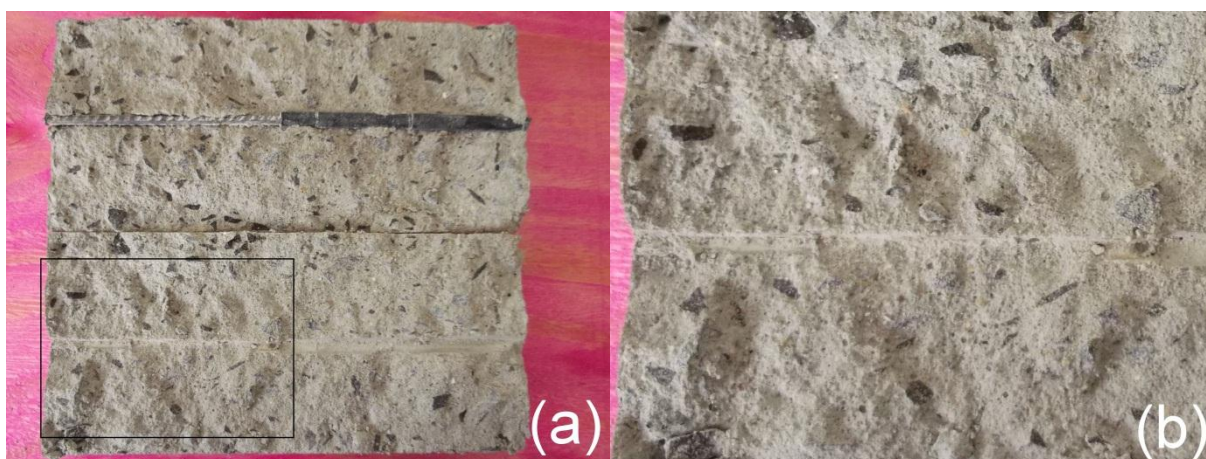
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 111 - CP B5-1: após arrancamento (modo de ruptura).



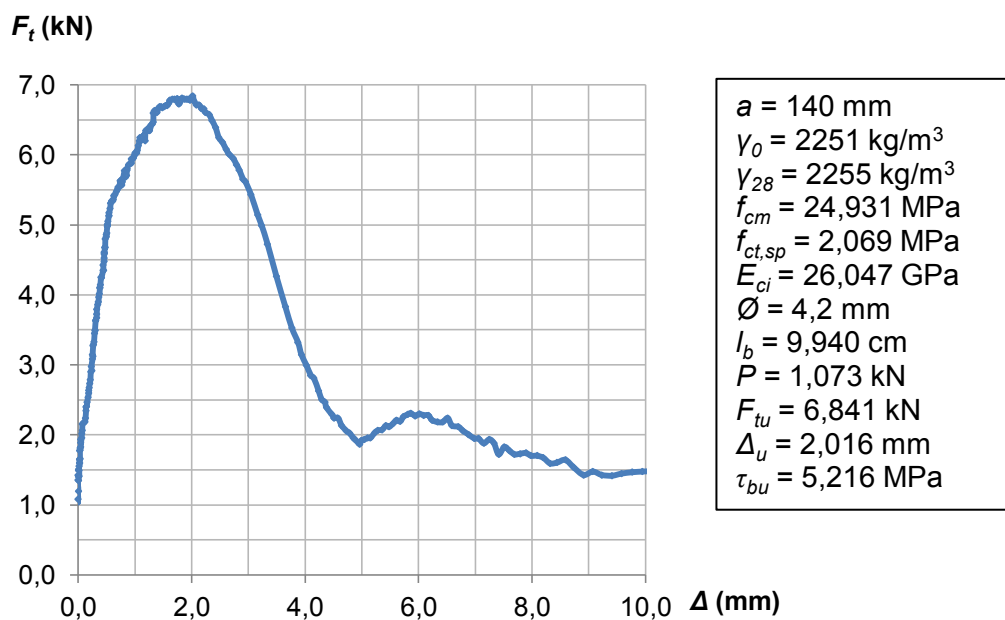
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 112 - CP B5-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 113 - CP B5-1: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

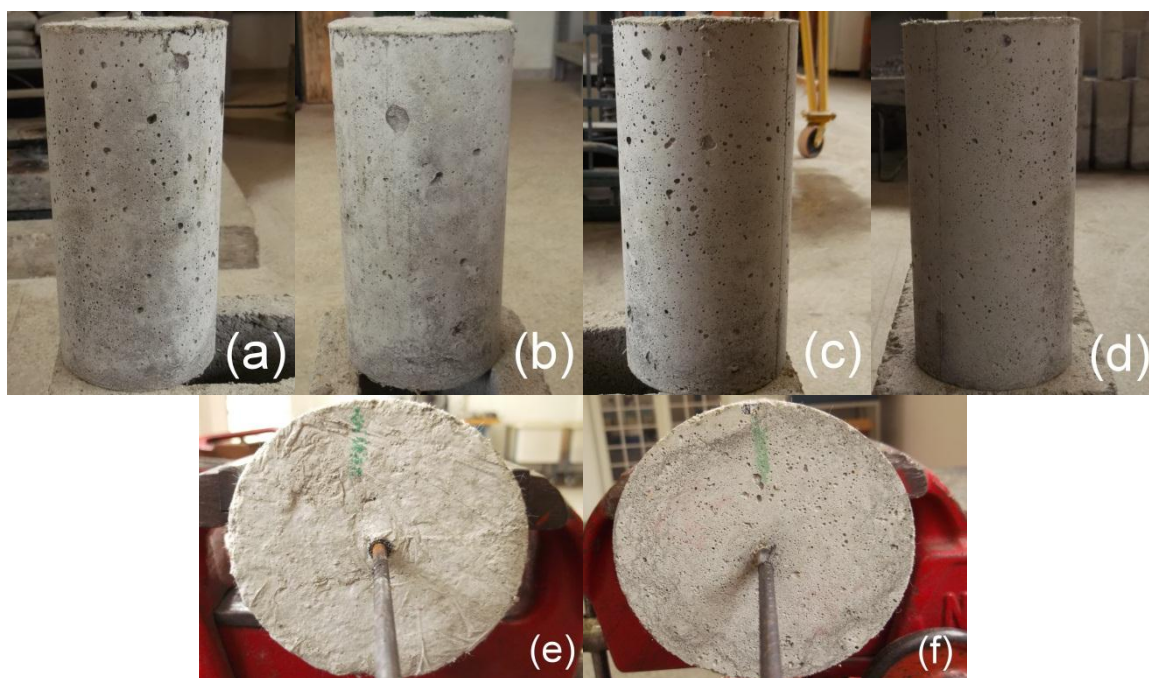
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 109), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 110-e-f, Figura 112-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 110).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 111). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 113).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB1.

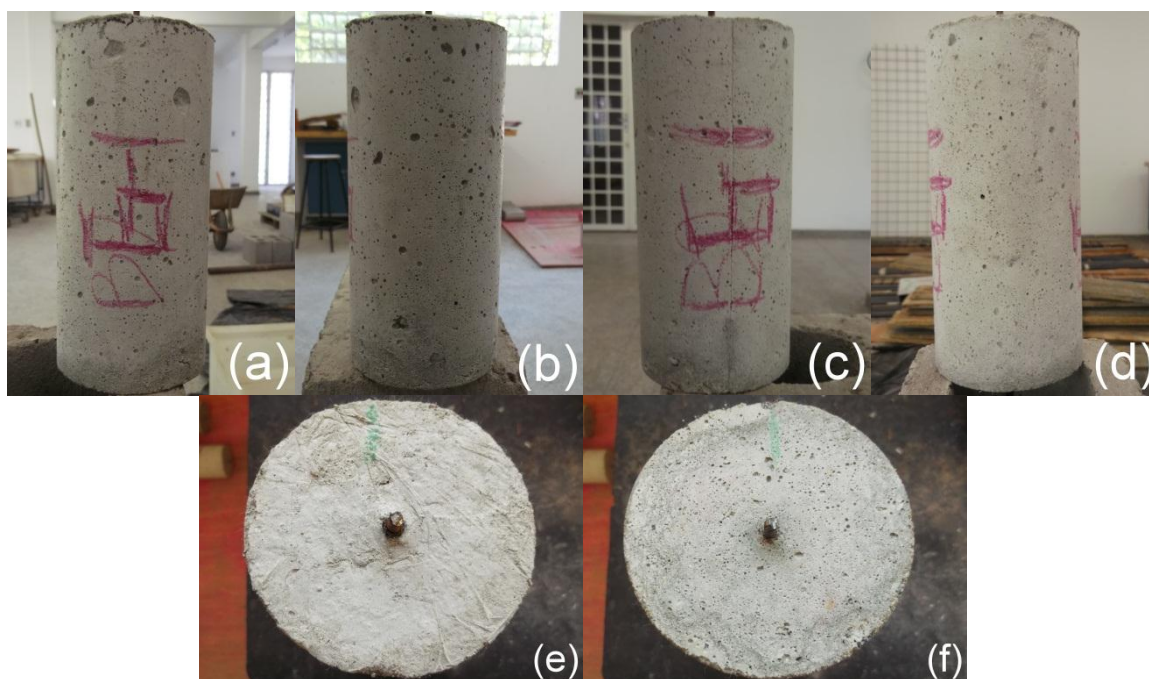
APÊNDICE H – Laudo CP B6-1

Figura 114 - CP B6-1: antes arrancamento (parte externa).



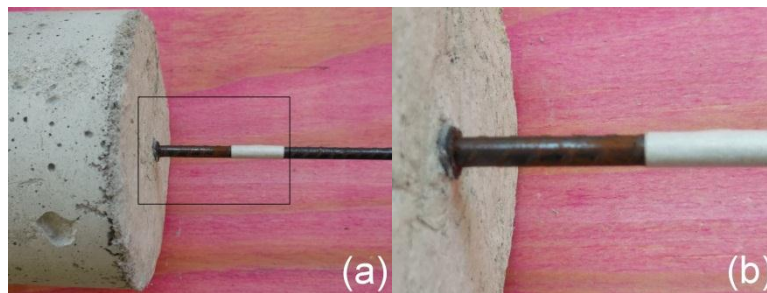
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 115 - CP B6-1: após arrancamento (parte externa).



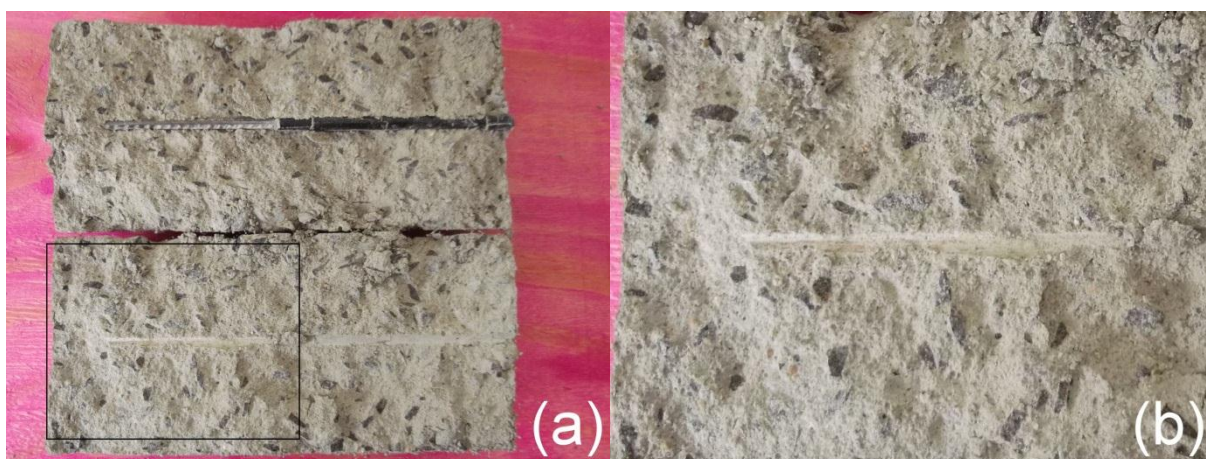
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 116 - CP B6-1: após arrancamento (modo de ruptura).



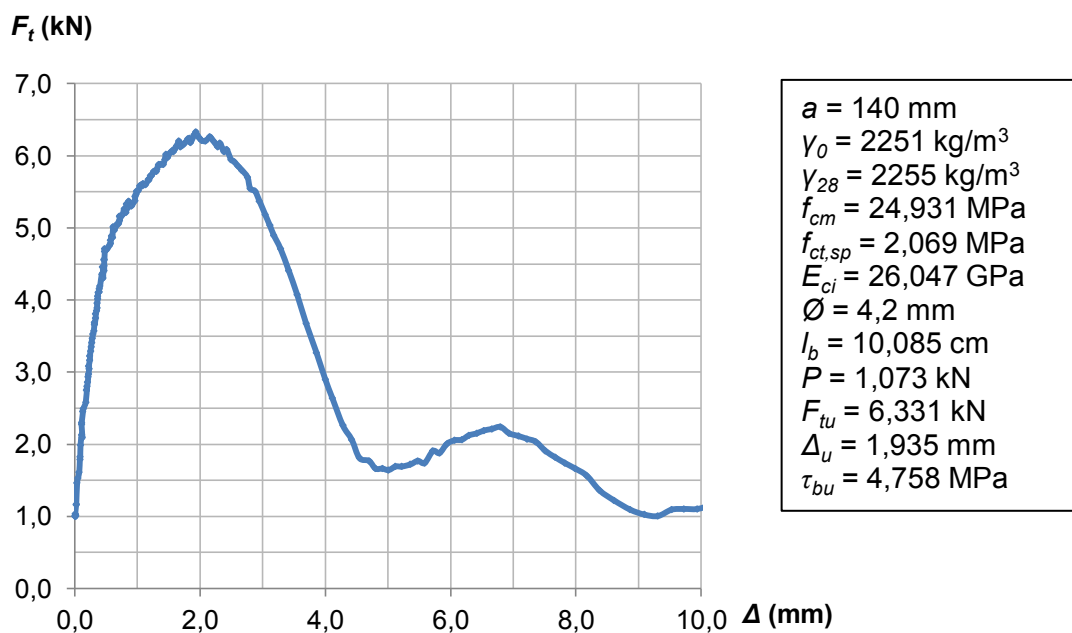
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 117 - CP B6-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 118 - CP B6-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

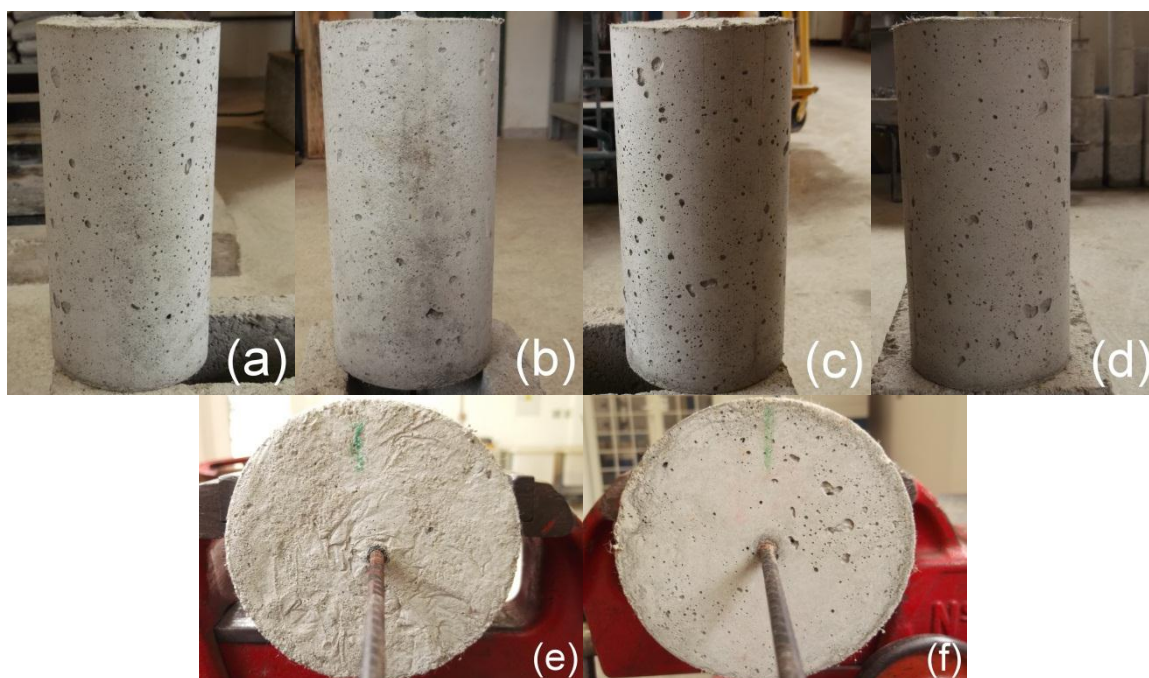
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 114), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 115-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 115).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 116). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 118).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB1.

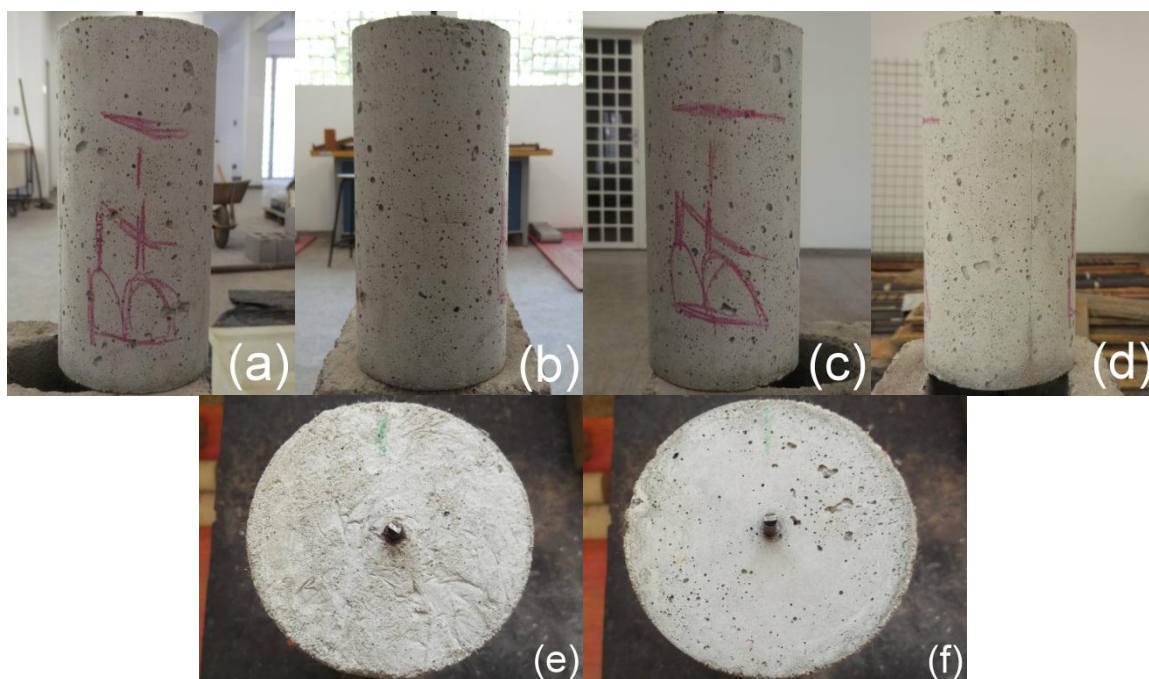
APÊNDICE I – Laudo CP B7-1

Figura 119 - CP B7-1: antes arrancamento (parte externa).



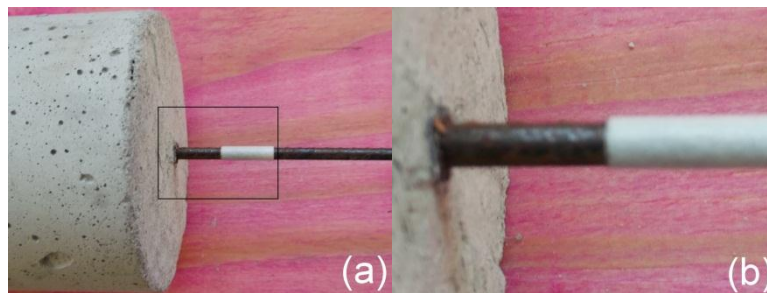
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 120 - CP B7-1: após arrancamento (parte externa).



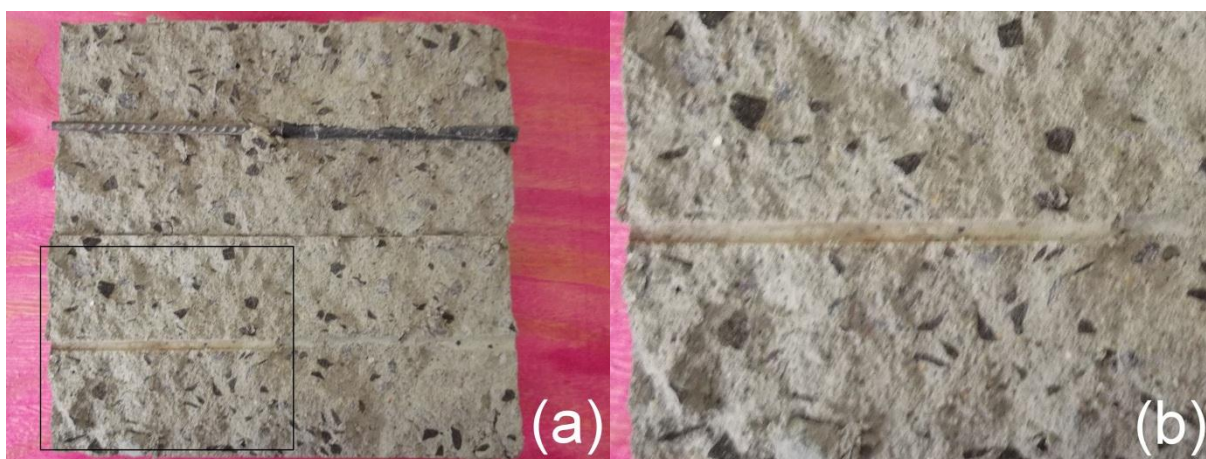
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 121 - CP B7-1: após arrancamento (modo de ruptura).



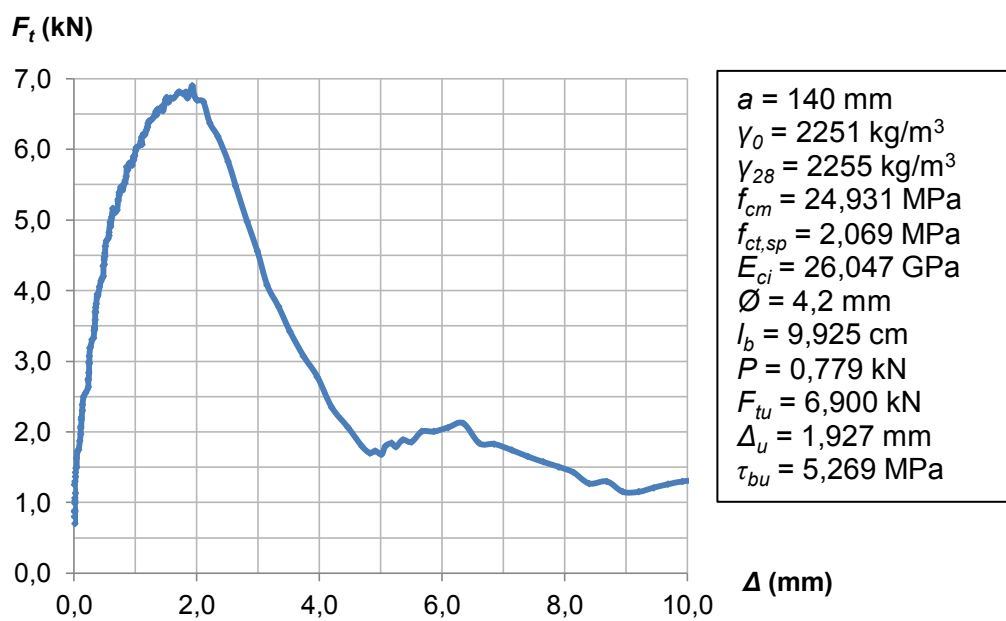
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 122 - CP B7-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 123 - CP B7-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

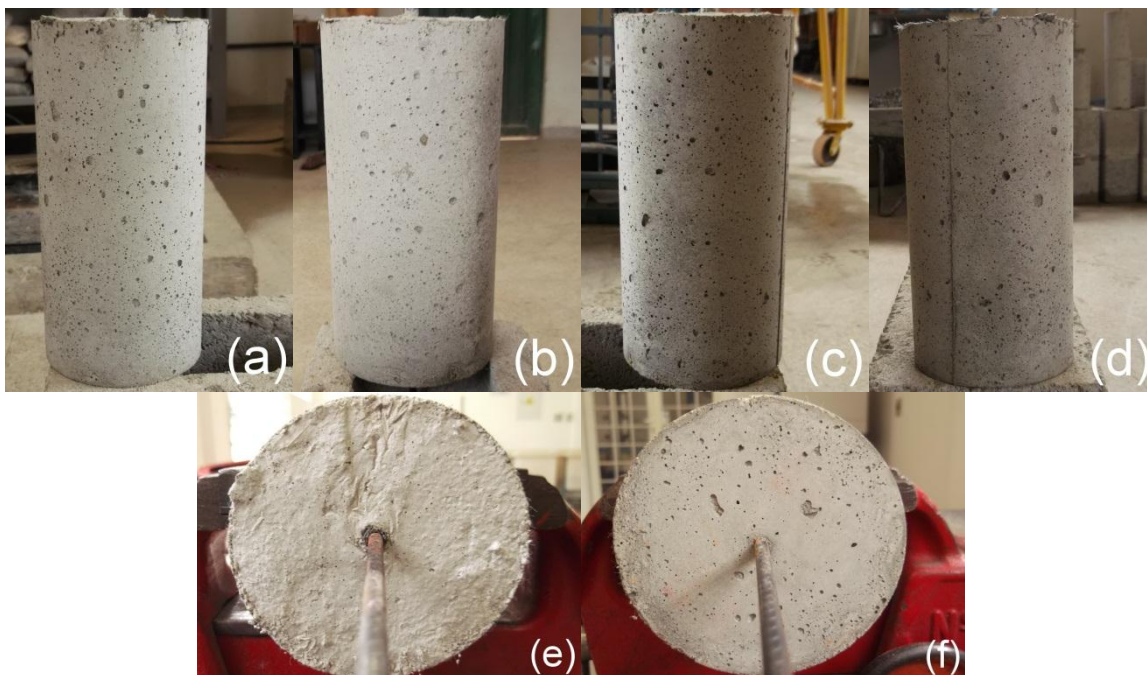
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 119), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 120-e-f e Figura 122).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 120).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 121). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingindo: ver a Figura 123).

Conclusão do ensaio:

CP com o maior τ_{bu} da amostra AB1 (5,269 MPa). Modo de ruptura coerente com o resto da amostra.

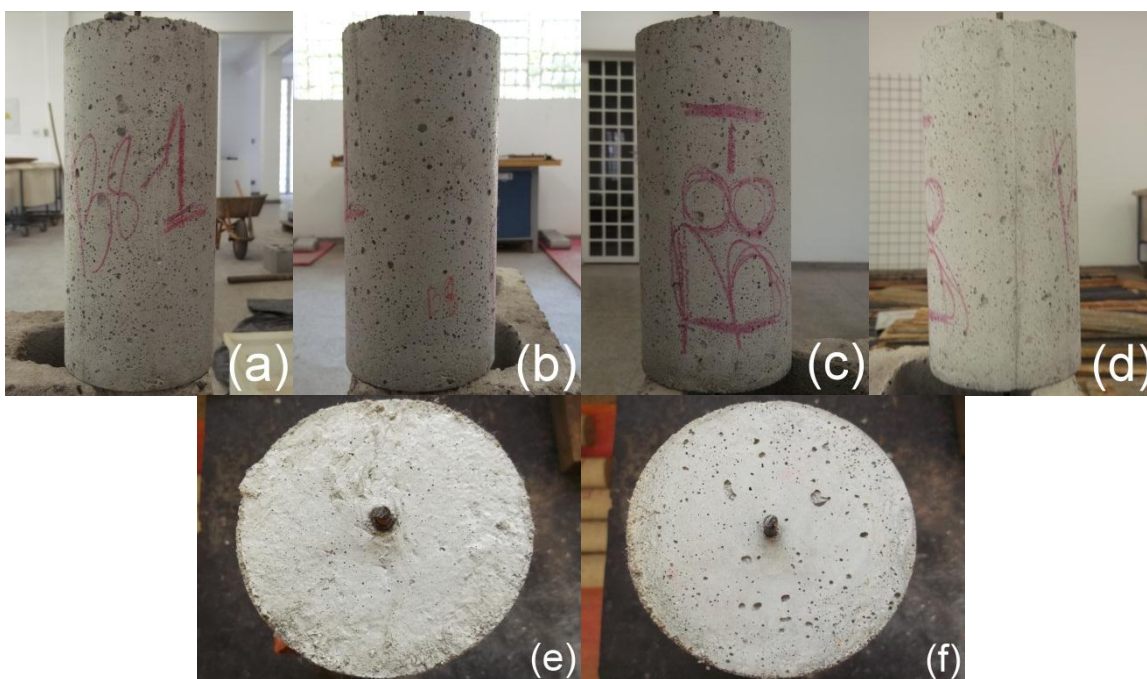
APÊNDICE J – Laudo CP B8-1

Figura 124 - CP B8-1: antes arrancamento (parte externa).



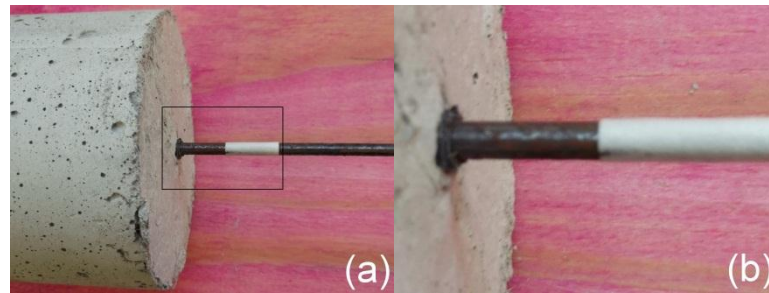
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 125 - CP B8-1: após arrancamento (parte externa).



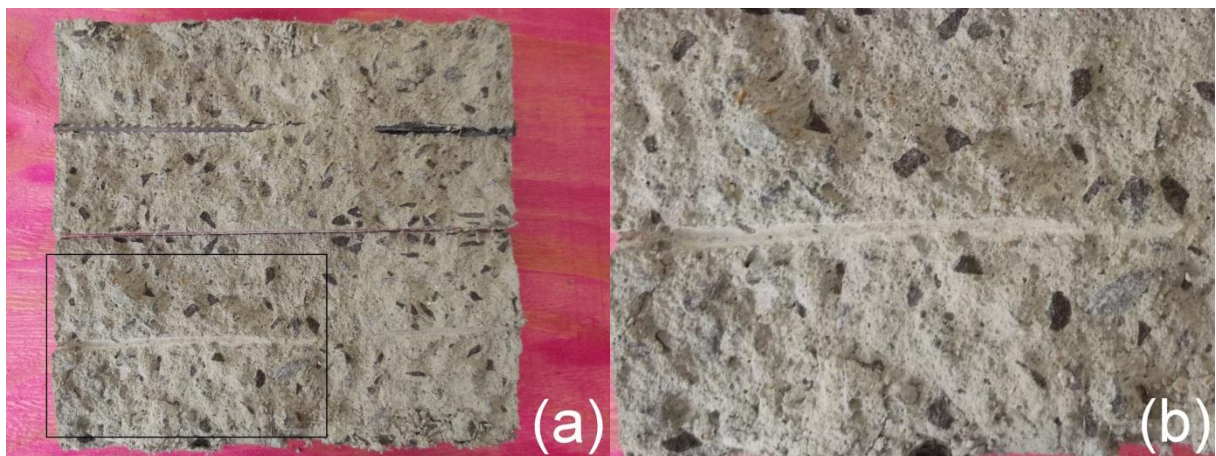
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 126 - CP B8-1: após arrancamento (modo de ruptura).



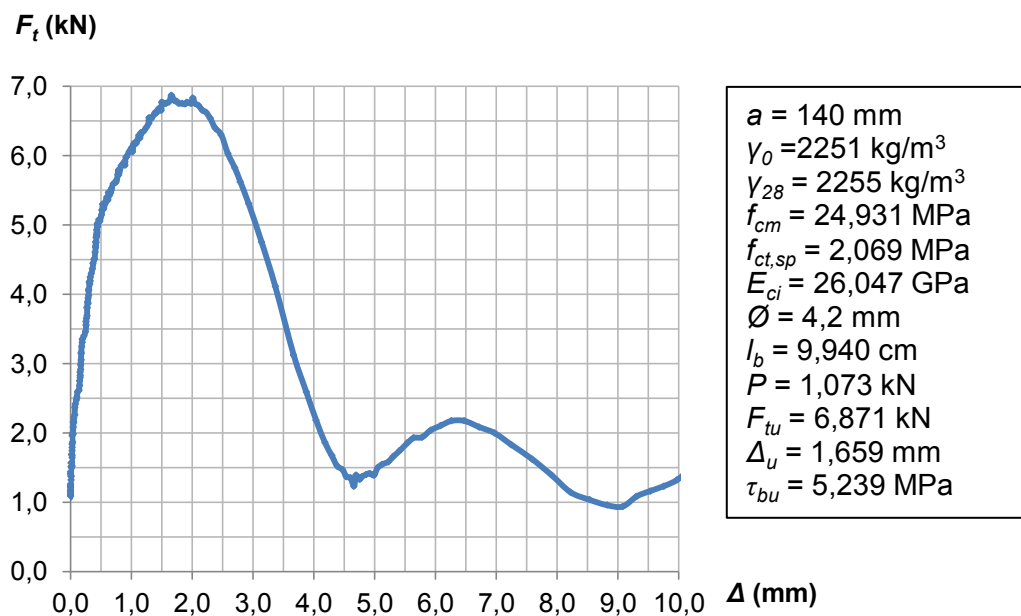
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 127 - CP B8-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 128 - CP B8-1: diagrama F_t - Δ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

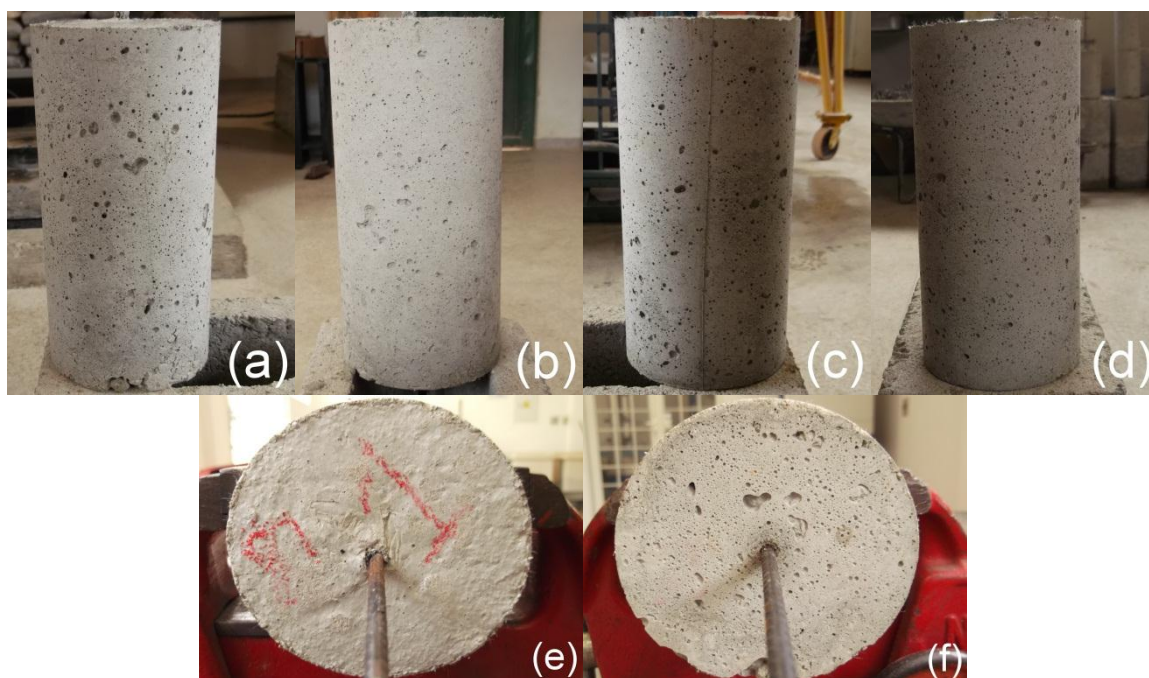
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 124), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 125-e-f e Figura 127).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 125).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 126). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 128).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB1.

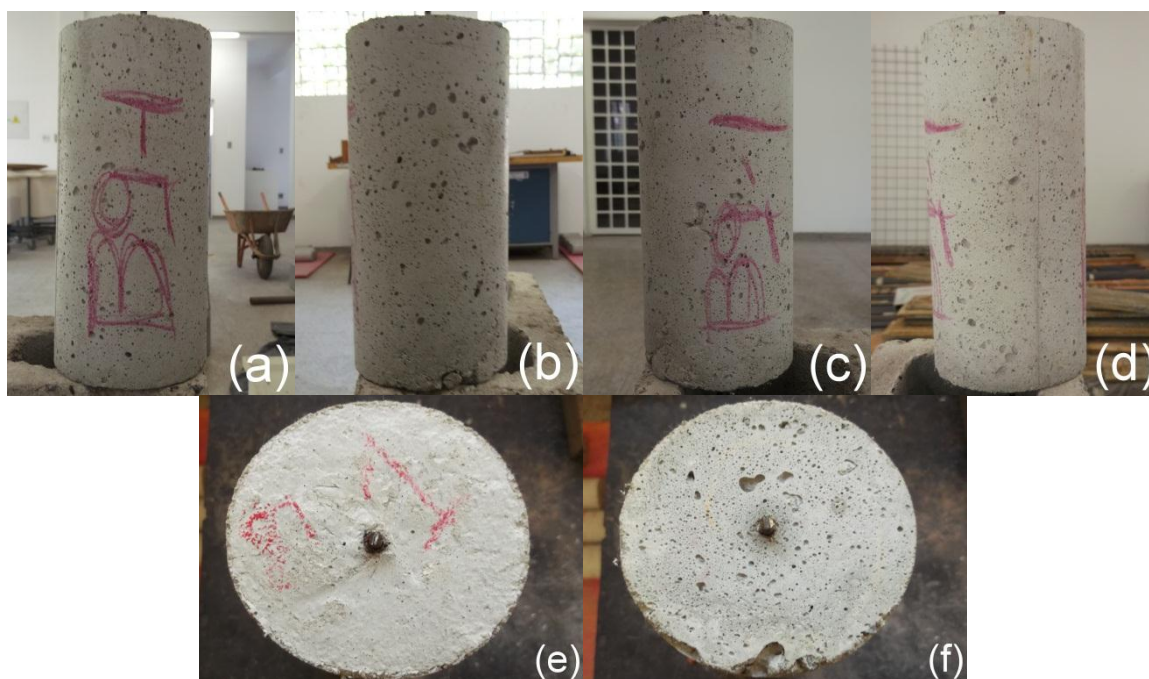
APÊNDICE K – Laudo CP B9-1

Figura 129 - CP B9-1: antes arrancamento (parte externa).



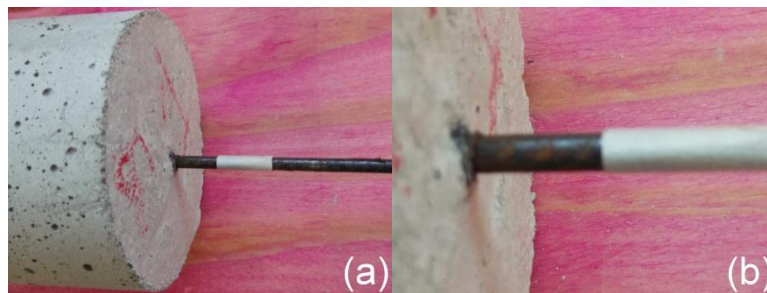
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 130 - CP B9-1: após arrancamento (parte externa).



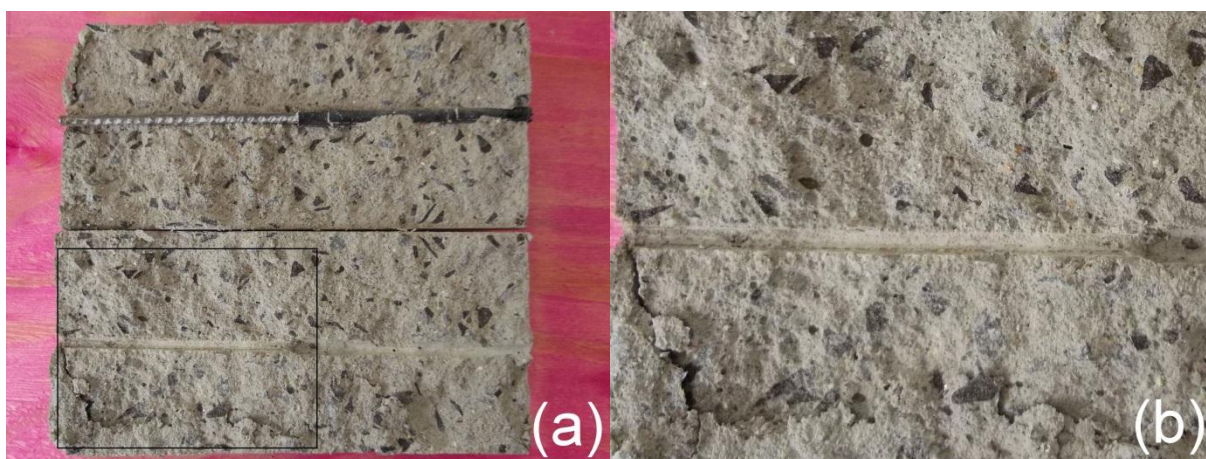
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 131 - CP B9-1: após arrancamento (modo de ruptura).



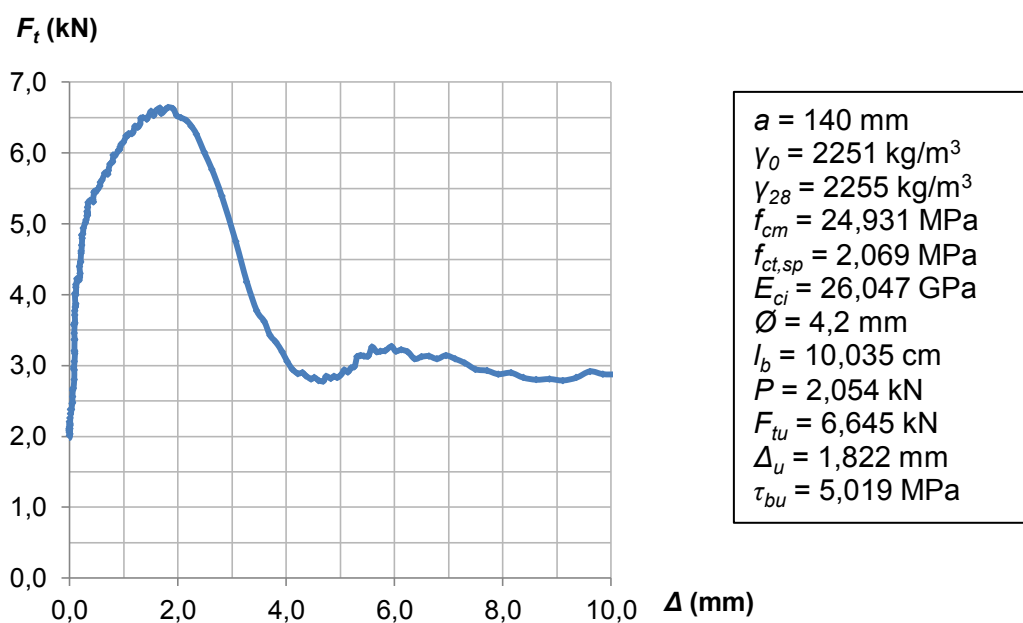
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 132 - CP B9-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 133 - CP B9-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

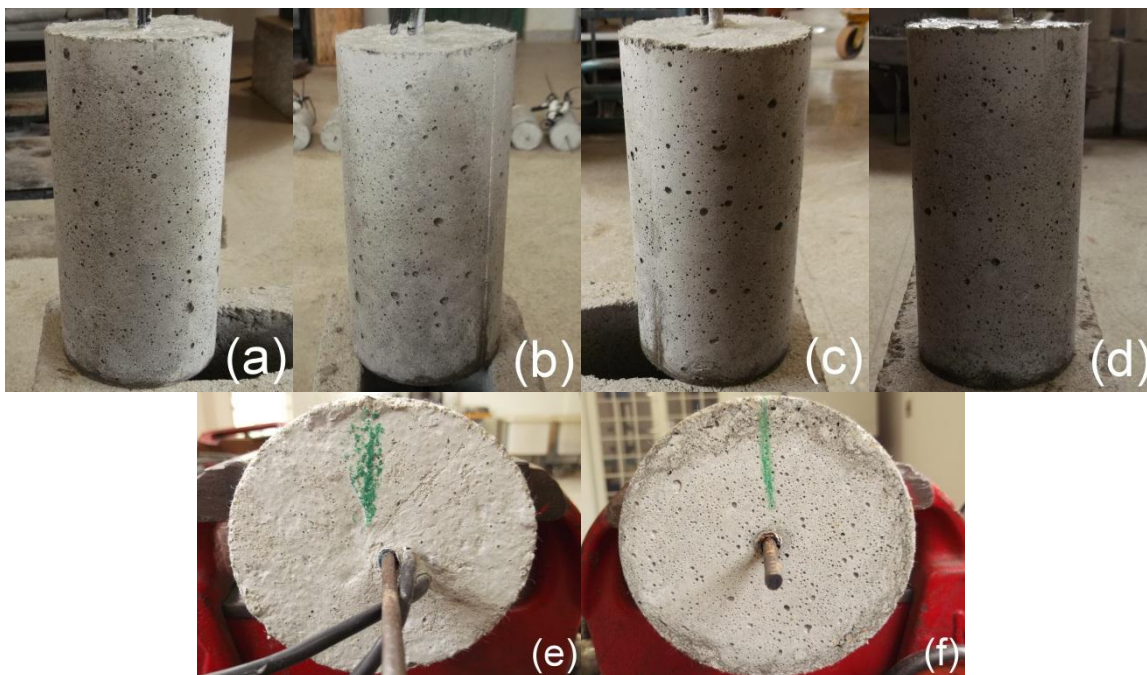
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 129), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 130-e-f e Figura 132-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 130).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 131). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 133).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB1.

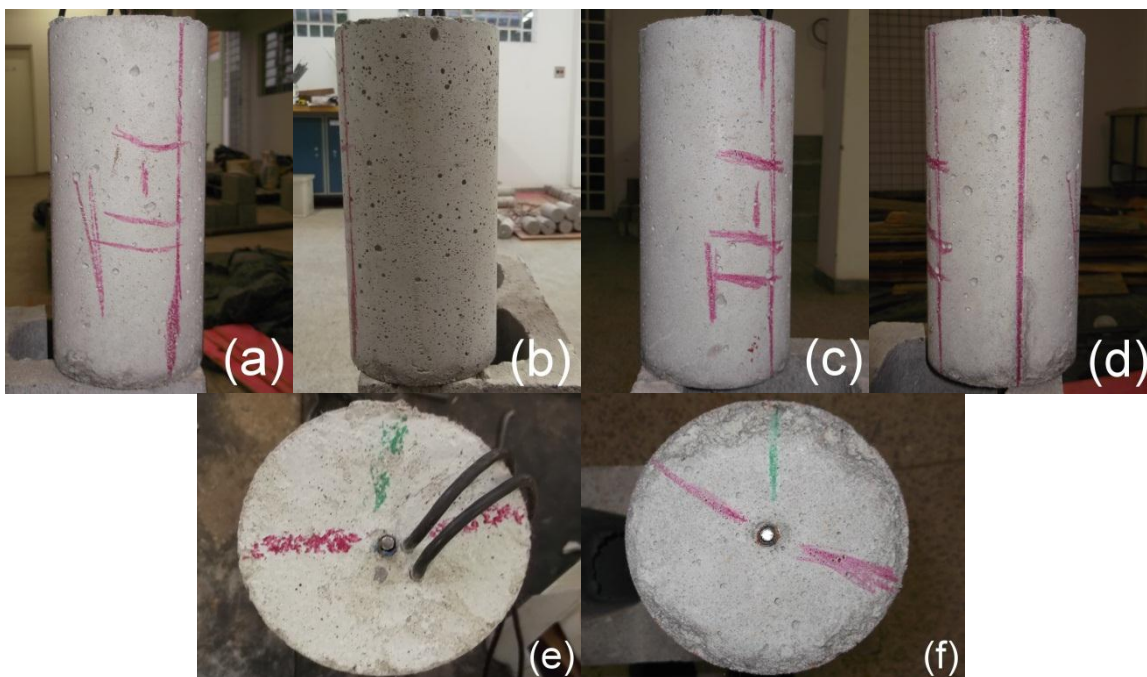
APÊNDICE L – Laudo CP T1-1

Figura 134 - CP T1-1: antes arrancamento (parte externa).



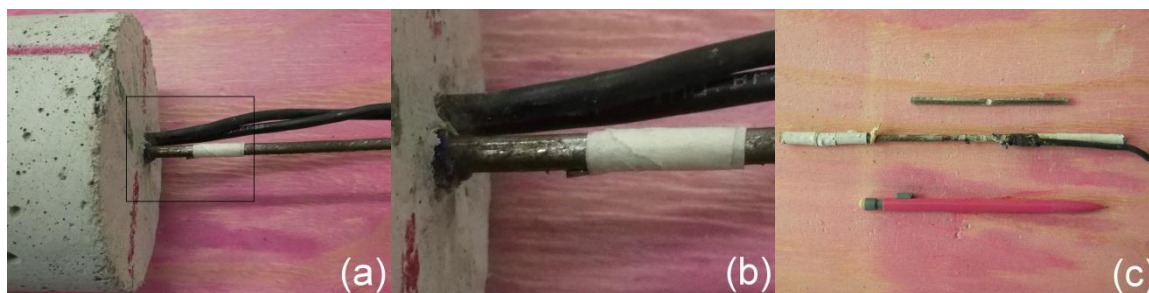
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 135 - CP T1-1: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 136 - CP T1-1: após arrancamento (modo de ruptura).



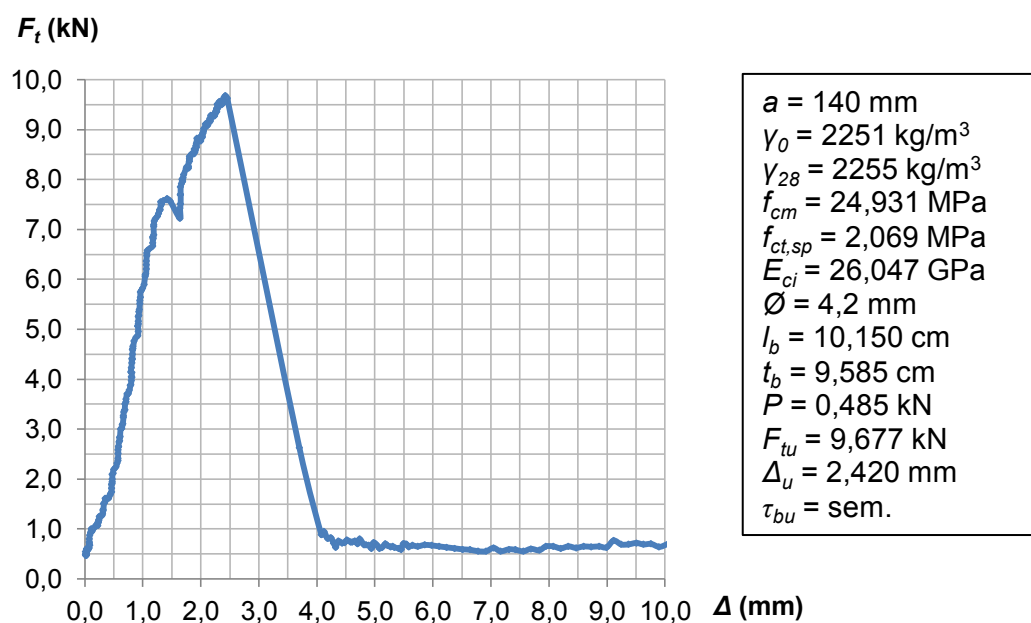
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 137 - CP T1-1: após arrancamento (parte interna).

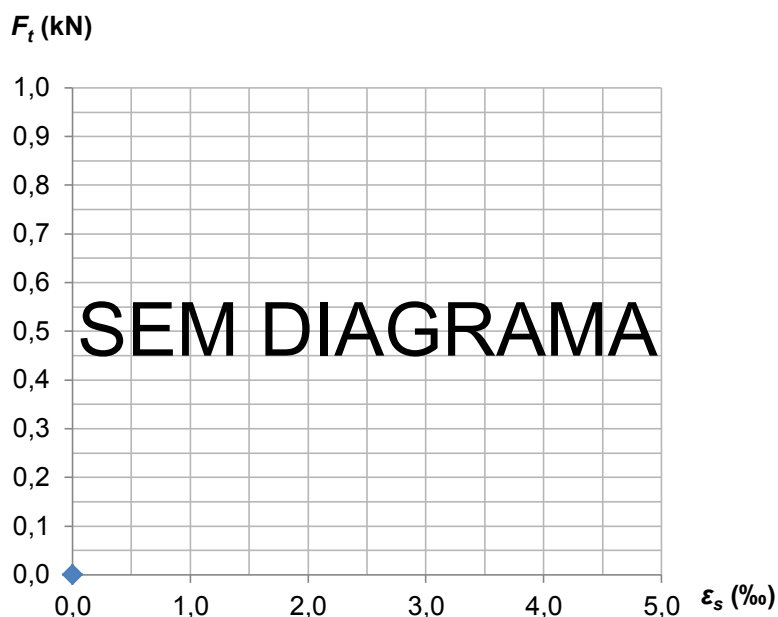


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 138 - CP T1-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 139 - CP T1-1: Diagrama F_t - ε_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

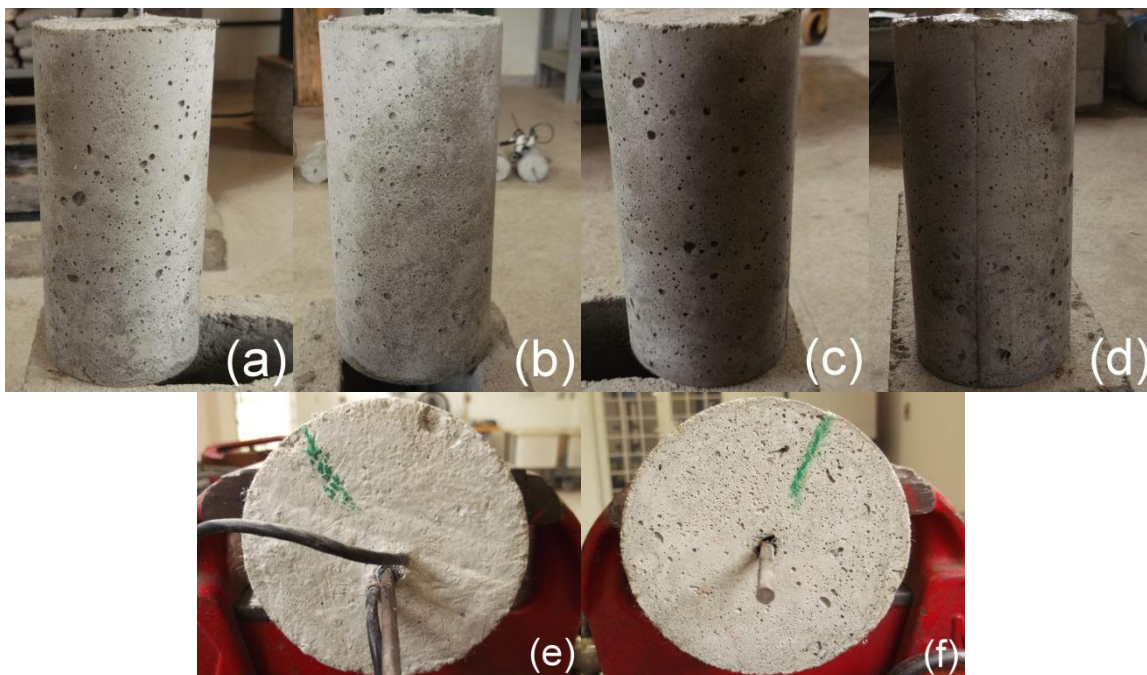
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 134), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 135-e-f, Figura 137-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 135).
- Modo de ruptura observado: ruptura da solda ligando as barras longitudinal e transversal (Figura 136-c), e, em seguida, deslizamento da armadura longitudinal (Figura 136-a-b). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da solda: ver a Figura 138).
- Não foi possível medir as deformações ε_{s-sup} e ε_{s-inf} ao longo do ensaio (provável perda da ligação entre os extensômetros e os cabos de alimentação ocorrida durante o manuseio da armadura ou durante a moldagem do CP).

Conclusão do ensaio:

O valor de F_{tu} obtido para este CP (9,677 kN) é parecido com os valores de F_{tu} obtidos para os CPs da amostra AT1 (CPs com a mesma configuração, mas sem os extensômetros). Portanto, pode-se considerar que a influência da presença dos extensômetros sobre o valor de F_{tu} foi mínima.

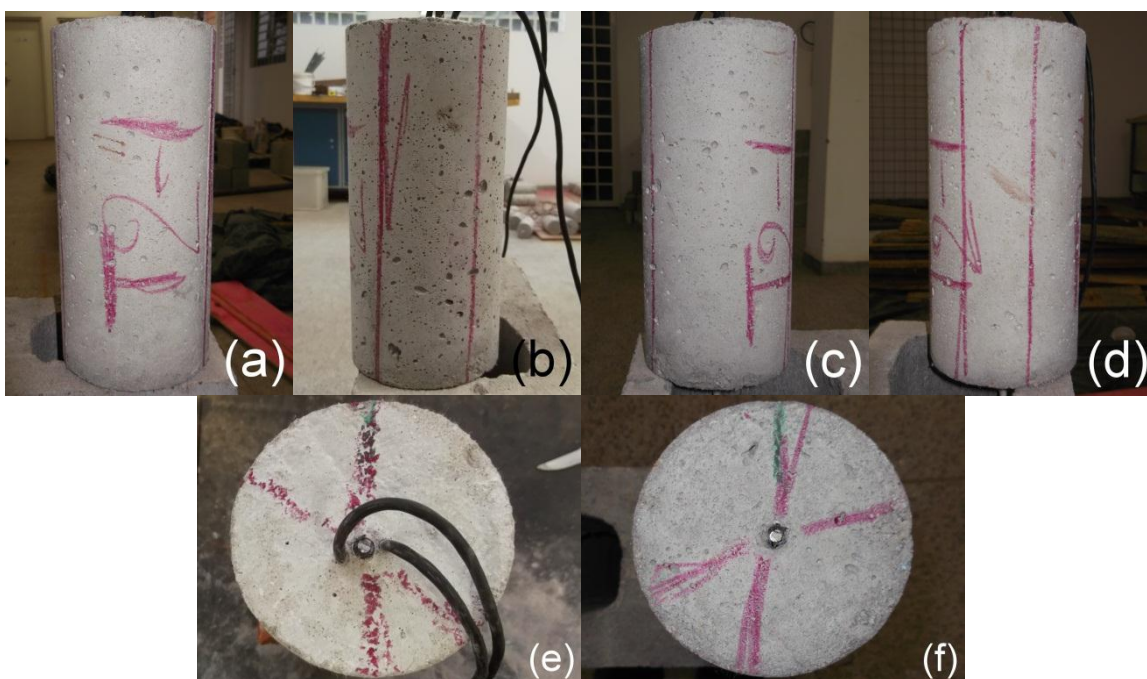
APÊNDICE M – Laudo CP T2-1

Figura 140 - CP T2-1: antes arrancamento (parte externa).



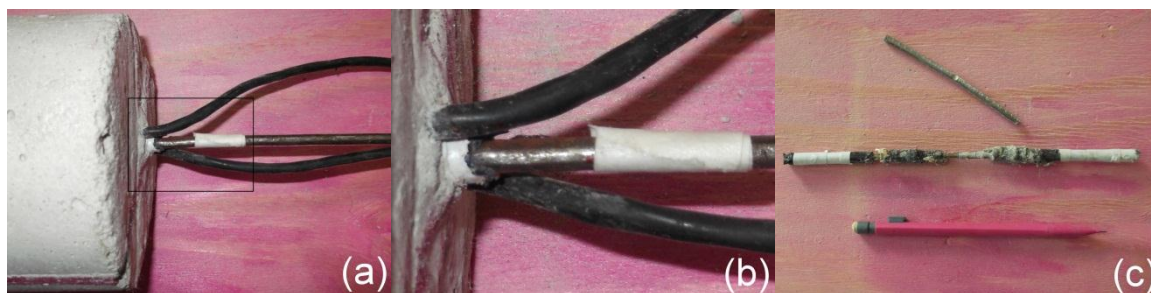
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 141 - CP T2-1: após arrancamento (parte externa).



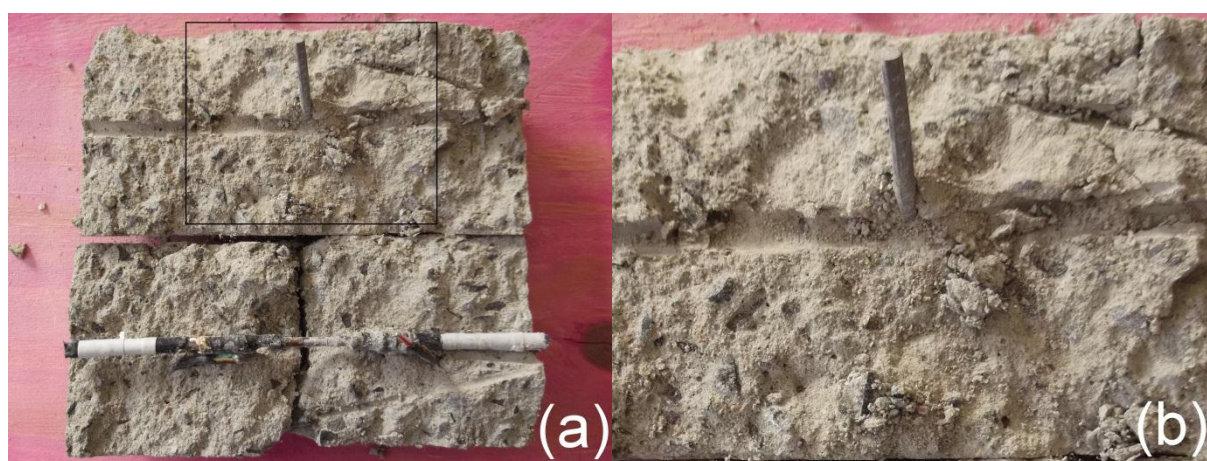
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 142 - CP T2-1: após arrancamento (modo de ruptura).



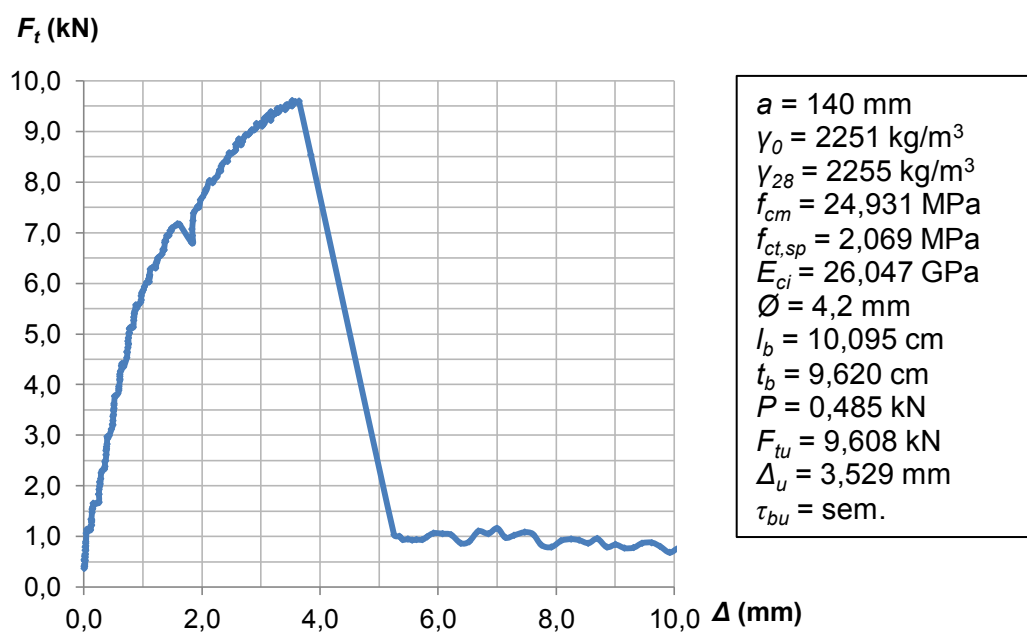
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 143 - CP T2-1: após arrancamento (parte interna).

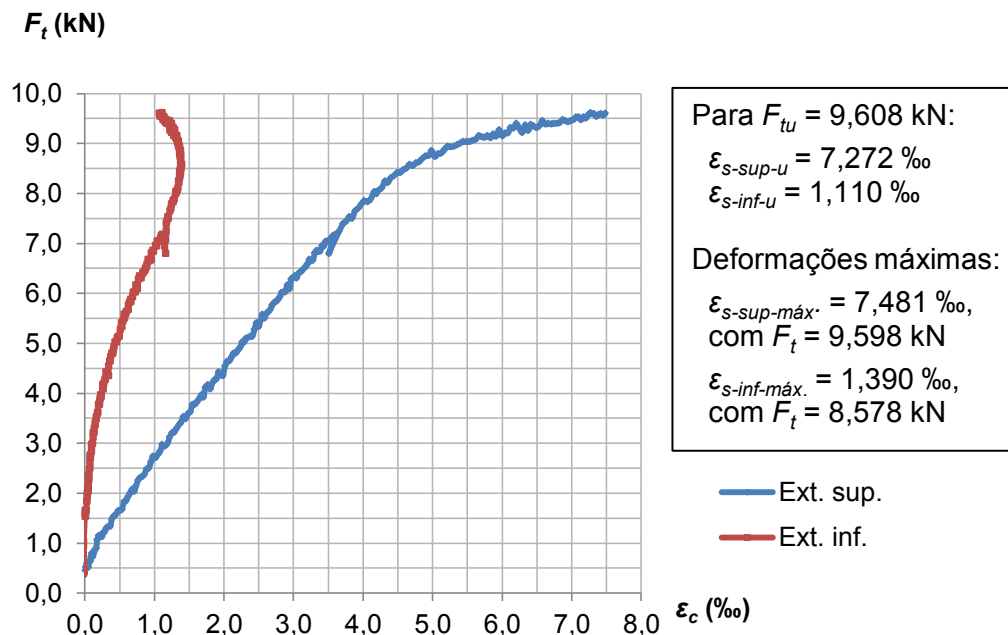


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 144 - CP T2-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 145 - CP T2-1: Diagrama F_t - ϵ_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 140), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 141-e-f, Figura 143-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 141).
- Modo de ruptura observado: ruptura da solda ligando as barras longitudinal e transversal (Figura 142-c), e, em seguida, deslizamento da armadura longitudinal (Figura 142-a-b). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da solda: ver a Figura 144).
- Deformação do extensômetro superior maior que a deformação do extensômetro inferior, isso para qualquer valor de F_t . Deformação máxima do extensômetro inferior ($\epsilon_{s-inf-máx.}$) atingida com um valor de F_t (8,578 kN) menor que o valor de F_{tu} (9,608

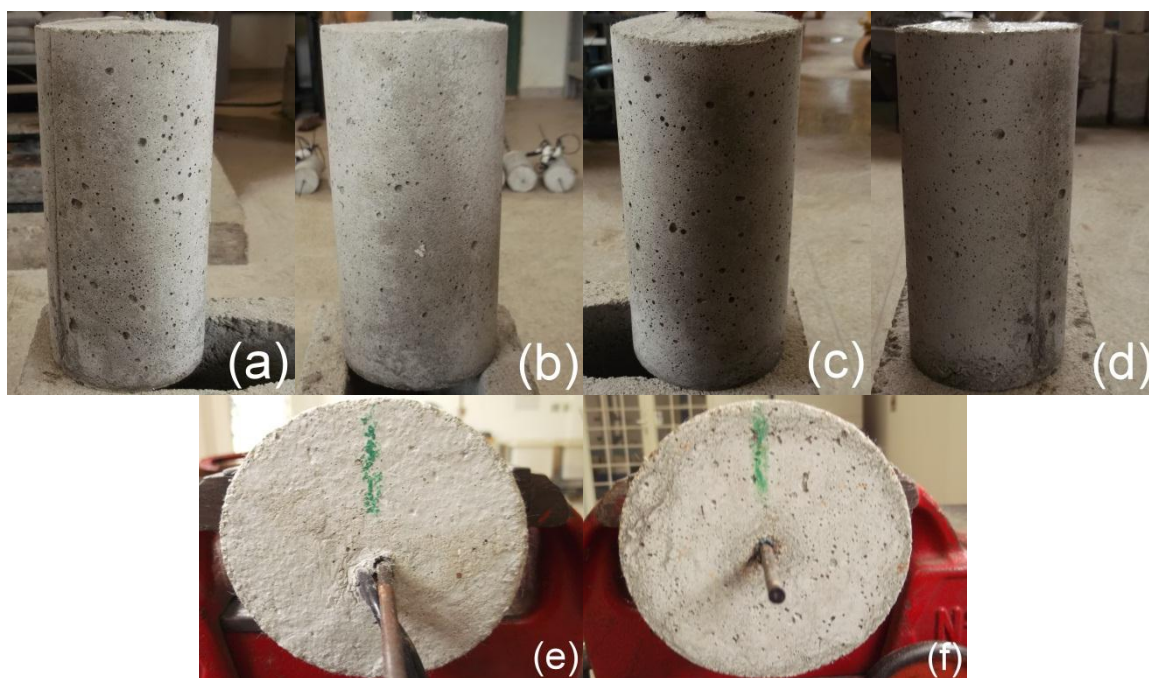
kN). Deformação máxima do extensômetro superior ($\epsilon_{s-sup-m\acute{a}x.}$) atingida com um valor de F_t (9,598 kN) próximo ao valor de F_{tu} (9,608 kN).

Conclusão do ensaio:

O valor de F_{tu} obtido para este CP (9,608 kN) é parecido com os valores de F_{tu} obtidos para os CPs da amostra AT1 (CPs com a mesma configuração, mas sem os extensômetros). Portanto, pode-se considerar que a influência da presença dos extensômetros sobre o valor de F_{tu} foi mínima.

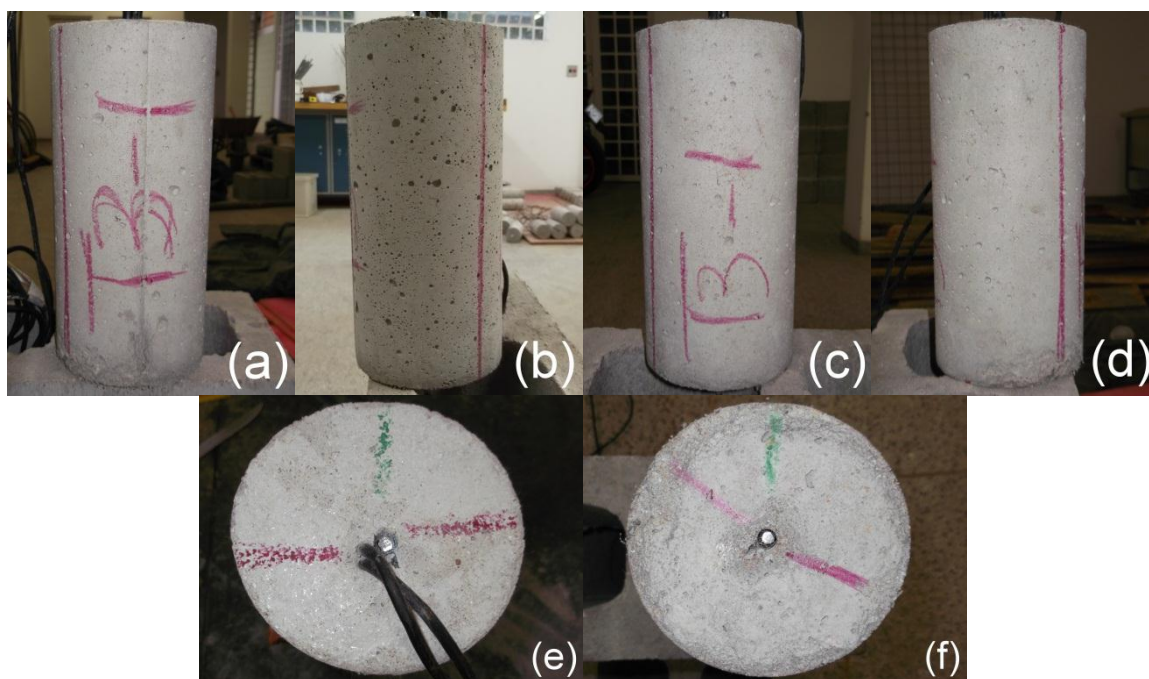
APÊNDICE N – Laudo CP T3-1

Figura 146 - CP T3-1: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 147 - CP T3-1: após arrancamento (parte externa).



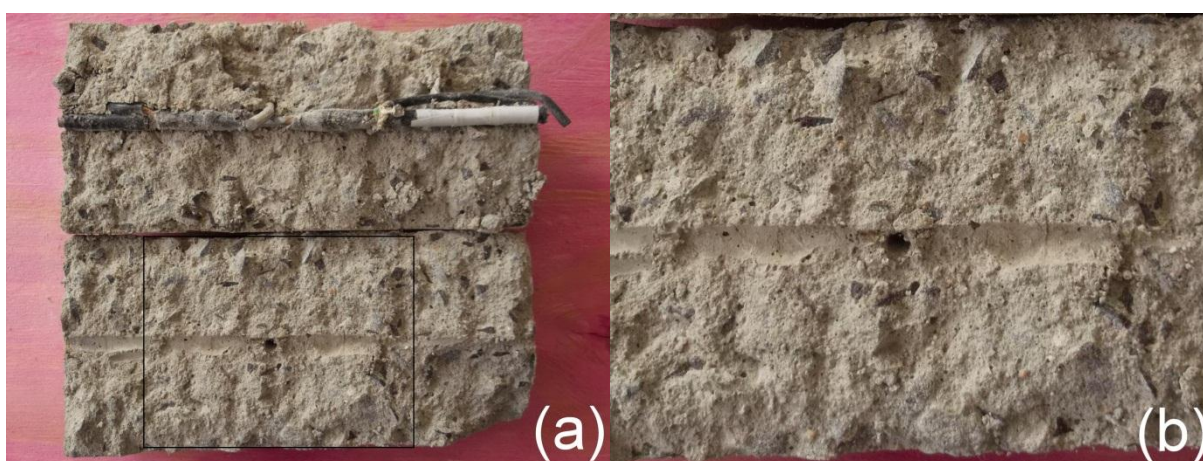
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 148 - CP T3-1: após arrancamento (modo de ruptura).



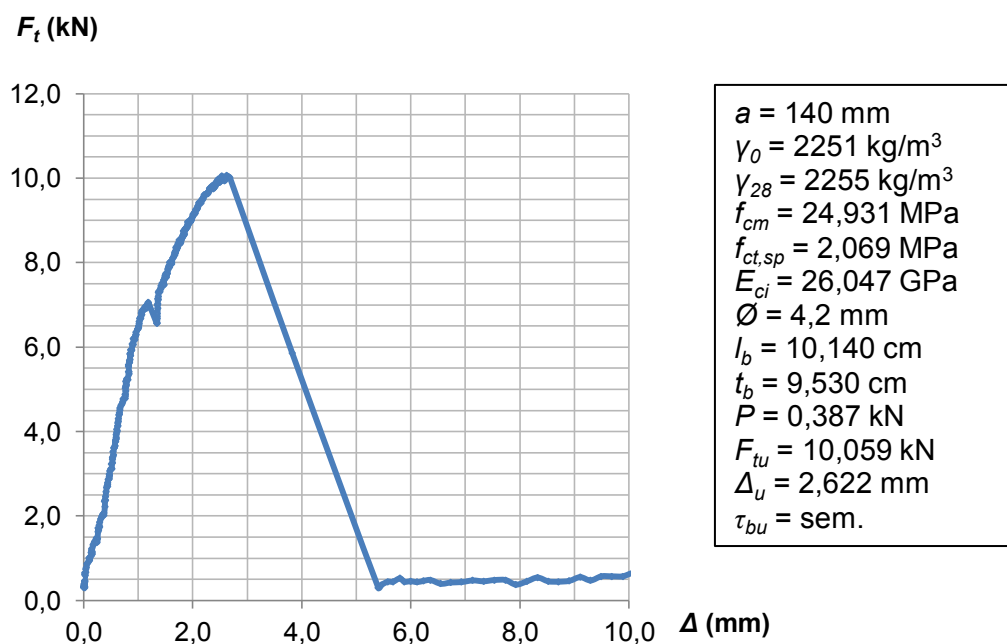
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 149 - CP T3-1: após arrancamento (parte interna).

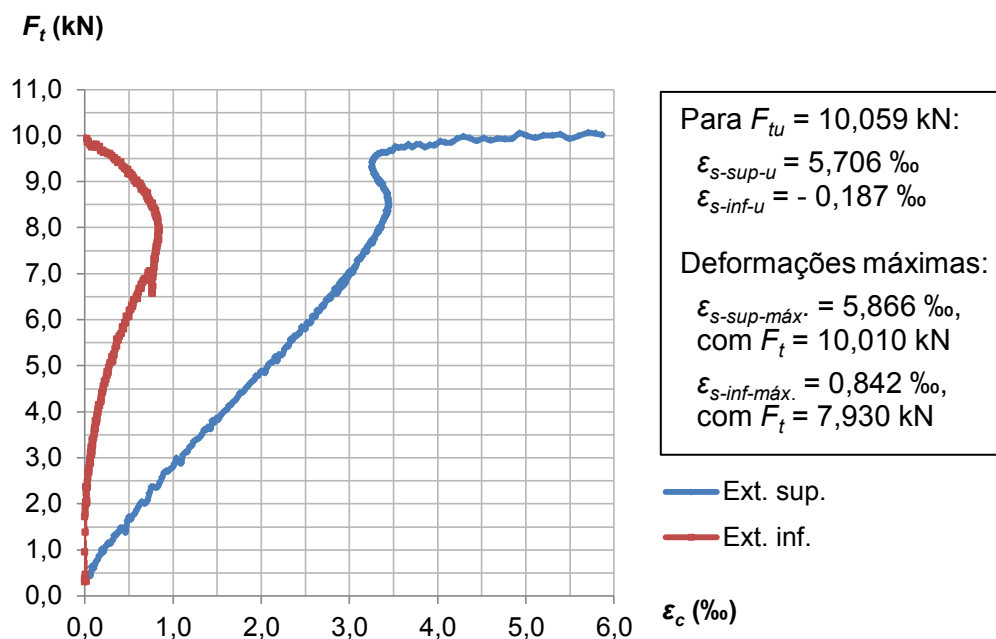


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 150 - CP T3-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 151 - CP T3-1: Diagrama F_t - ε_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 146), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 147-e-f, Figura 149-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 147).
- Modo de ruptura observado: ruptura da solda ligando as barras longitudinal e transversal (Figura 148-c), e, em seguida, deslizamento da armadura longitudinal (Figura 148-a-b). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da solda: ver a Figura 150).
- Deformação do extensômetro superior maior que a deformação do extensômetro inferior, isso para qualquer valor de F_t . Deformação máxima do extensômetro inferior ($\varepsilon_{s-inf-máx.}$) atingida com um valor de F_t (7,930 kN) menor que o valor de F_{tu} (10,059

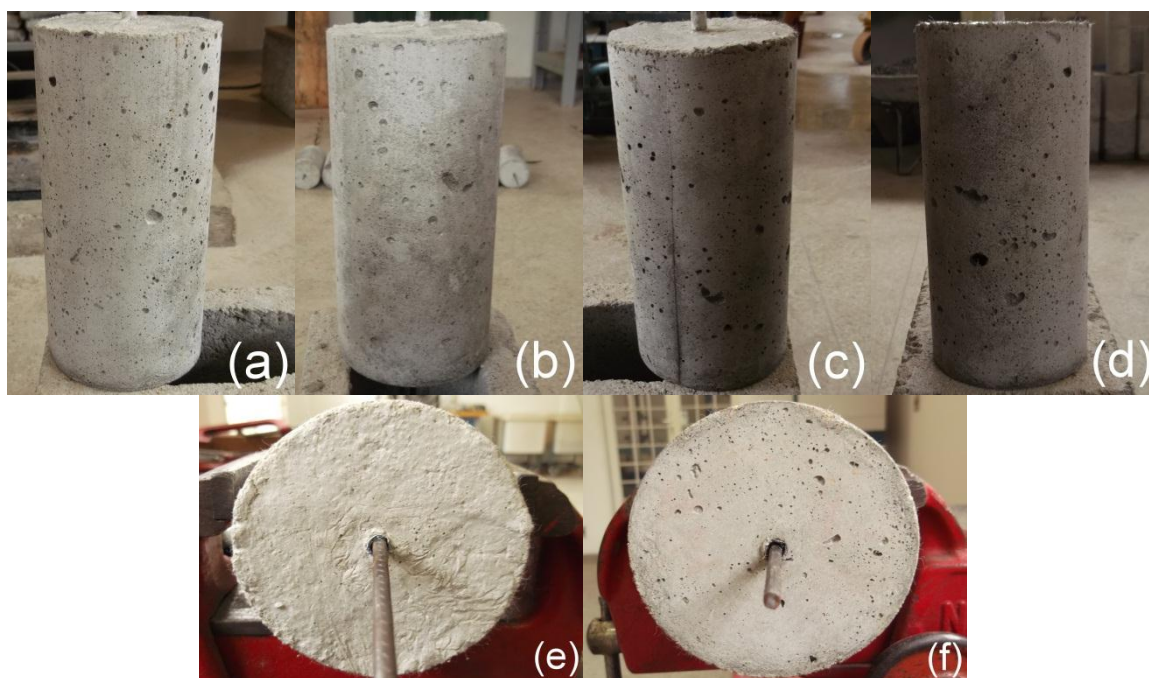
kN). Deformação máxima do extensômetro superior ($\epsilon_{s-sup-m\acute{a}x.}$) atingida com um valor de F_t (10,010 kN) próximo ao valor de F_{tu} (10,059 kN).

Conclusão do ensaio:

O valor de F_{tu} obtido para este CP (10,059 kN) é parecido com os valores de F_{tu} obtidos para os CPs da amostra AT1 (CPs com a mesma configuração, mas sem os extensômetros). Portanto, pode-se considerar que a influência da presença dos extensômetros sobre o valor de F_{tu} foi mínima.

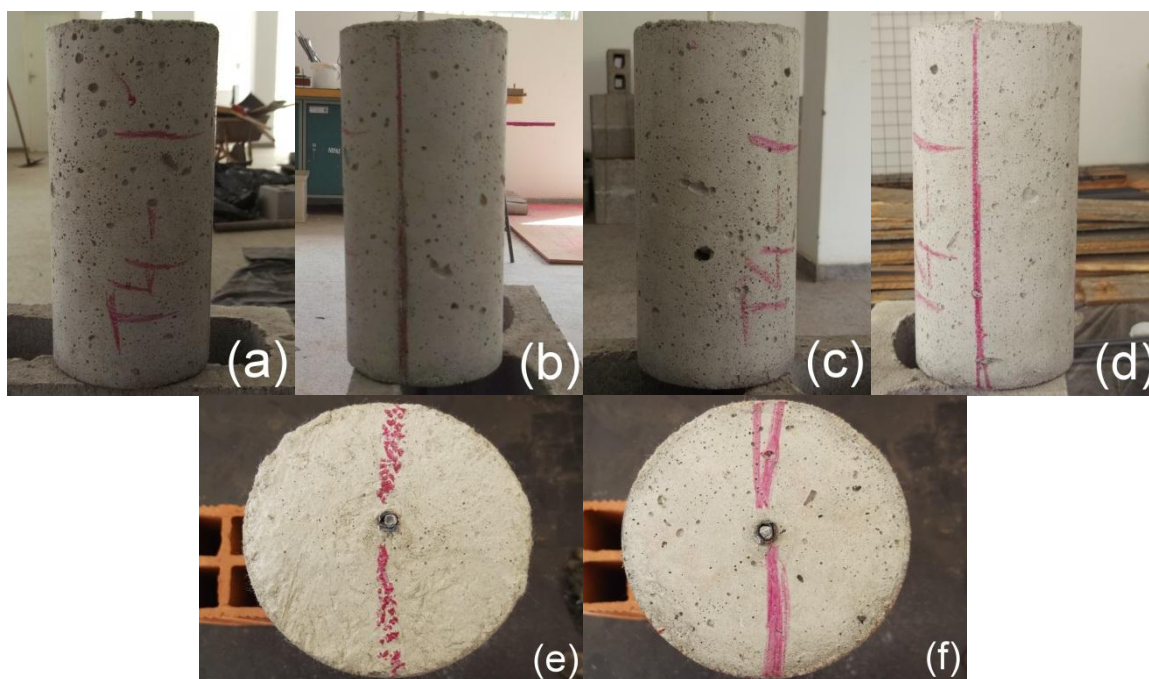
APÊNDICE O – Laudo CP T4-1

Figura 152 - CP T4-1: antes arrancamento (parte externa).



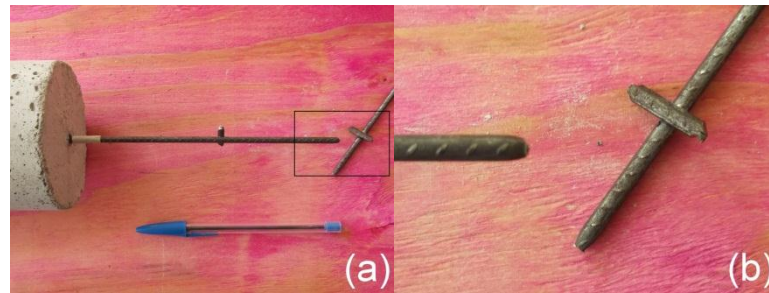
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 153 - CP T4-1: após arrancamento (parte externa).



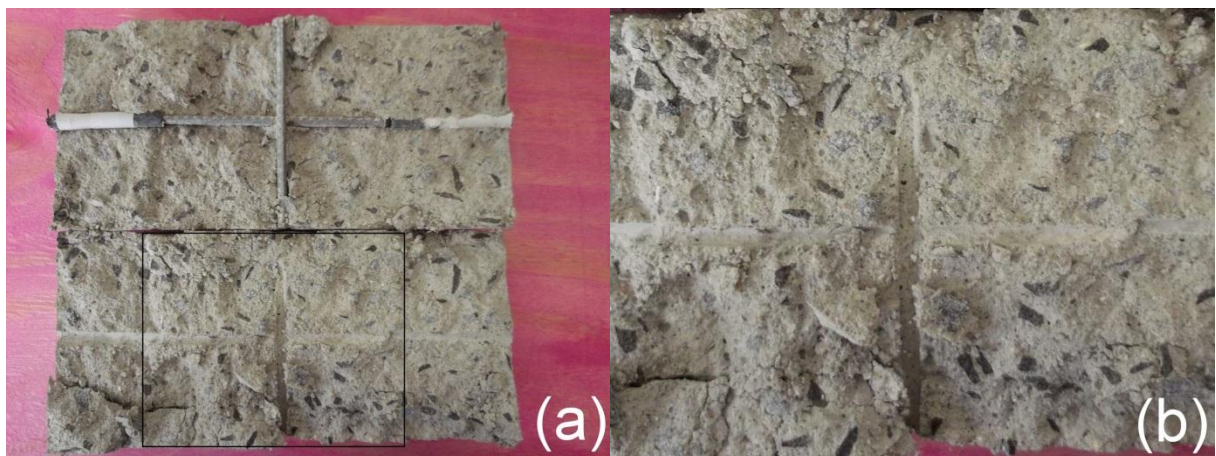
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 154 - CP T4-1: após arrancamento (modo de ruptura).



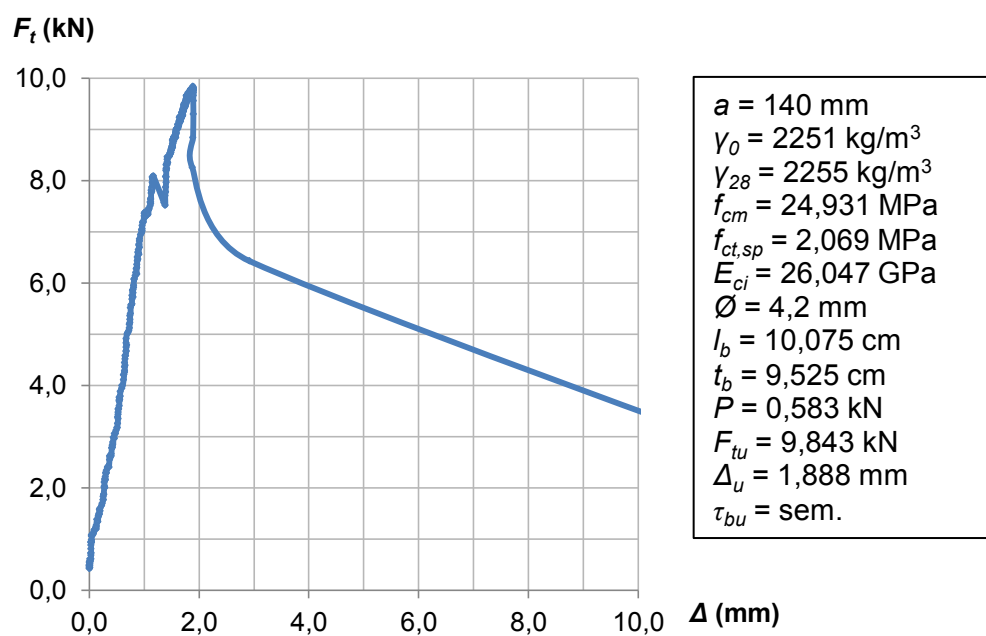
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 155 - CP T4-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 156 - CP T4-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

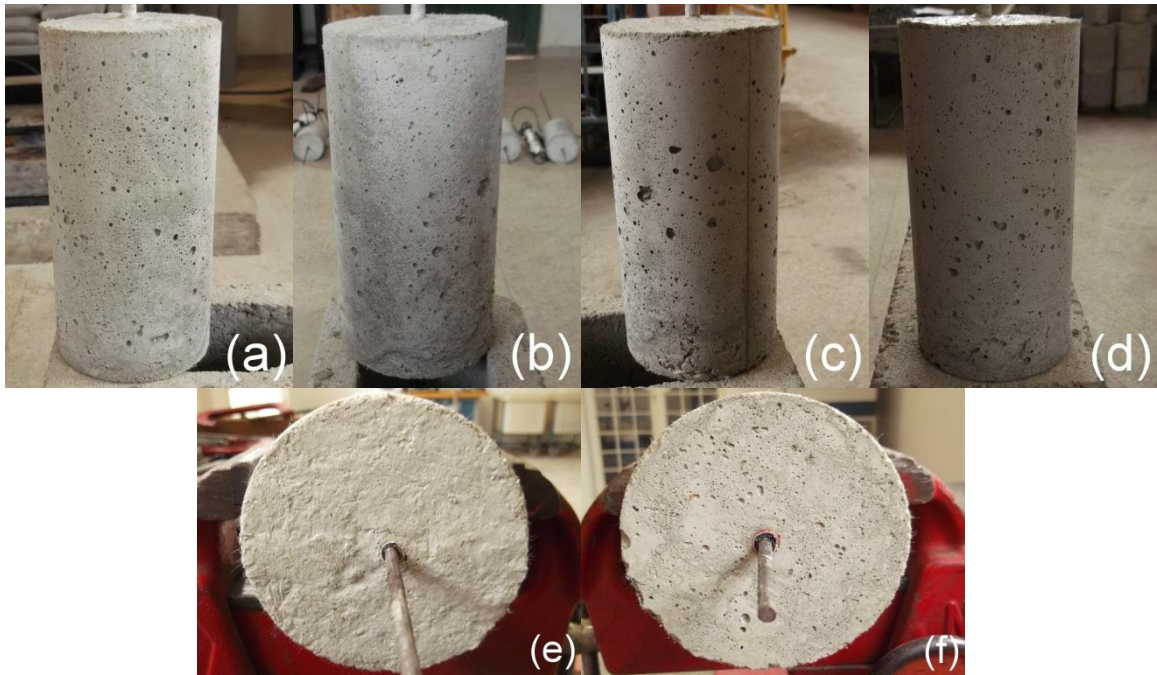
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 152), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 153-e-f, Figura 155-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 153).
- Modo de ruptura observado: ruptura da armadura fora do cilindro de concreto (Figura 154). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da armadura: ver a Figura 156).

Conclusão do ensaio:

CP com o menor F_{tu} da amostra AT1 (9,843 kN), sem proposta para justificar. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra.

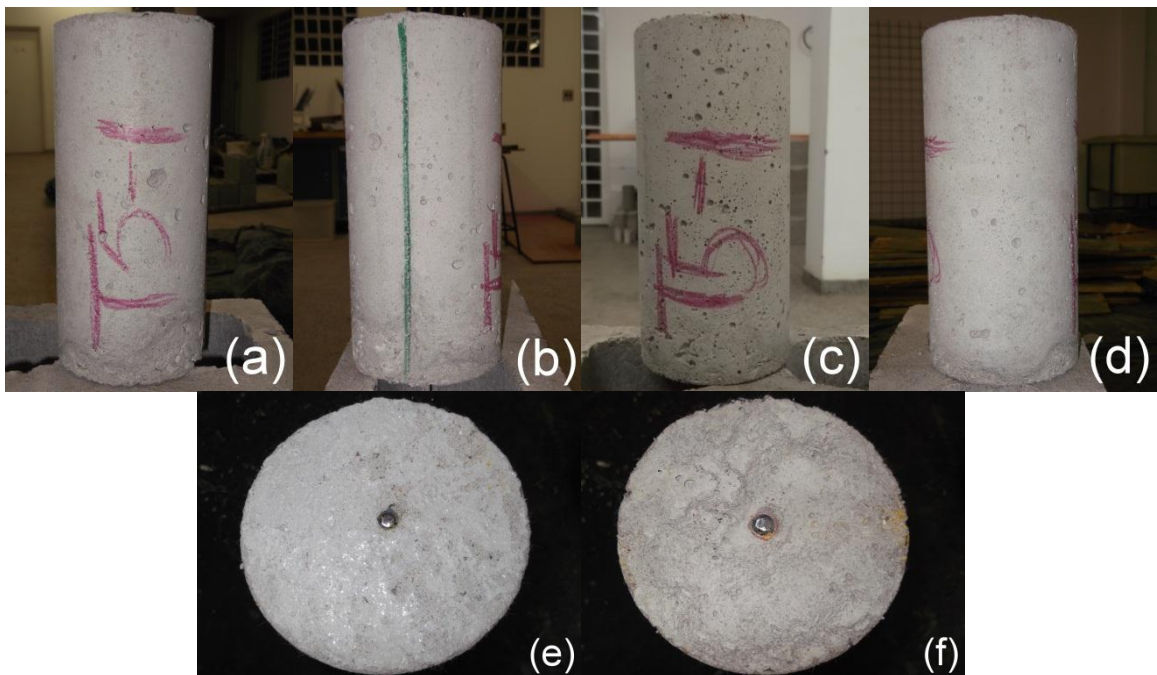
APÊNDICE P – Laudo CP T5-1

Figura 157 - CP T5-1: antes arrancamento (parte externa).



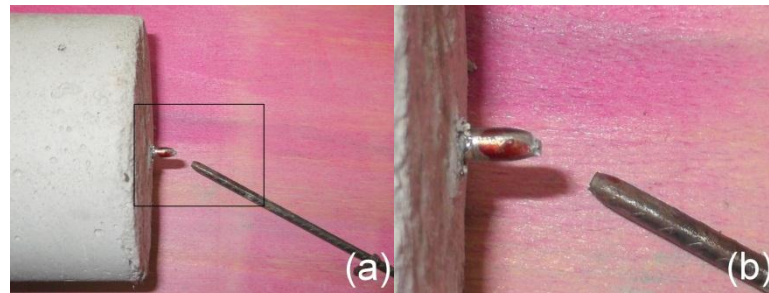
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 158 - CP T5-1: após arrancamento (parte externa).



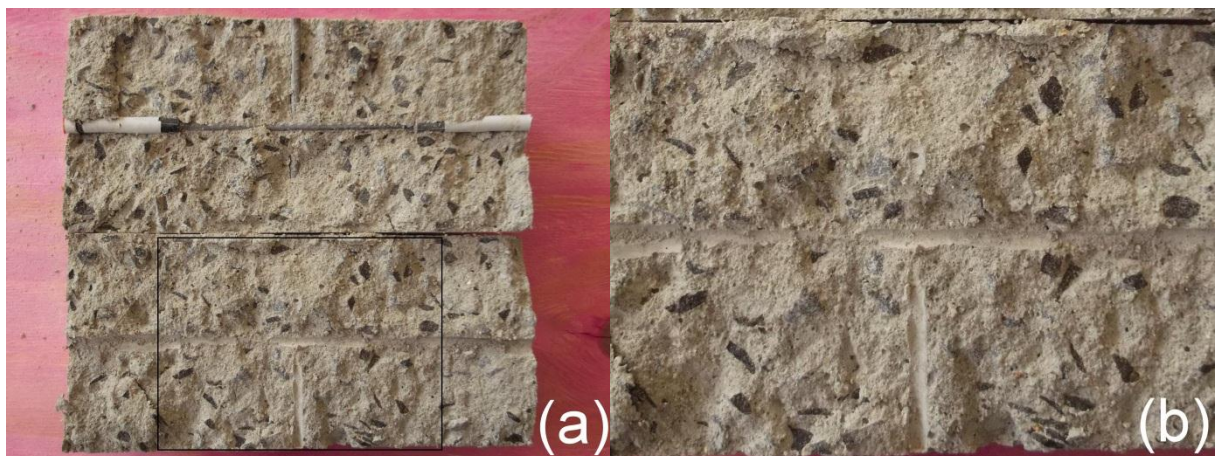
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 159 - CP T5-1: após arrancamento (modo de ruptura).



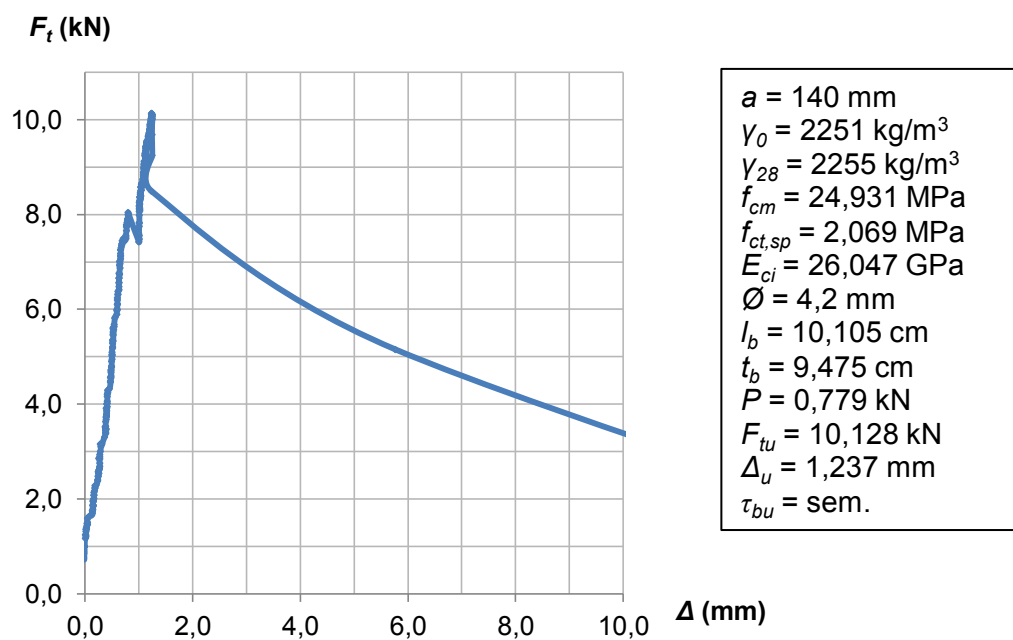
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 160 - CP T5-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 161 - CP T5-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

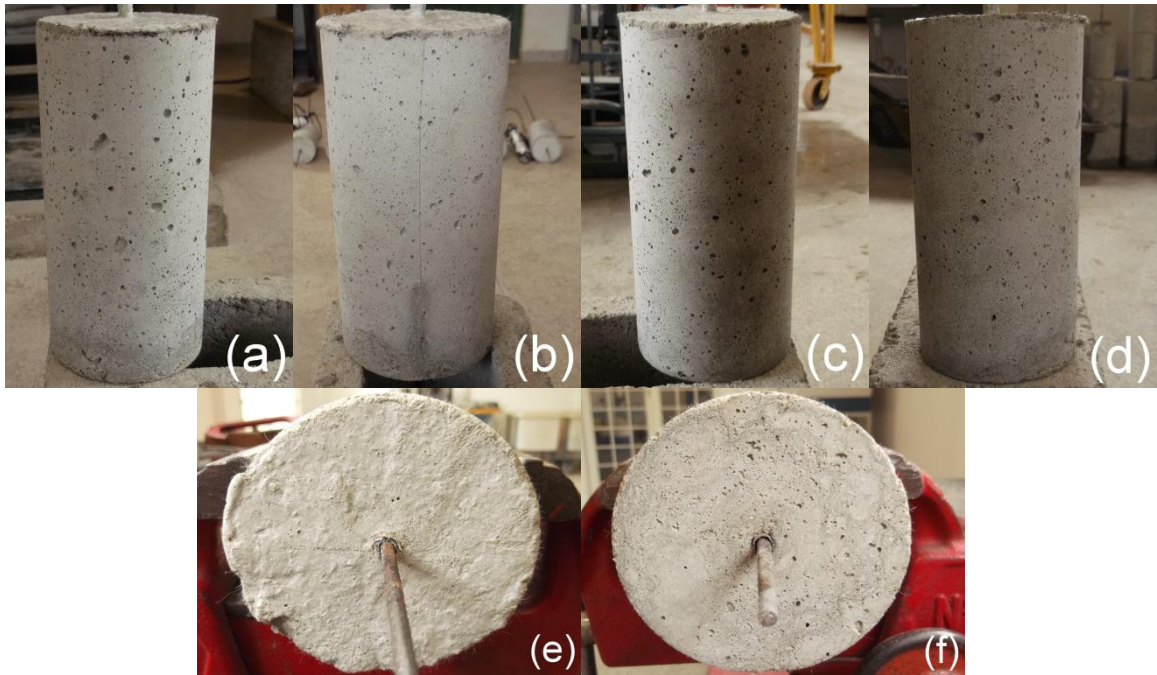
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 157), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 158-e-f, Figura 160-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 158).
- Modo de ruptura observado: ruptura da armadura fora do cilindro de concreto (Figura 159). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da armadura: ver a Figura 161).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT1.

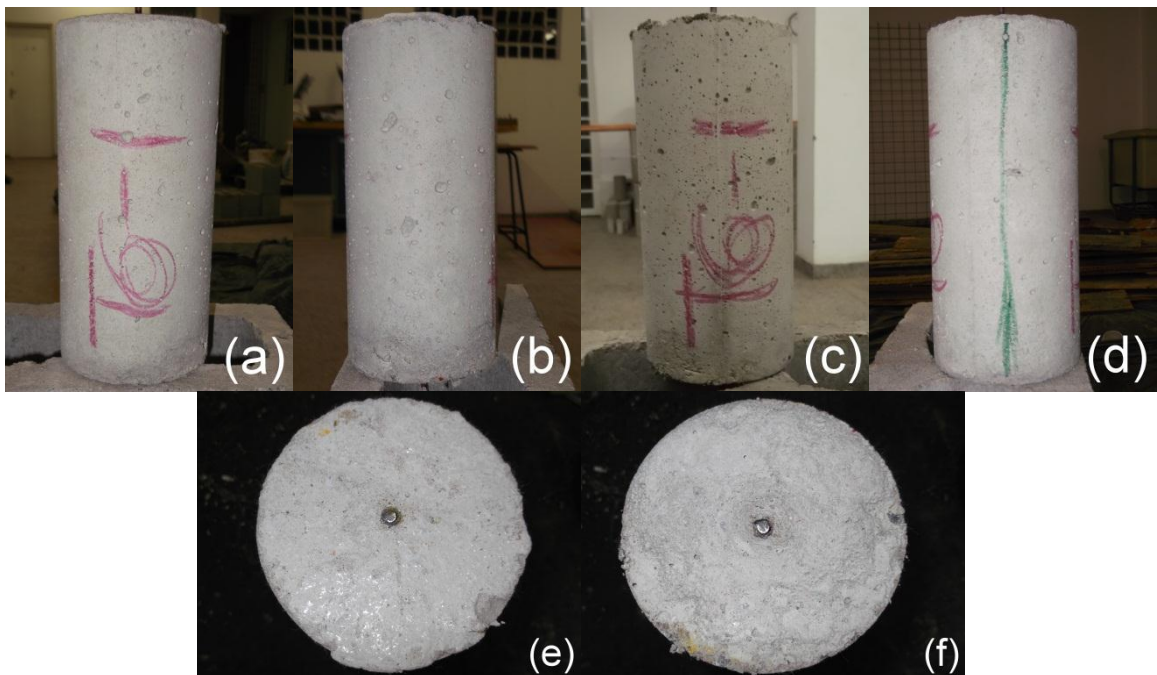
APÊNDICE Q – Laudo CP T6-1

Figura 162 - CP T6-1: antes arrancamento (parte externa).



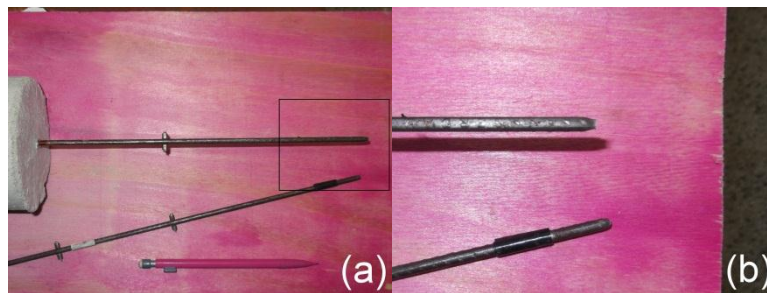
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 163 - CP T6-1: após arrancamento (parte externa).



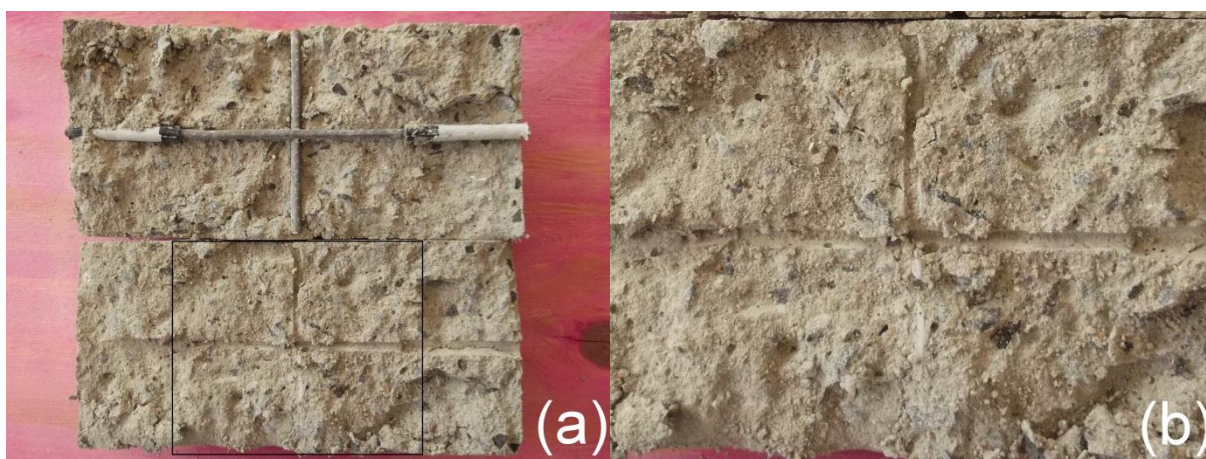
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 164 - CP T6-1: após arrancamento (modo de ruptura).



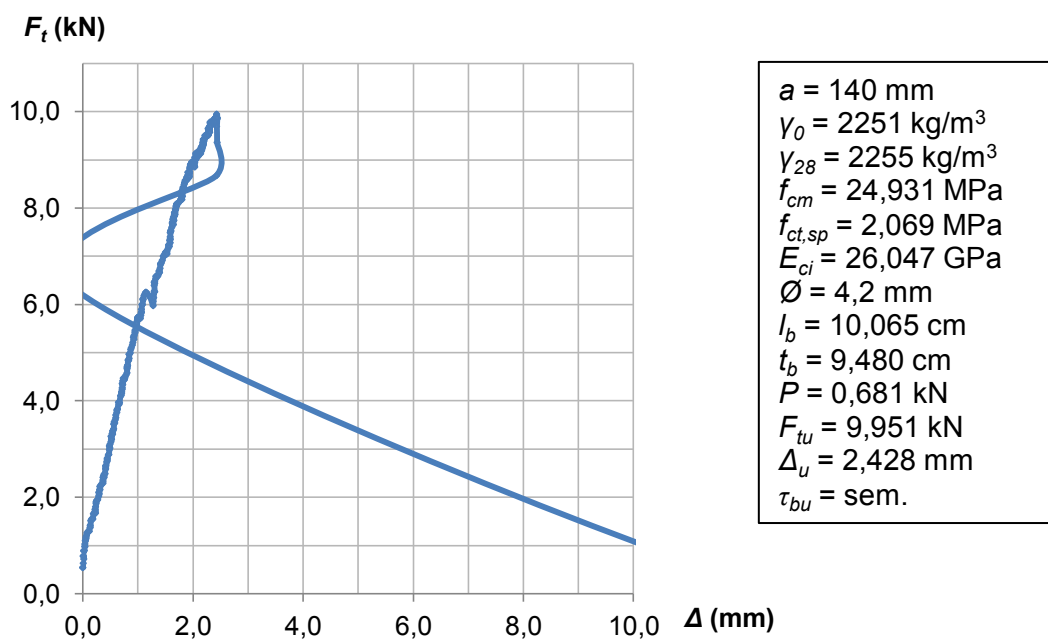
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 165 - CP T6-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 166 - CP T6-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

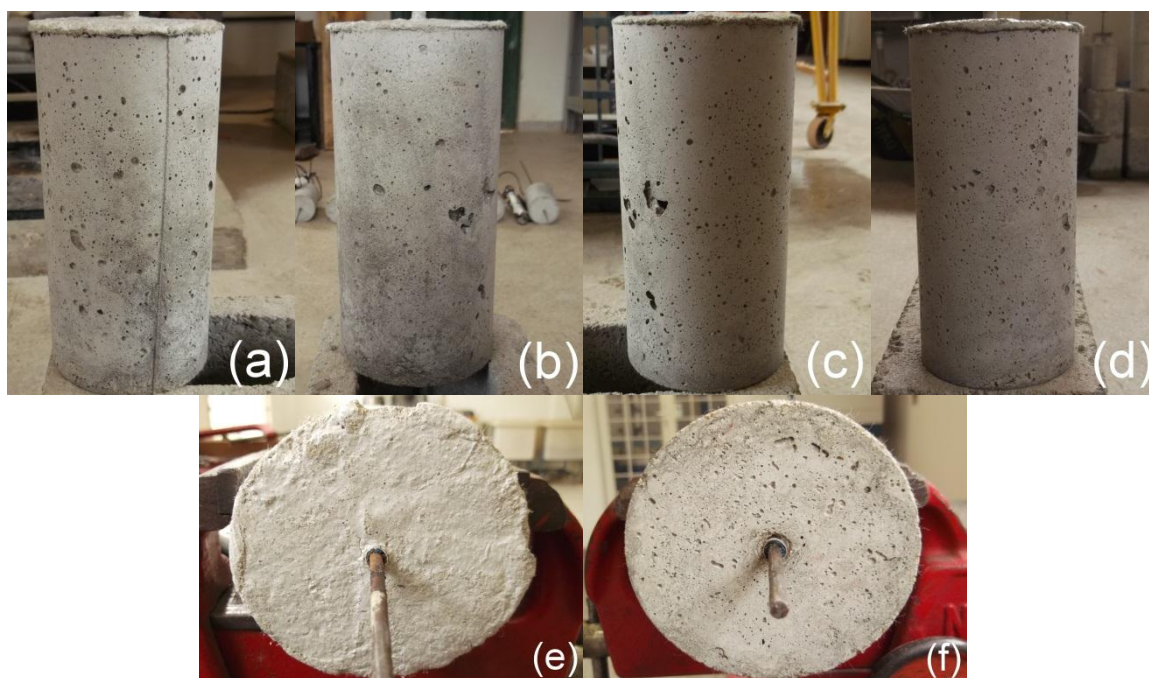
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 162), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 163-e-f, Figura 165-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 163).
- Modo de ruptura observado: ruptura da armadura fora do cilindro de concreto (Figura 164). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da armadura: ver a Figura 166).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT1.

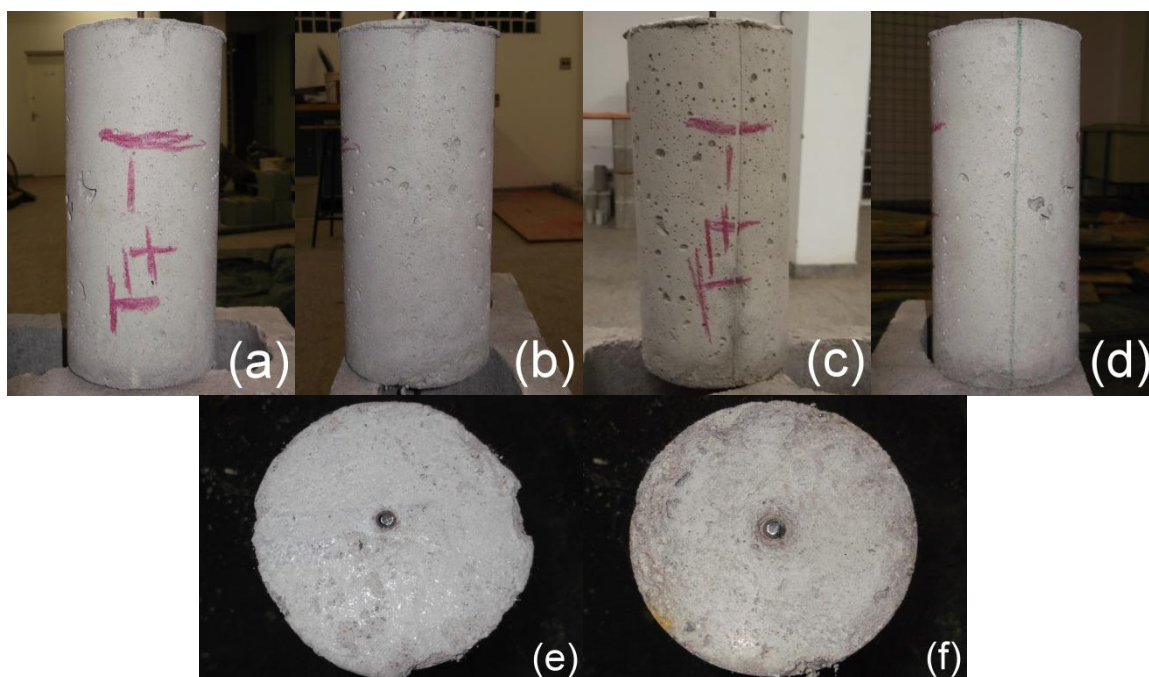
APÊNDICE R – Laudo CP T7-1

Figura 167 - CP T7-1: antes arrancamento (parte externa).



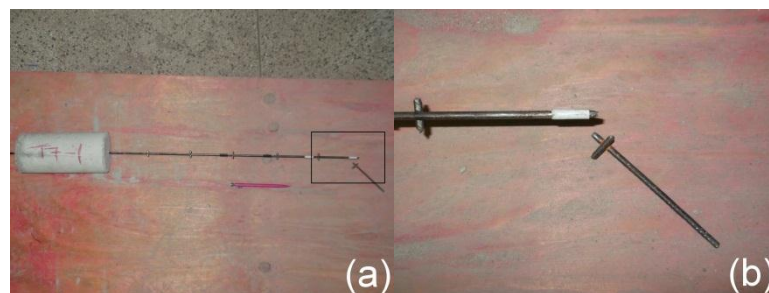
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 168 - CP T7-1: após arrancamento (modo de ruptura).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 169 - CP T7-1: após arrancamento (modo de ruptura).



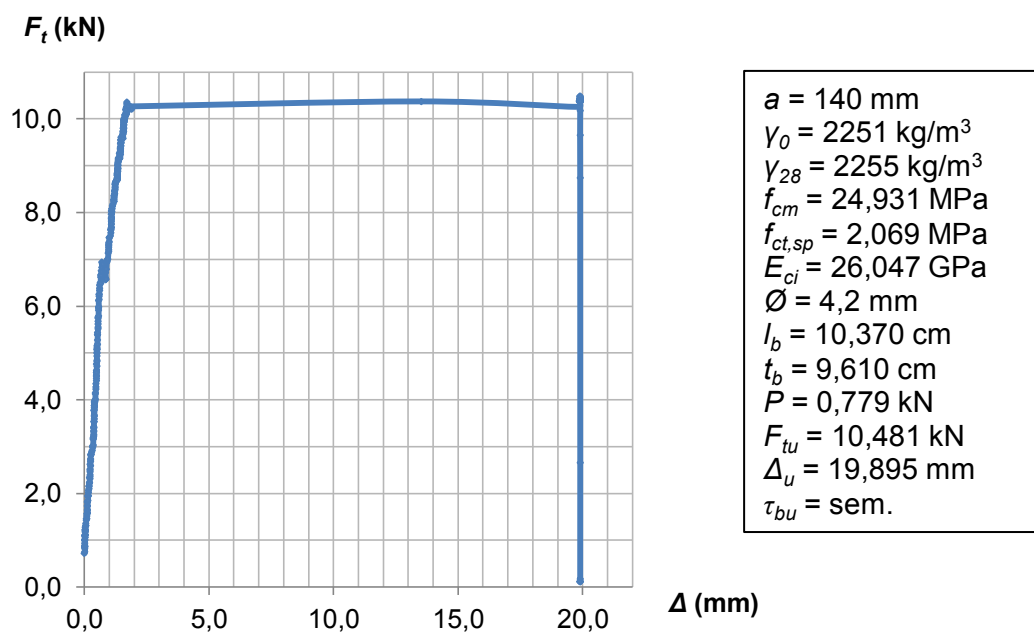
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 170 - CP T7-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 171 - CP T7-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

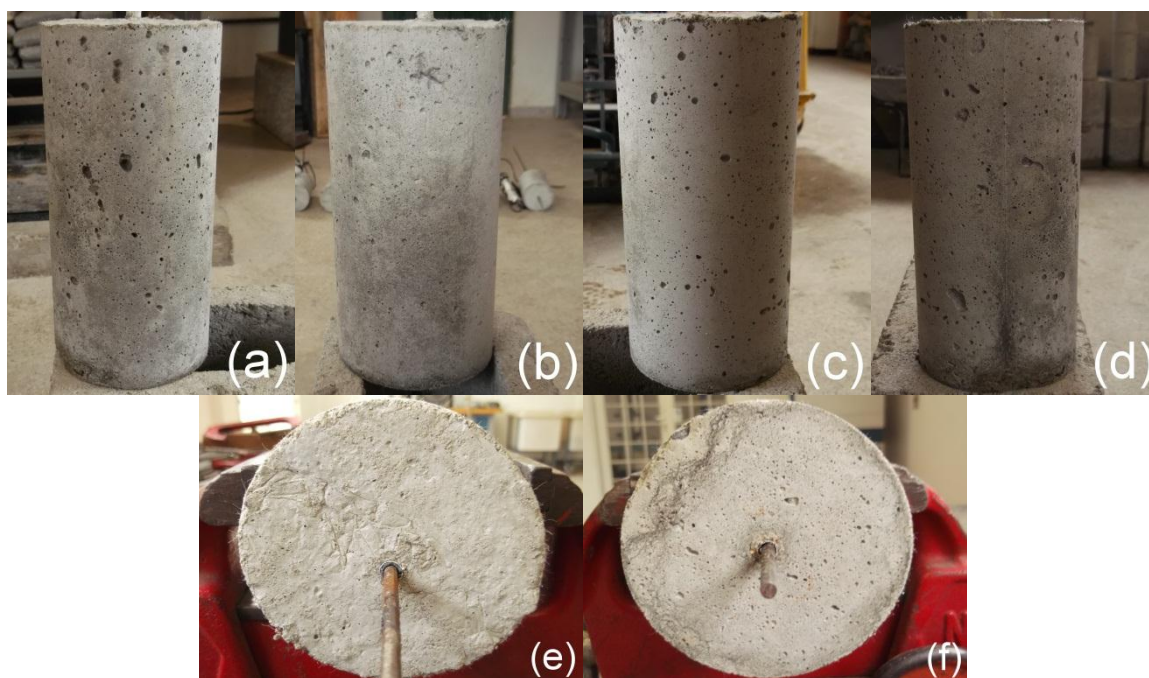
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 167), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 168-e-f, Figura 170-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 168).
- Modo de ruptura observado: ruptura da armadura fora do cilindro de concreto (Figura 169). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da armadura: ver a Figura 171).

Conclusão do ensaio:

CP com o maior F_{tu} da amostra AT1 (10,481 kN). Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT1.

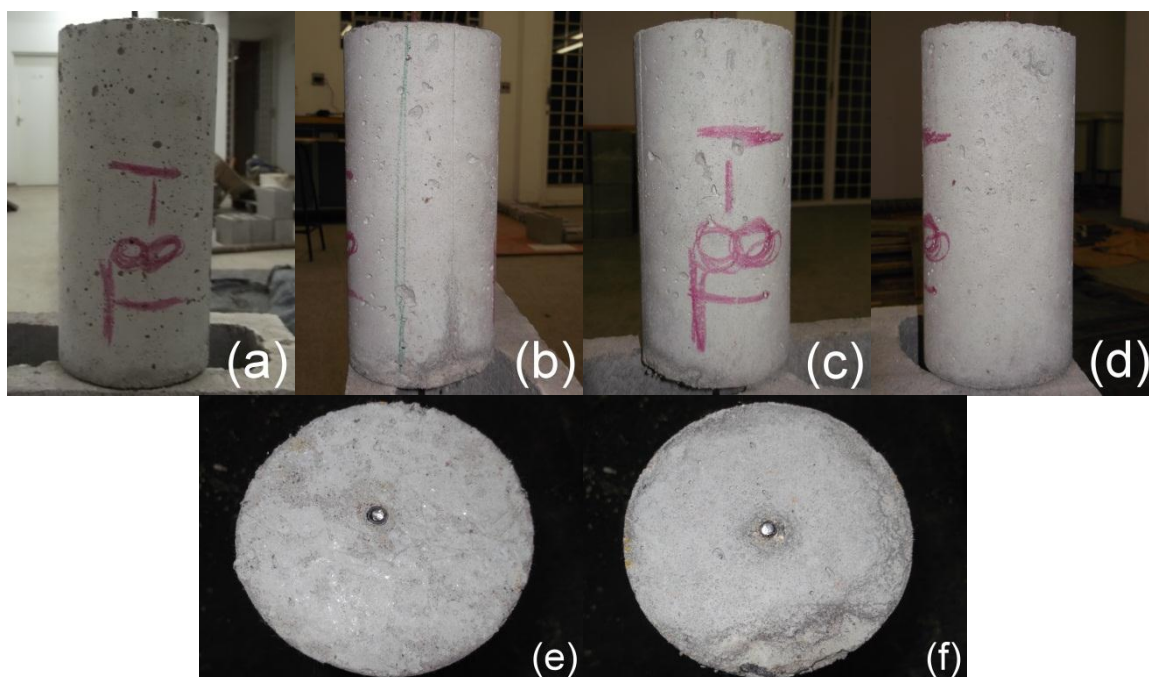
APÊNDICE S – Laudo CP T8-1

Figura 172 - CP T8-1: antes arrancamento (parte externa).



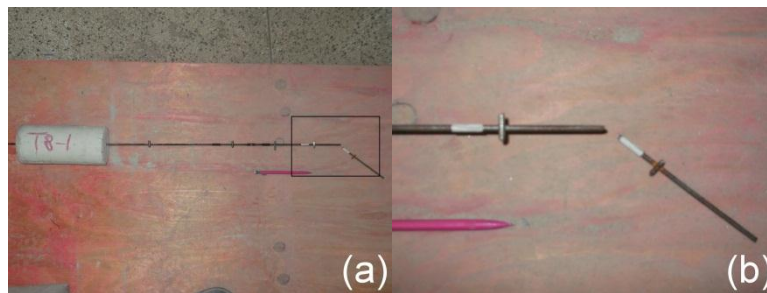
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 173 - CP T8-1: após arrancamento (parte externa).



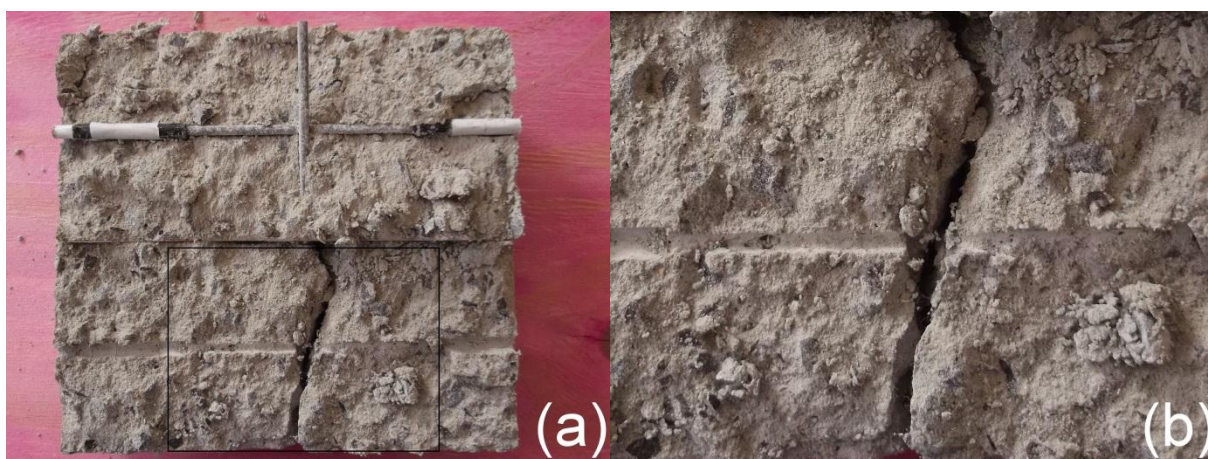
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 174 - CP T8-1: após arrancamento (modo de ruptura).



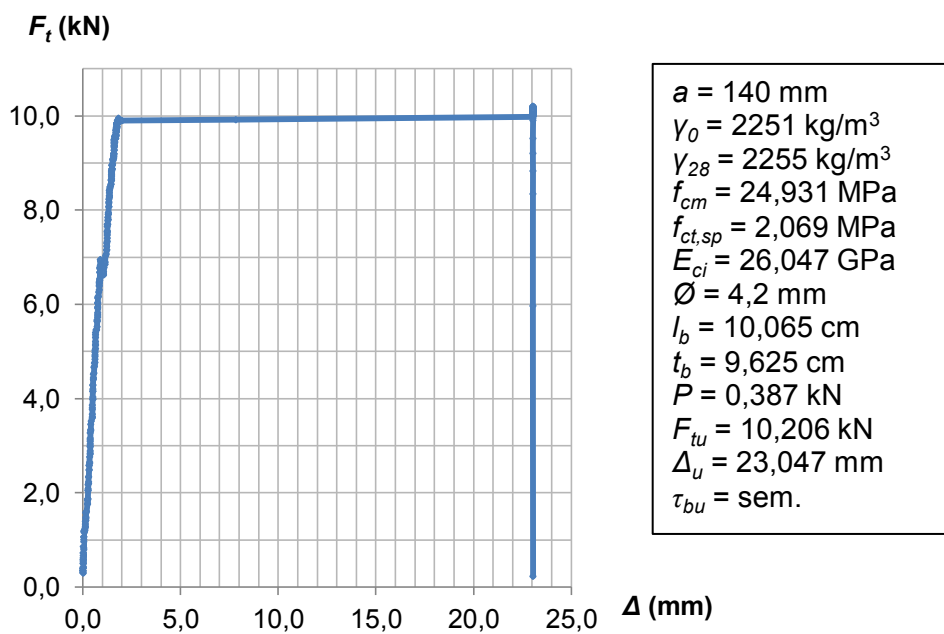
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 175 - CP T8-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 176 - CP T8-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

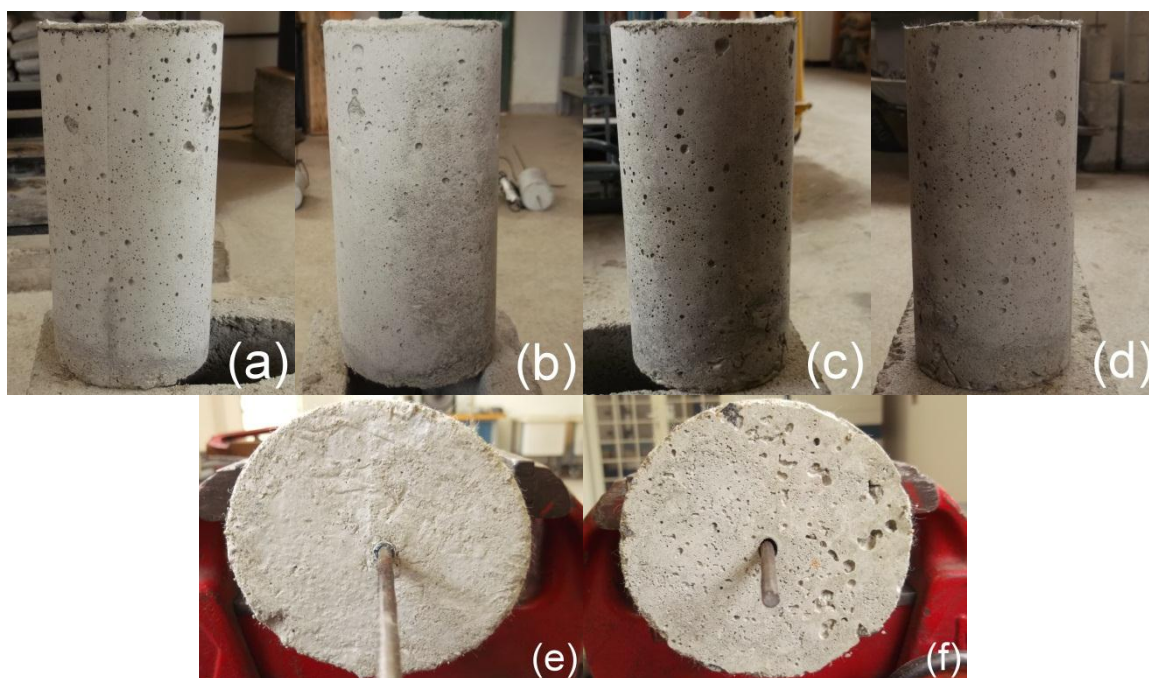
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 172), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 173-e).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 173).
- Modo de ruptura observado: ruptura da armadura fora do cilindro de concreto (Figura 174). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da armadura: ver a Figura 176).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT1.

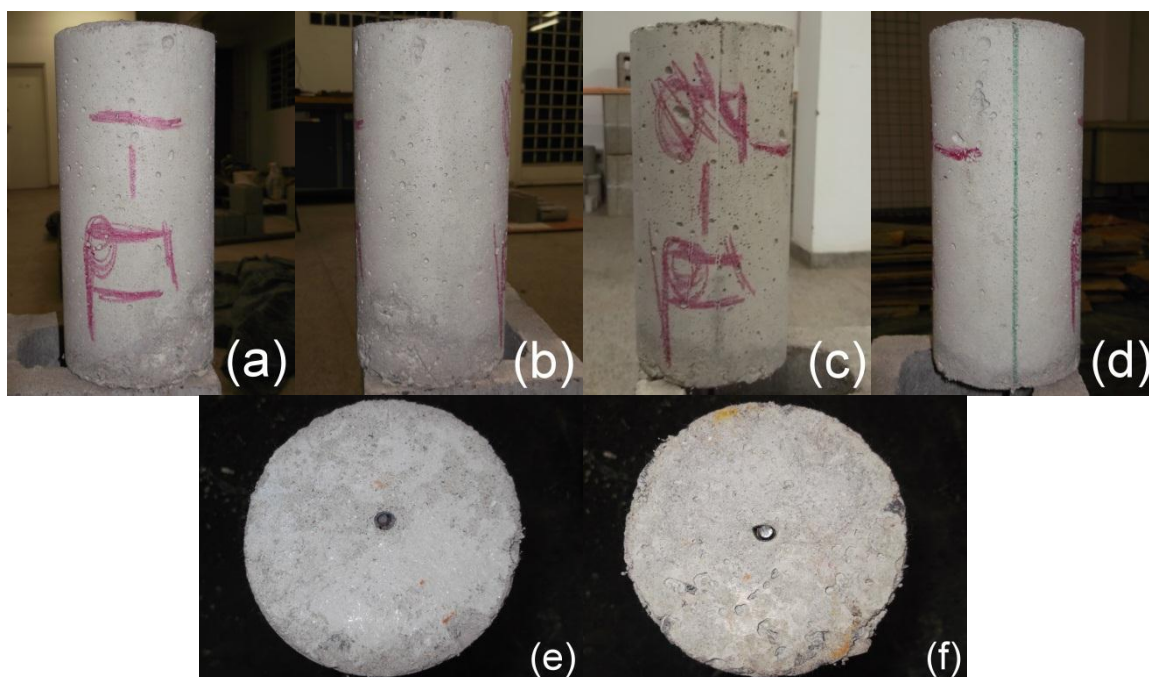
APÊNDICE T – Laudo CP T9-1

Figura 177 - CP T9-1: antes arrancamento (parte externa).



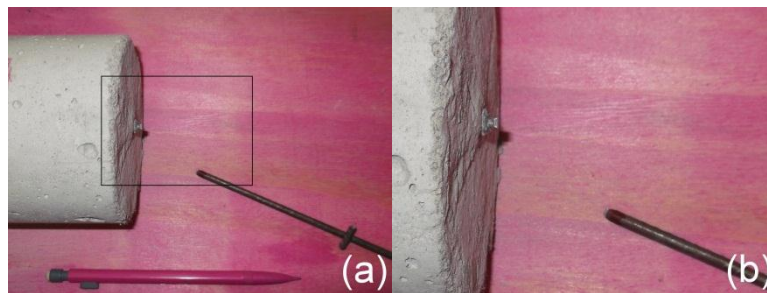
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 178 - CP T9-1: após arrancamento (parte externa).



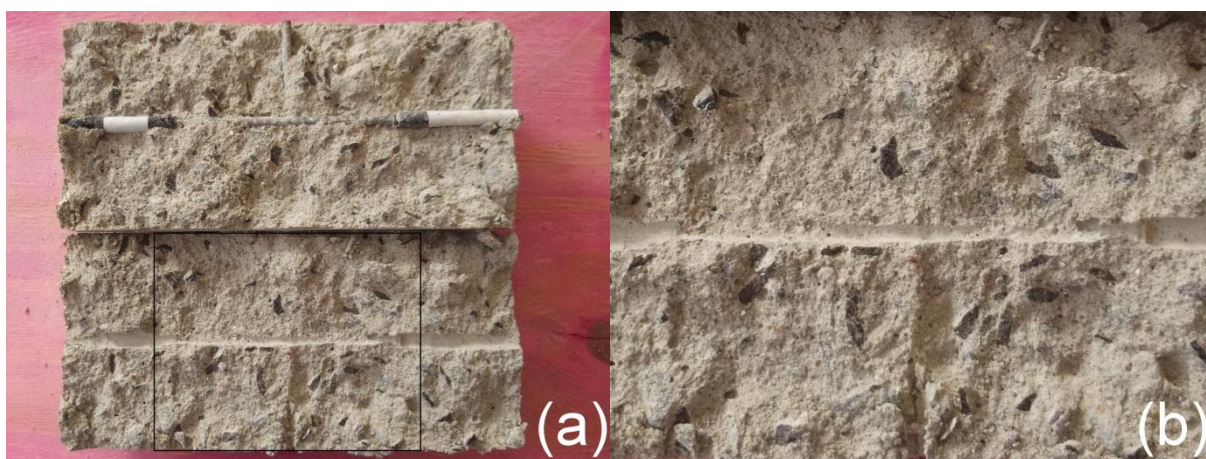
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 179 - CP T9-1: após arrancamento (modo de ruptura).



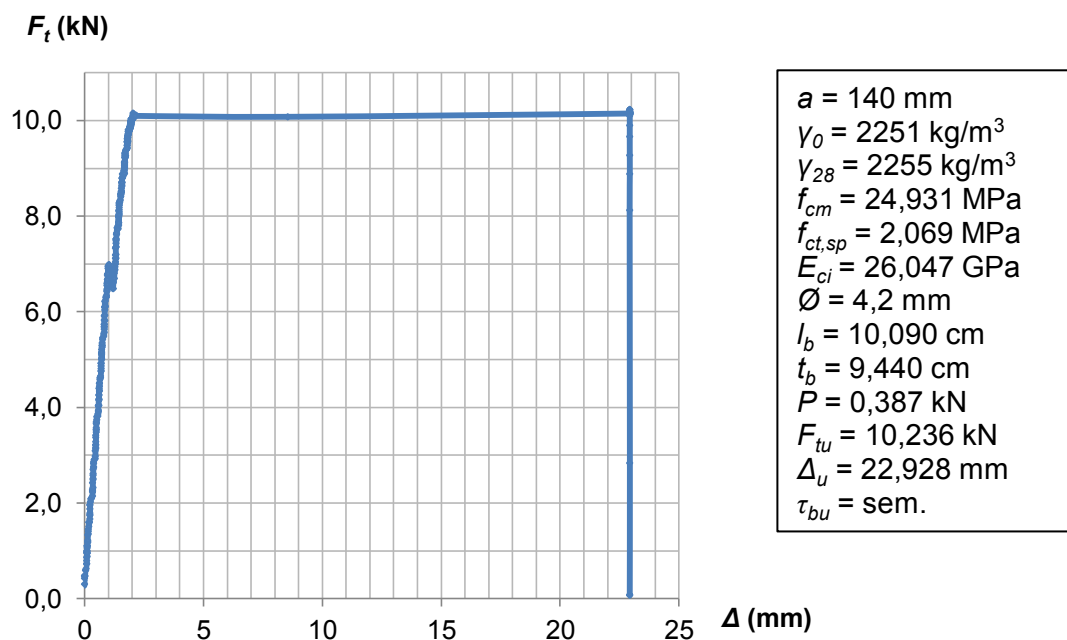
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 180 - CP T9-1: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 181 - CP T9-1: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

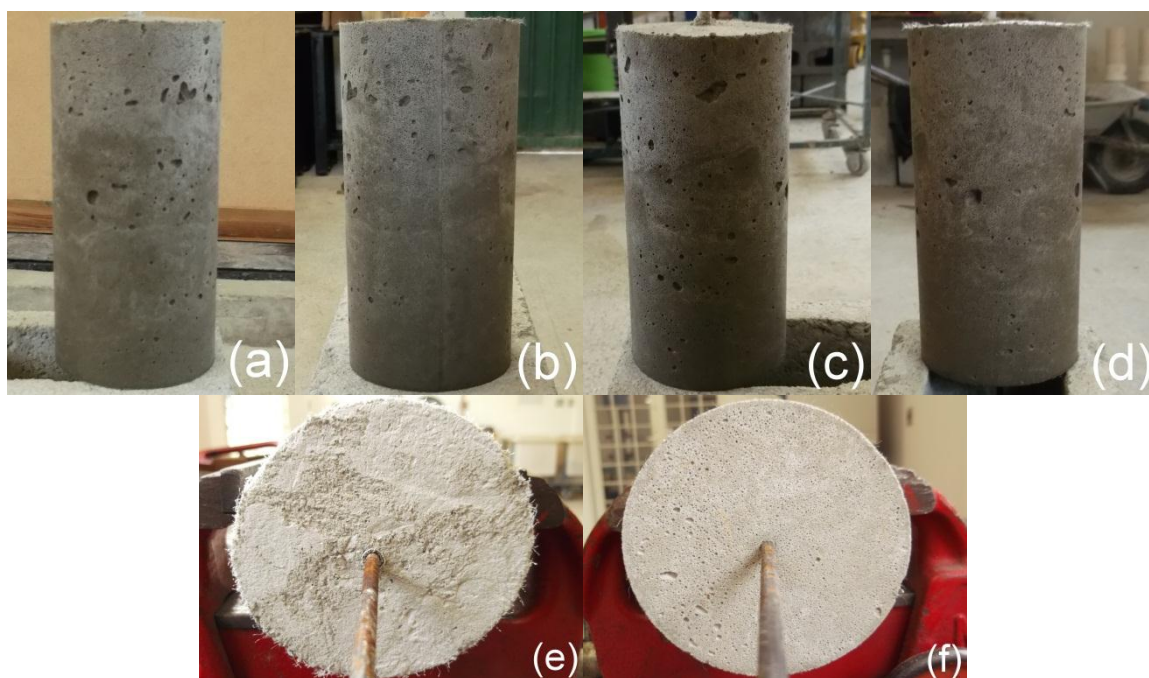
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 177), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 178-e-f, Figura 180-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 178).
- Modo de ruptura observado: ruptura da armadura fora do cilindro de concreto (Figura 179). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, correspondendo à ruptura da armadura: ver a Figura 181).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT1.

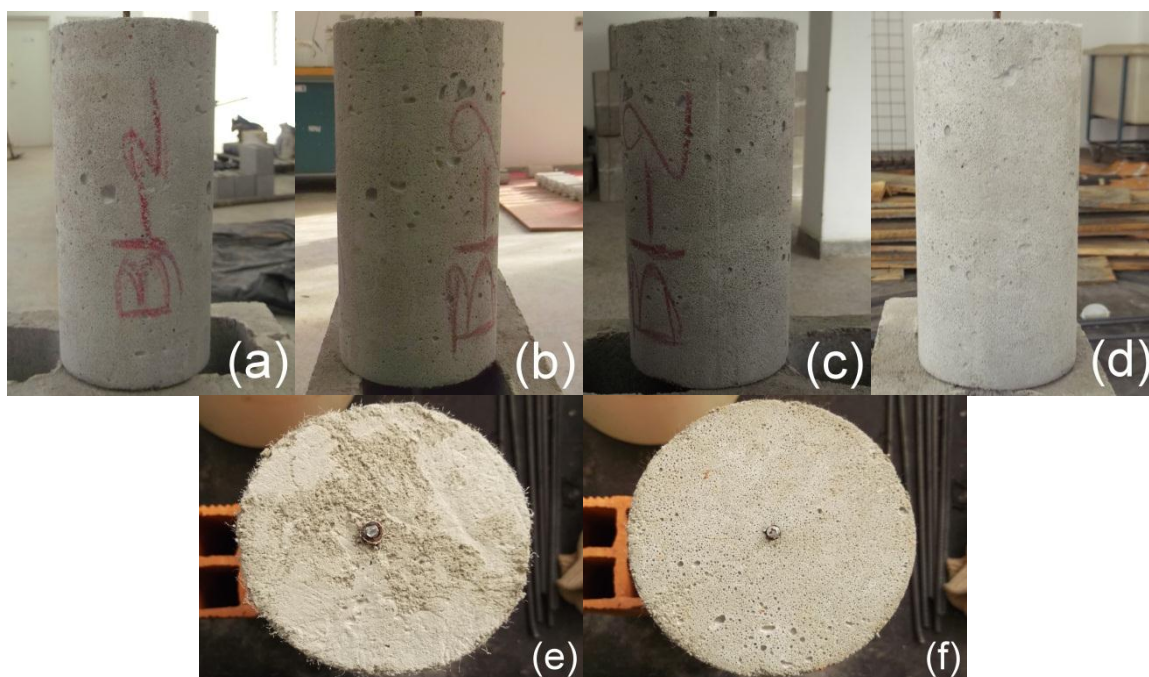
APÊNDICE U – Laudo CP B1-2

Figura 182 - CP B1-2: antes arrancamento (parte externa).



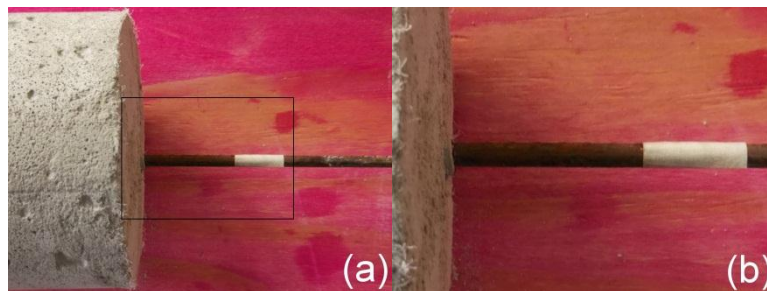
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 183 - CP B1-2: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 184 - CP B1-2: após arrancamento (modo de ruptura).



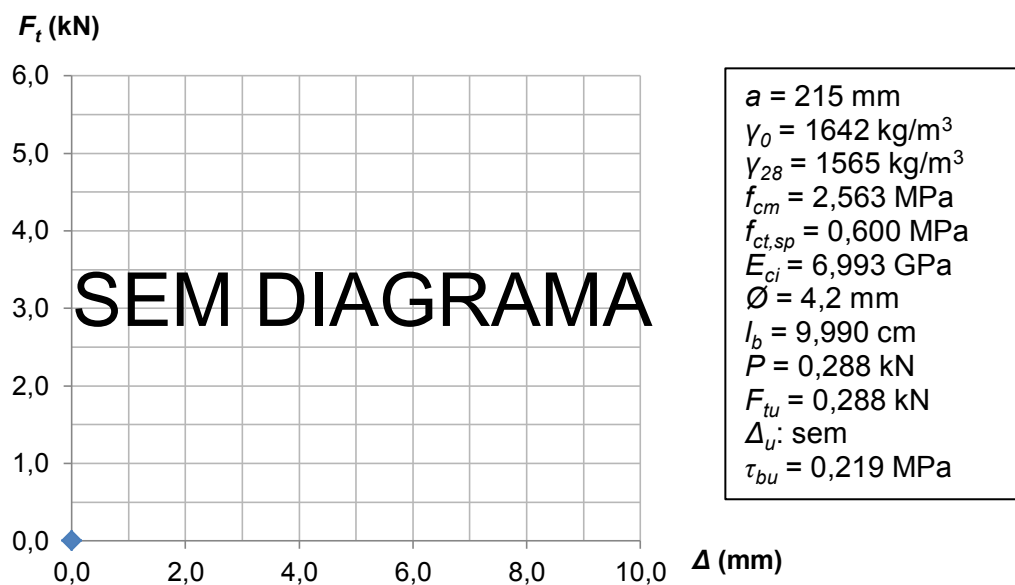
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 185 - CP B1-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 186 - CP B1-2: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

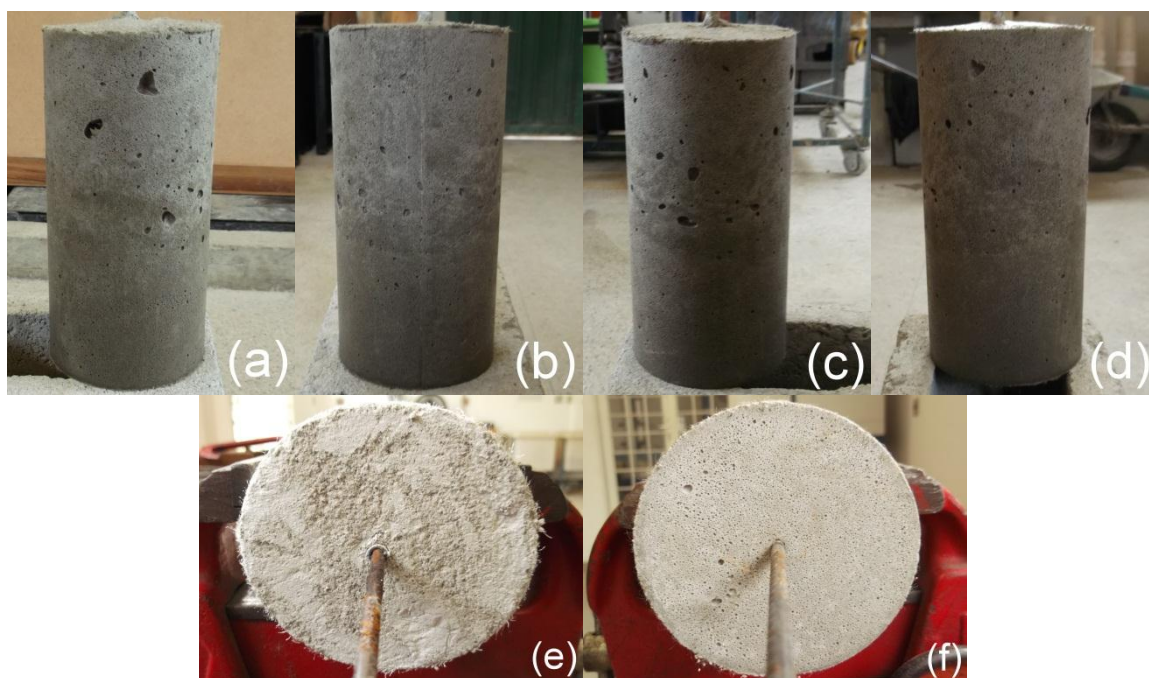
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 182), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 183-e).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 183).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 184).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,288 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_r\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Pré-carga ($P = 0,288 \text{ kN}$) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra.

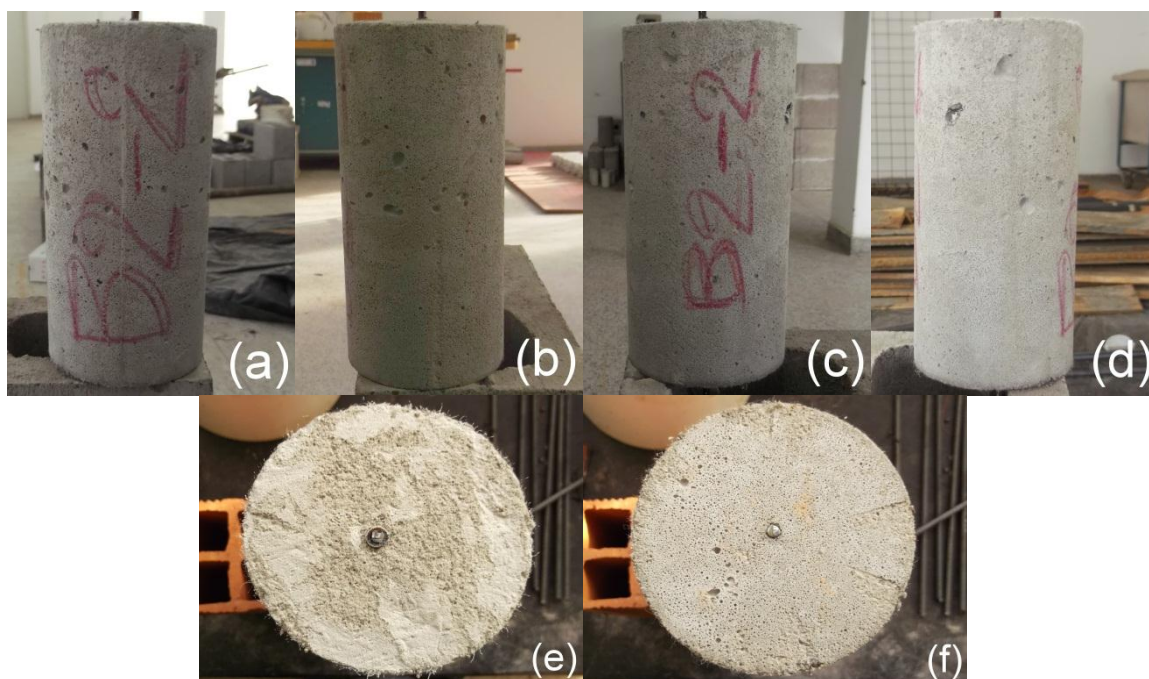
APÊNDICE V – Laudo CP B2-2

Figura 187 - CP B2-2: antes arrancamento (parte externa).



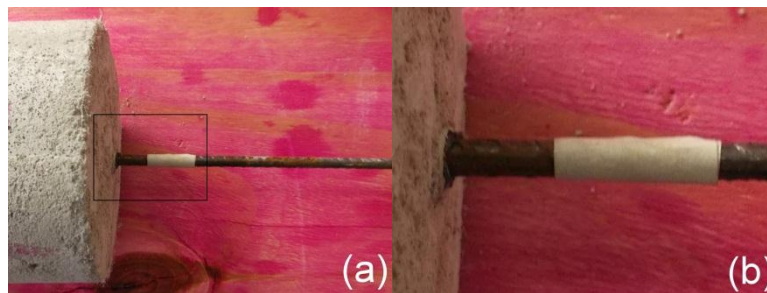
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 188 - CP B2-2: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 189 - CP B2-2: após arrancamento (modo de ruptura).



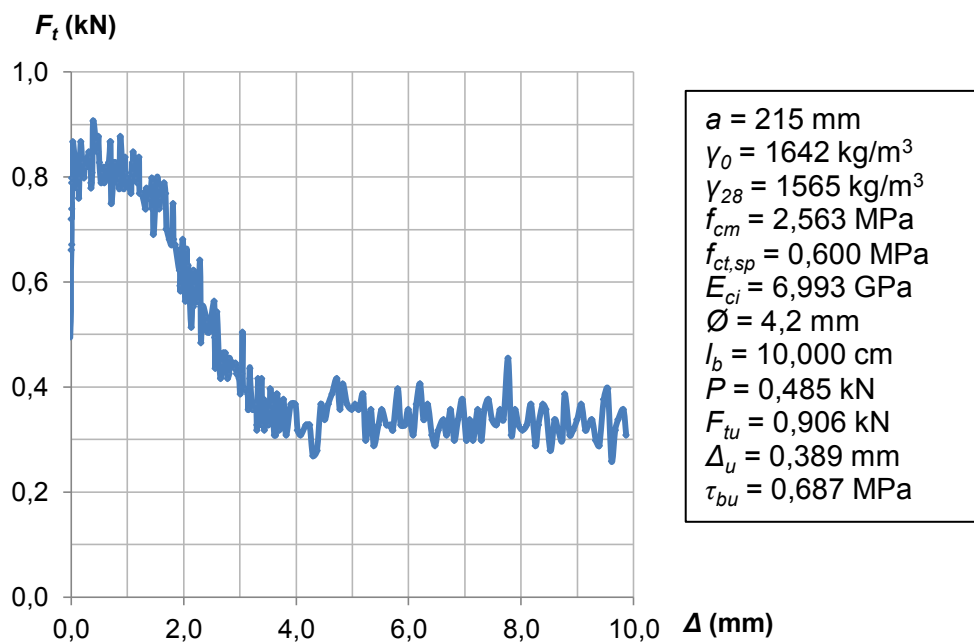
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 190 - CP B2-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 191 - CP B2-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

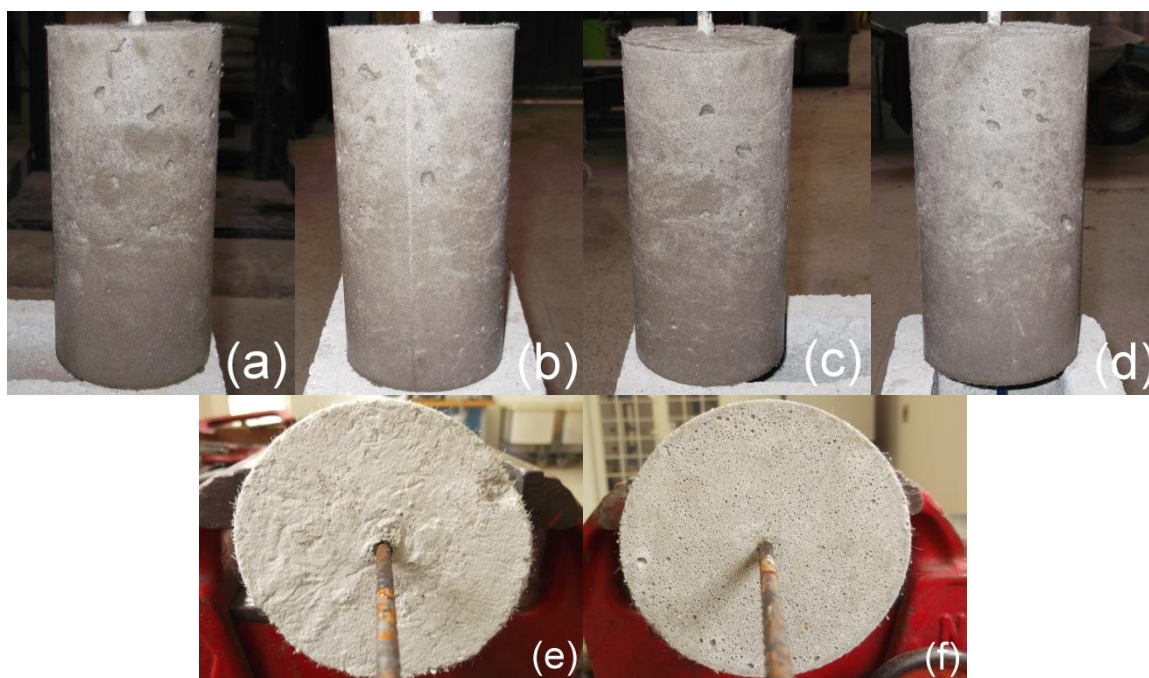
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 187), sem influência sobre o resultado. Presença de duas bicheiras com diâmetro maior (Figura 187-a e Figura 188-d).
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 188-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 188).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 189). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido, ver a Figura 191).

Conclusão do ensaio:

CP com o maior τ_{bu} da amostra AB2 (0,687 MPa). Modo de ruptura coerente com o resto da amostra.

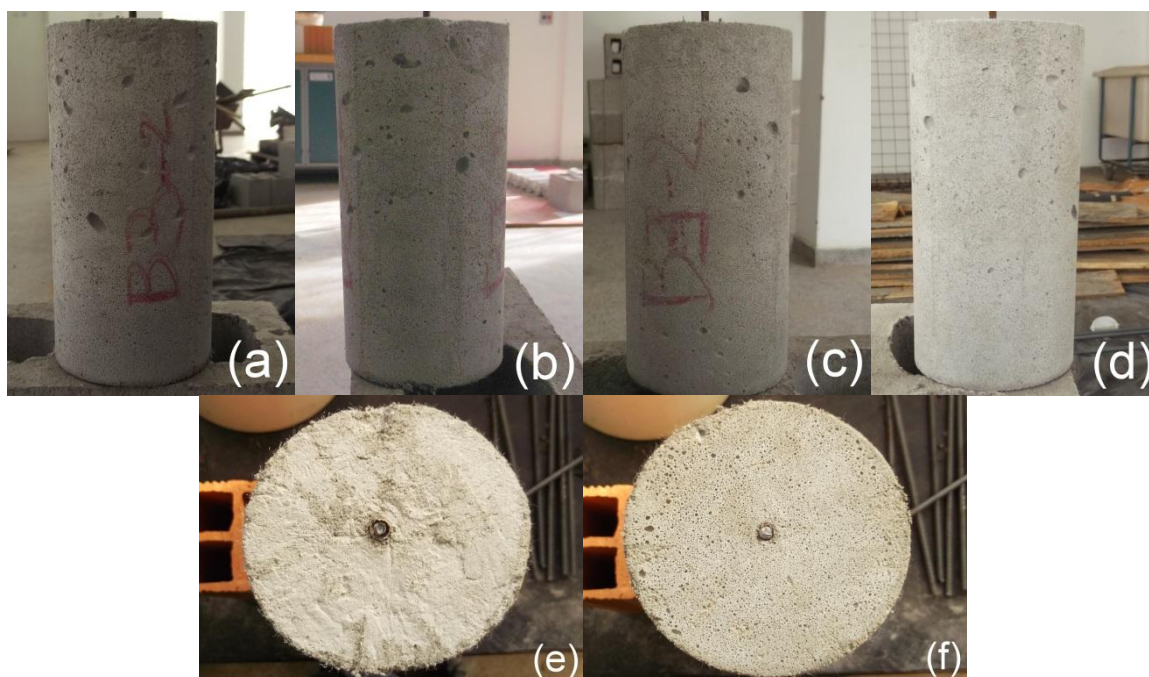
APÊNDICE W – Laudo CP B3-2

Figura 192 - CP B3-2: antes arrancamento (parte externa).



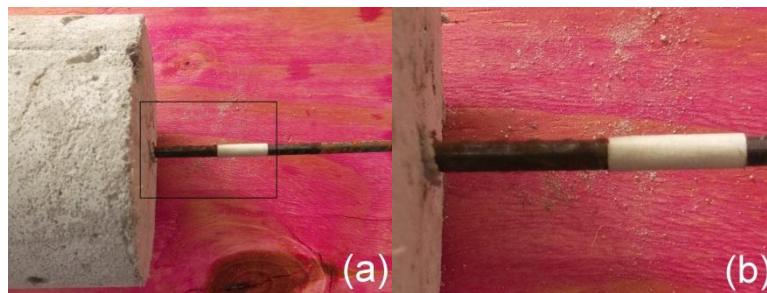
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 193 - CP B3-2: após arrancamento (parte externa).



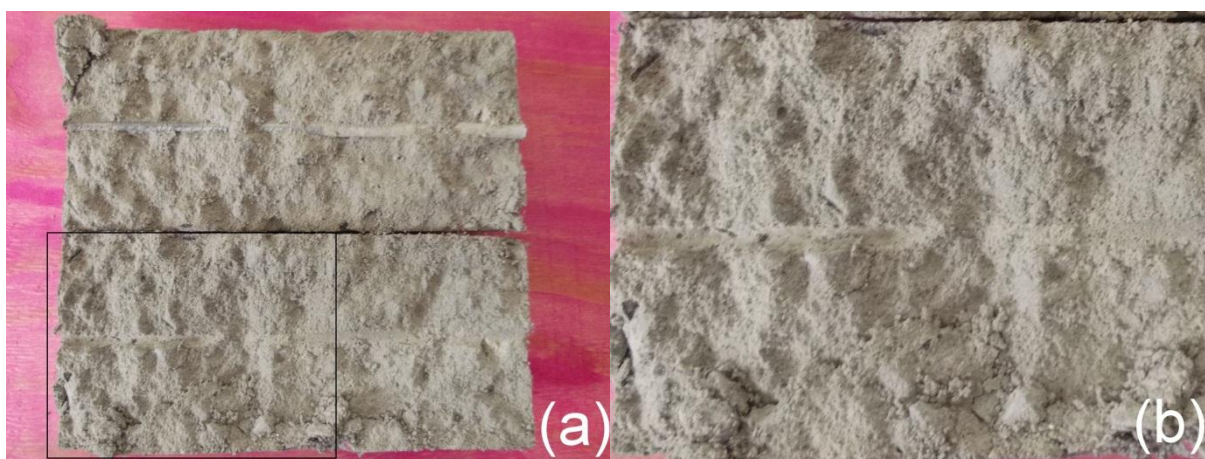
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 194 - CP B3-2: após arrancamento (modo de ruptura).



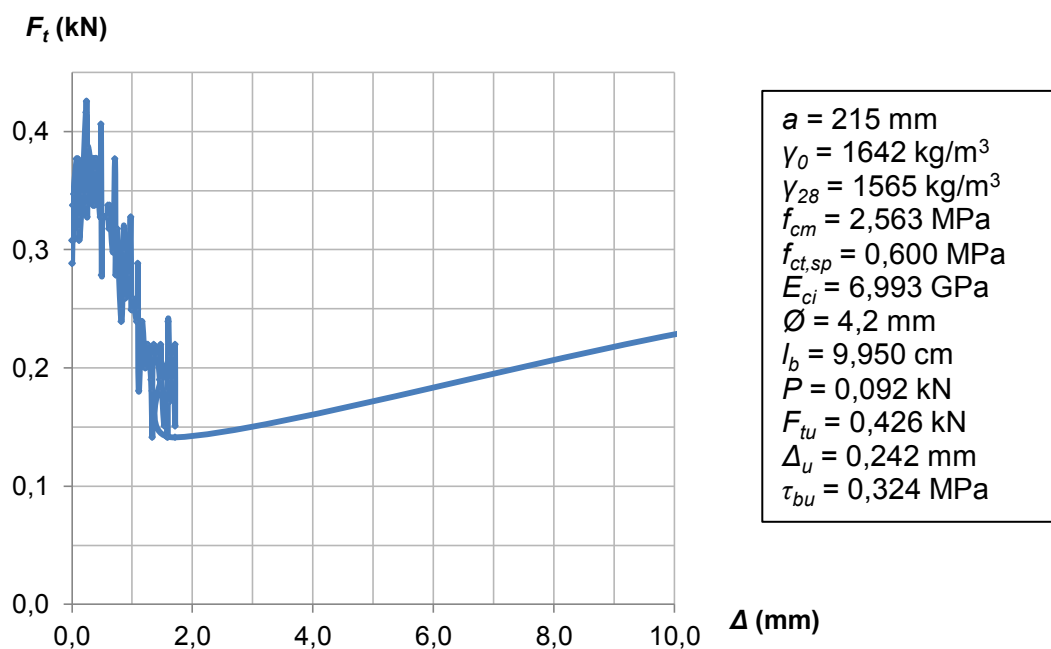
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 195 - CP B3-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 196 - CP B3-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

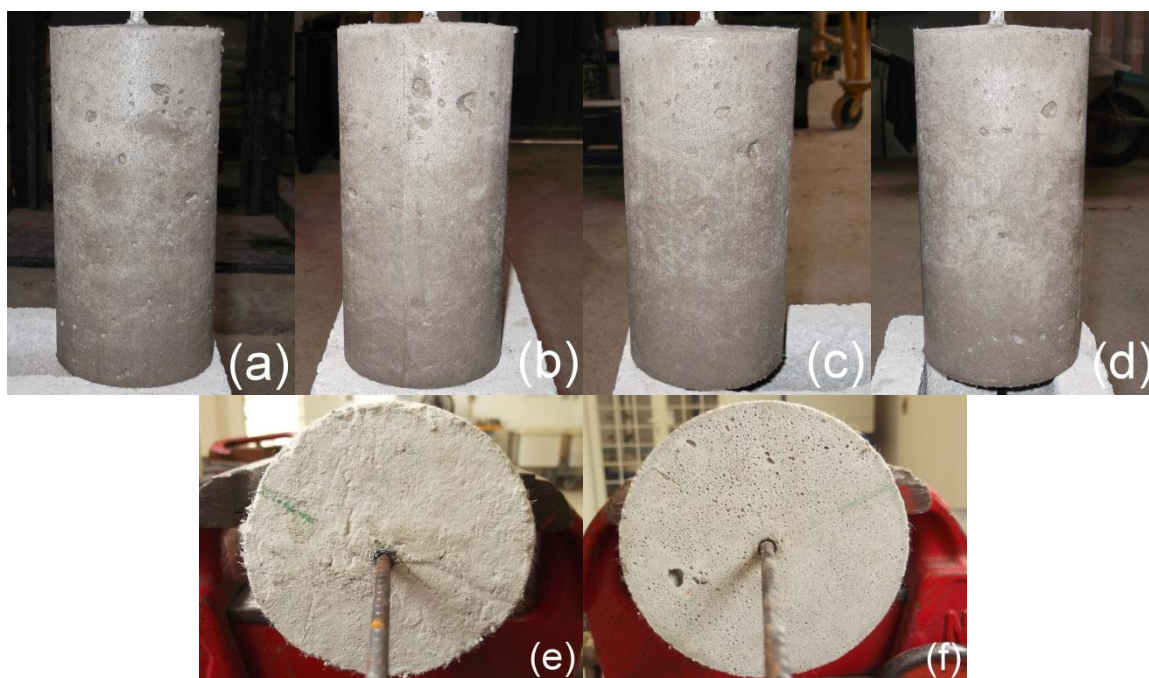
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 192), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 193).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 193).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 194). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 196).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB2.

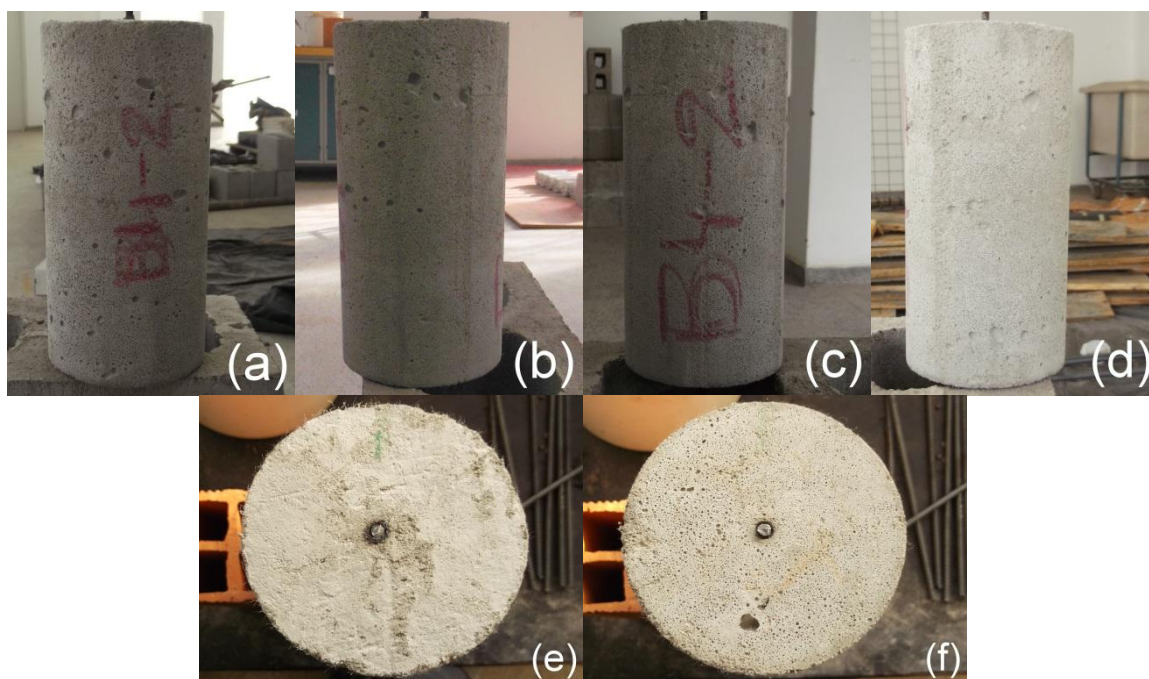
APÊNDICE X – Laudo CP B4-2

Figura 197 - CP B4-2: antes arrancamento (parte externa).



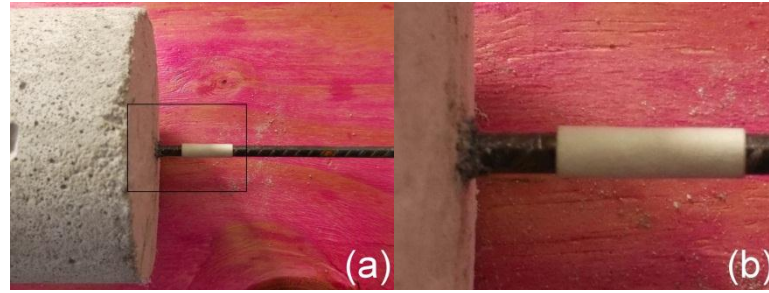
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 198 - CP B4-2: após arrancamento (parte externa).



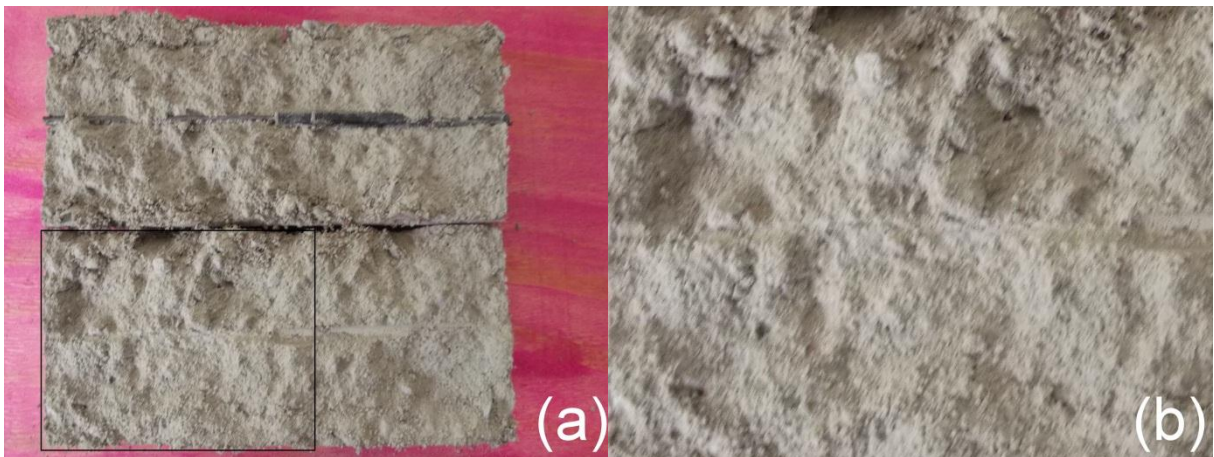
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 199 - CP B4-2: após arrancamento (modo de ruptura).



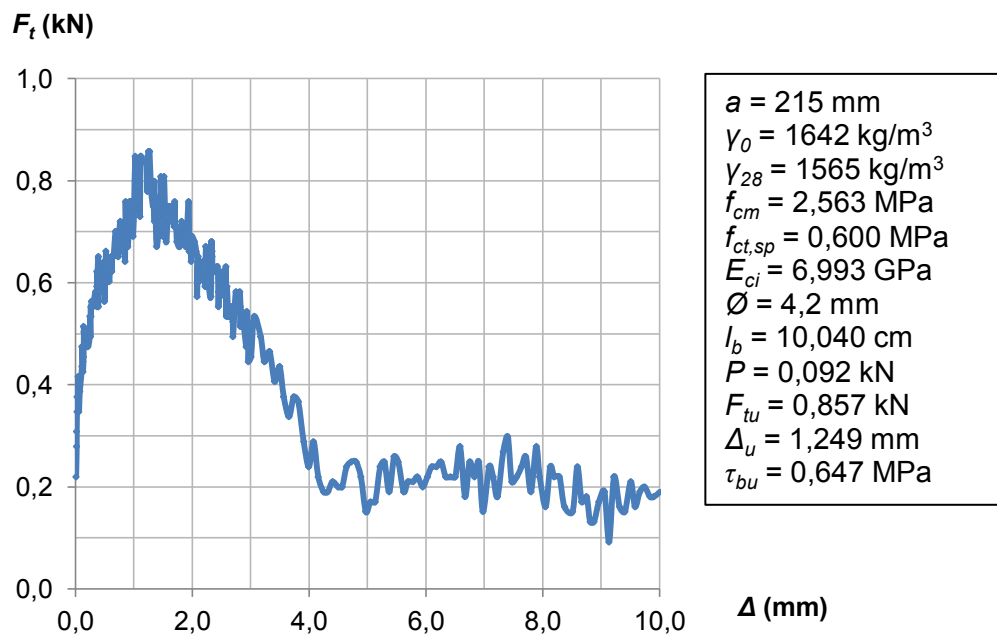
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 200 - CP B4-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 201 - CP B4-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

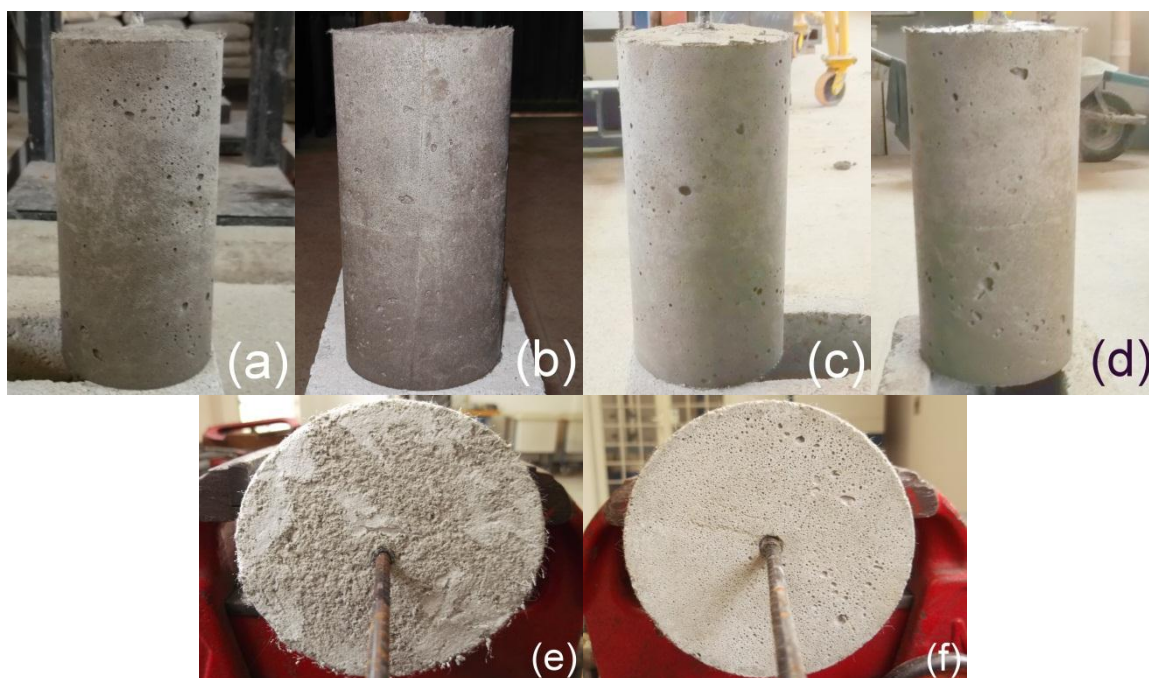
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 197), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 198).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 198).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 199). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 201).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB2.

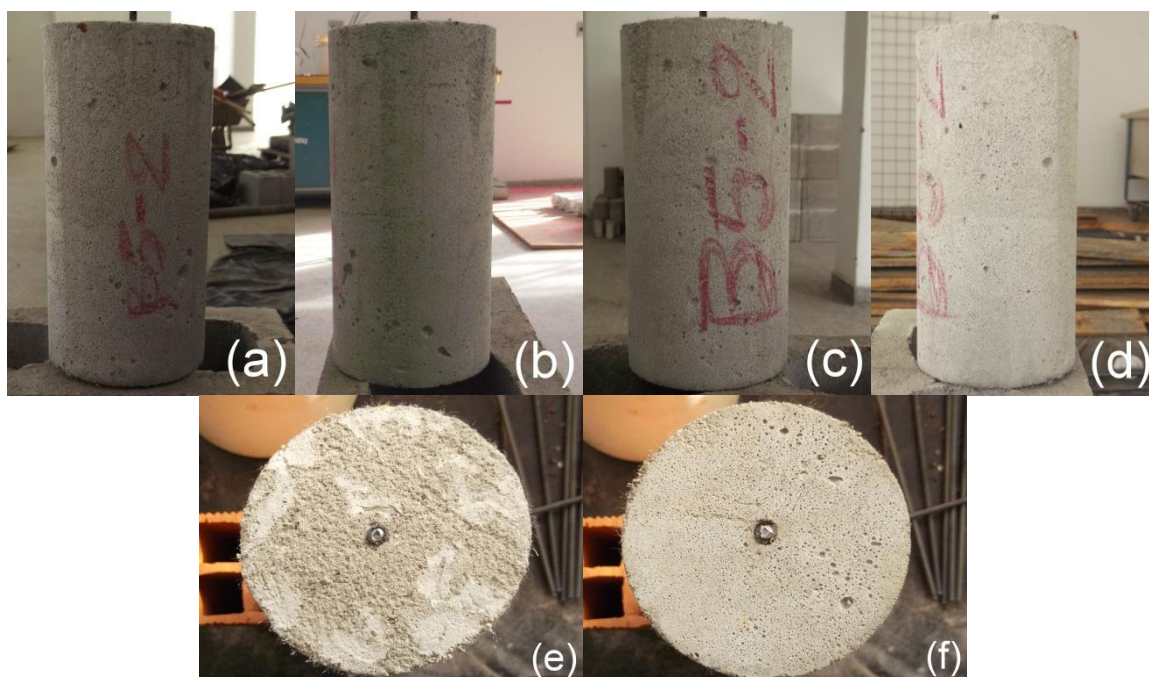
APÊNDICE Y – Laudo CP B5-2

Figura 202 - CP B5-2: antes arrancamento (parte externa).



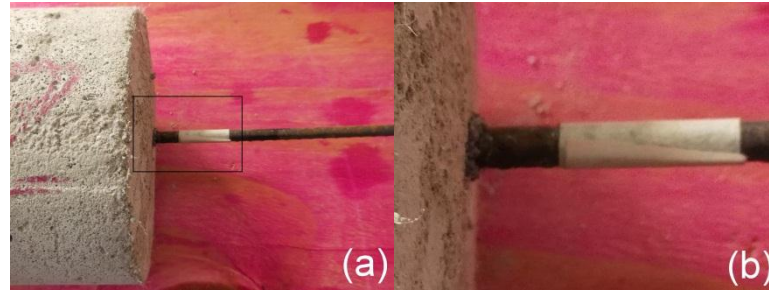
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 203 - CP B5-2: após arrancamento (parte externa).



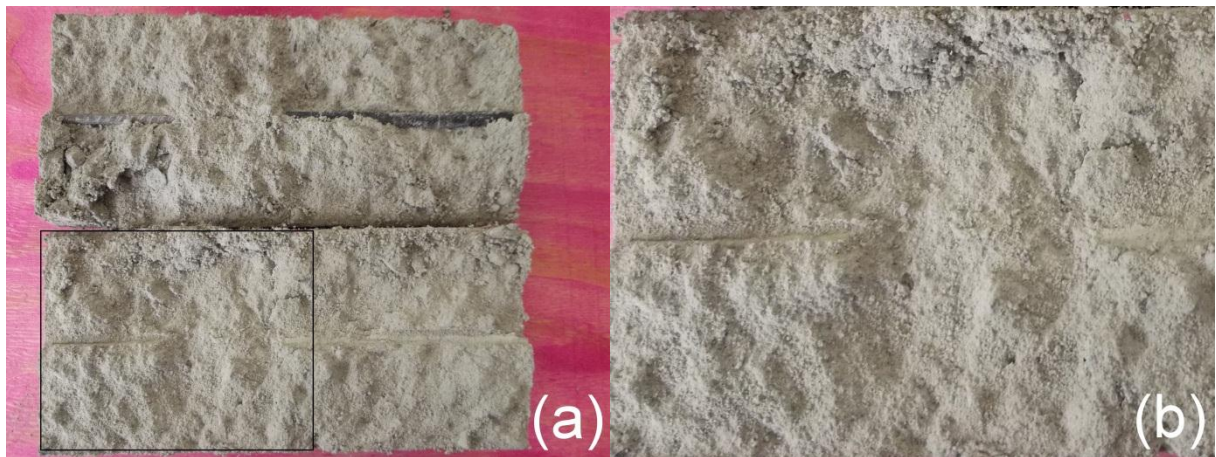
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 204 - CP B5-2: após arrancamento (modo de ruptura).



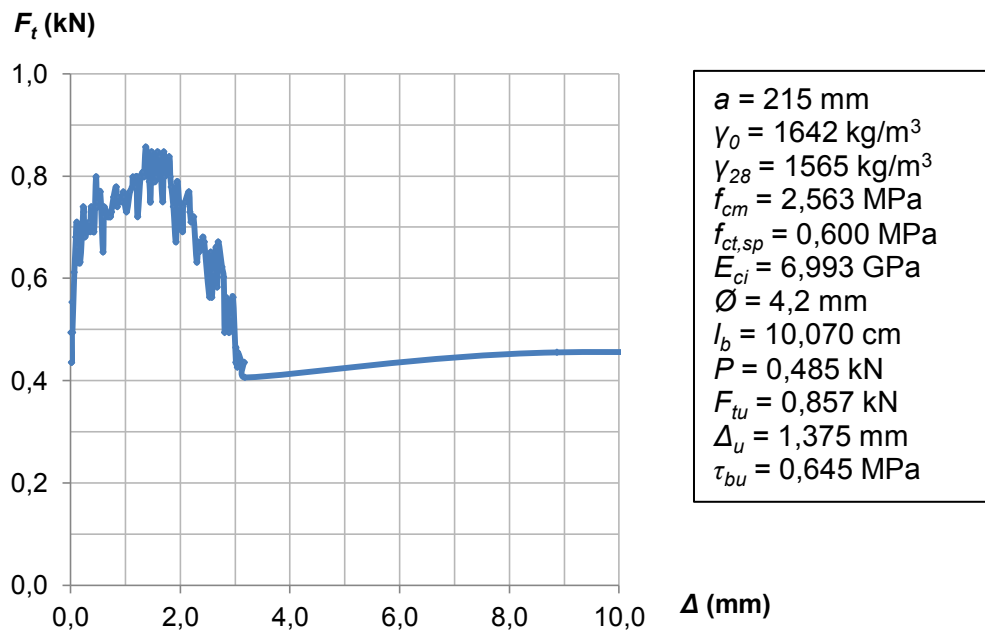
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 205 - CP B5-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 206 - CP B5-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

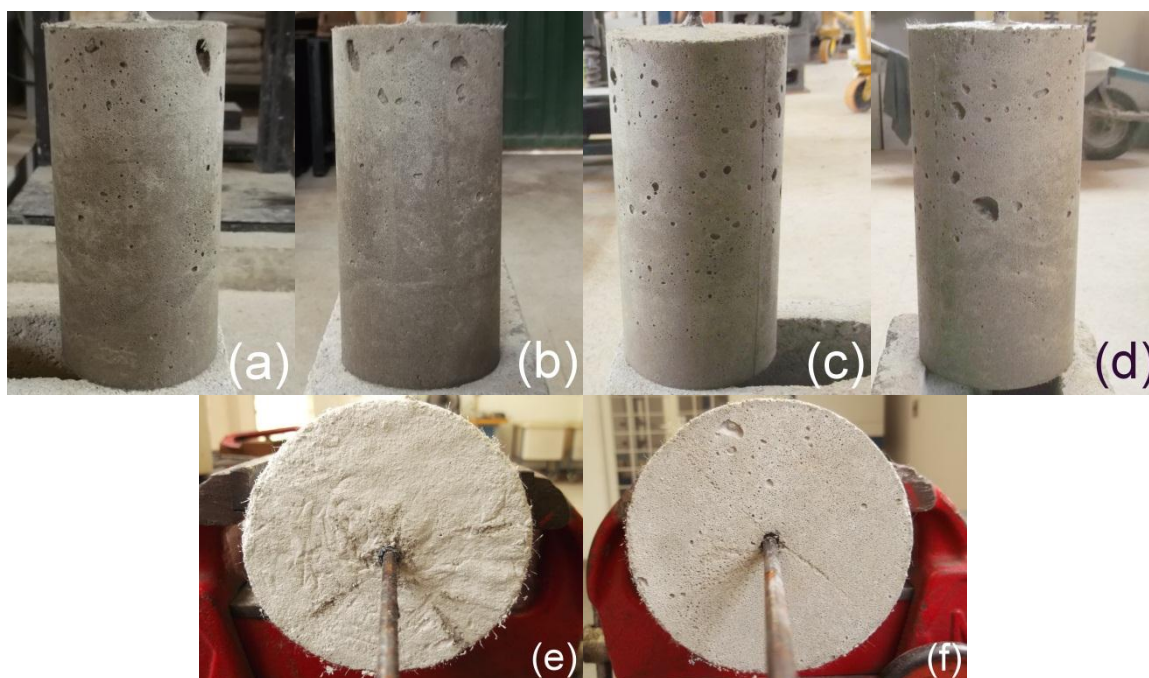
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 202), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 203).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 203).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 204). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 206).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB2.

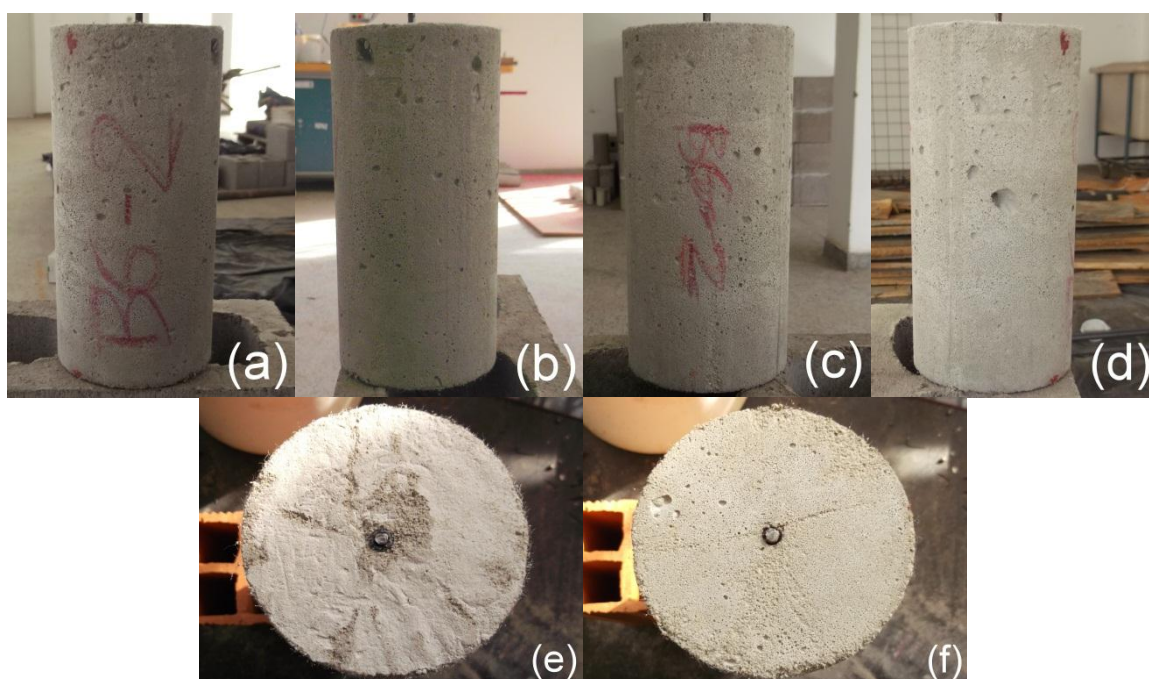
APÊNDICE Z – Laudo CP B6-2

Figura 207 - CP B6-2: antes arrancamento (parte externa).



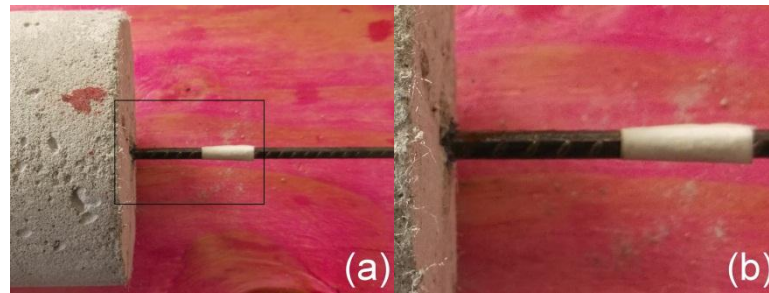
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 208 - CP B6-2: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 209 - CP B6-2: após arrancamento (modo de ruptura).



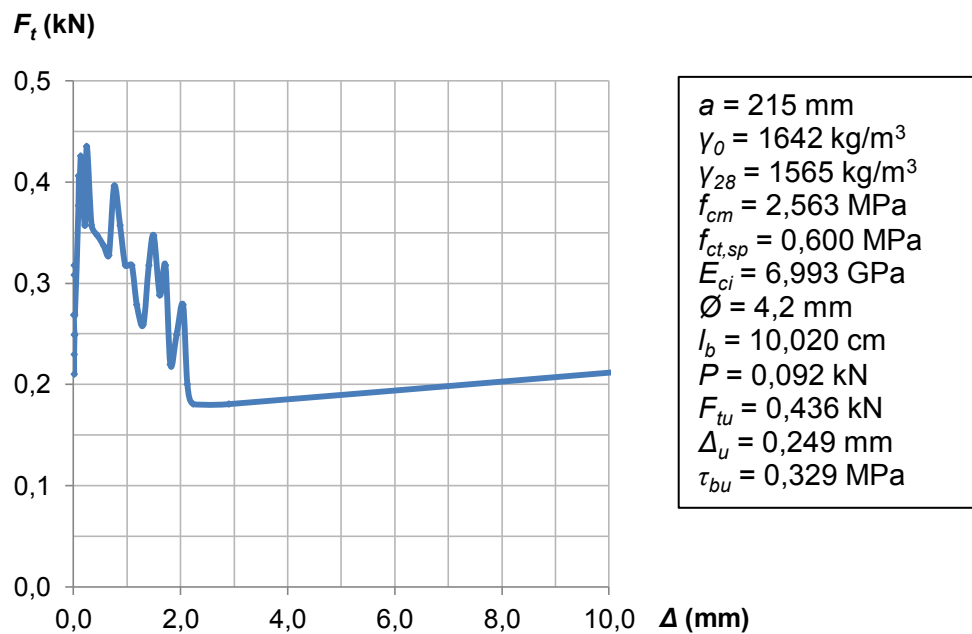
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 210 - CP B6-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 211 - CP B6-2: diagrama F_t - Δ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

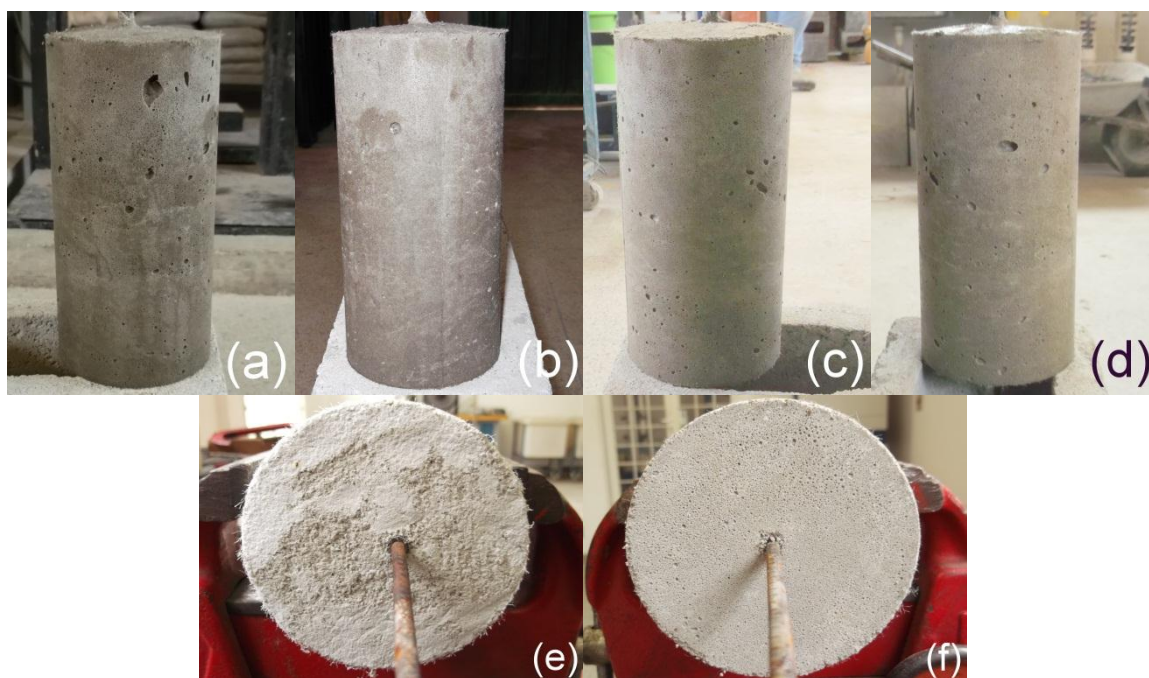
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 207). Presença de duas bicheiras com diâmetro maior (Figura 207-a-d), uma delas devida à presença da armadura transversal (Figura 207-d).
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 208).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 208).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 209). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 211).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB2.

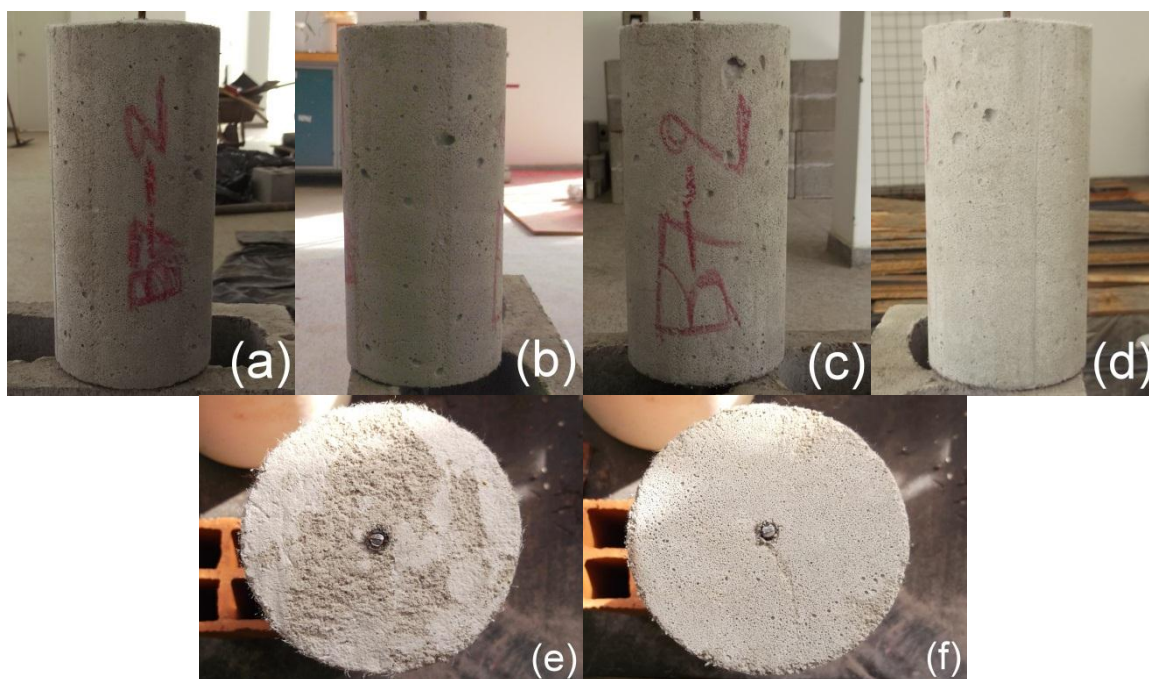
APÊNDICE AA – Laudo CP B7-2

Figura 212 - CP B7-2: antes arrancamento (parte externa).



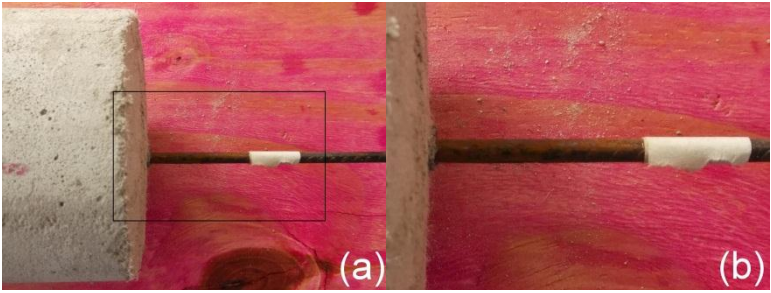
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 213 - CP B7-2: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 214 - CP B7-2: após arrancamento (modo de ruptura).



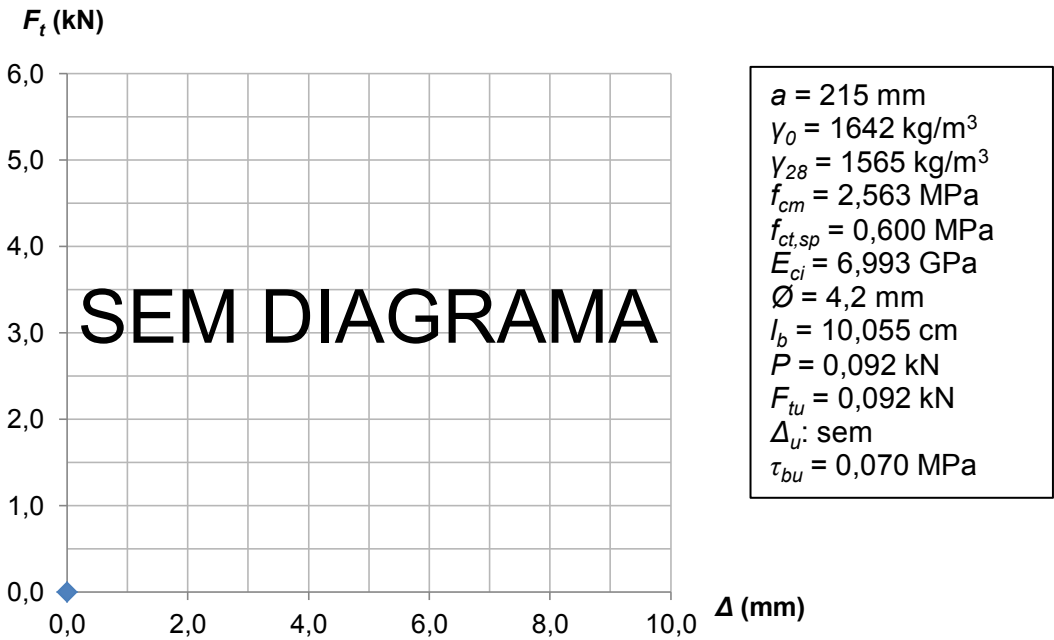
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 215 - CP B7-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 216 - CP B7-2: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

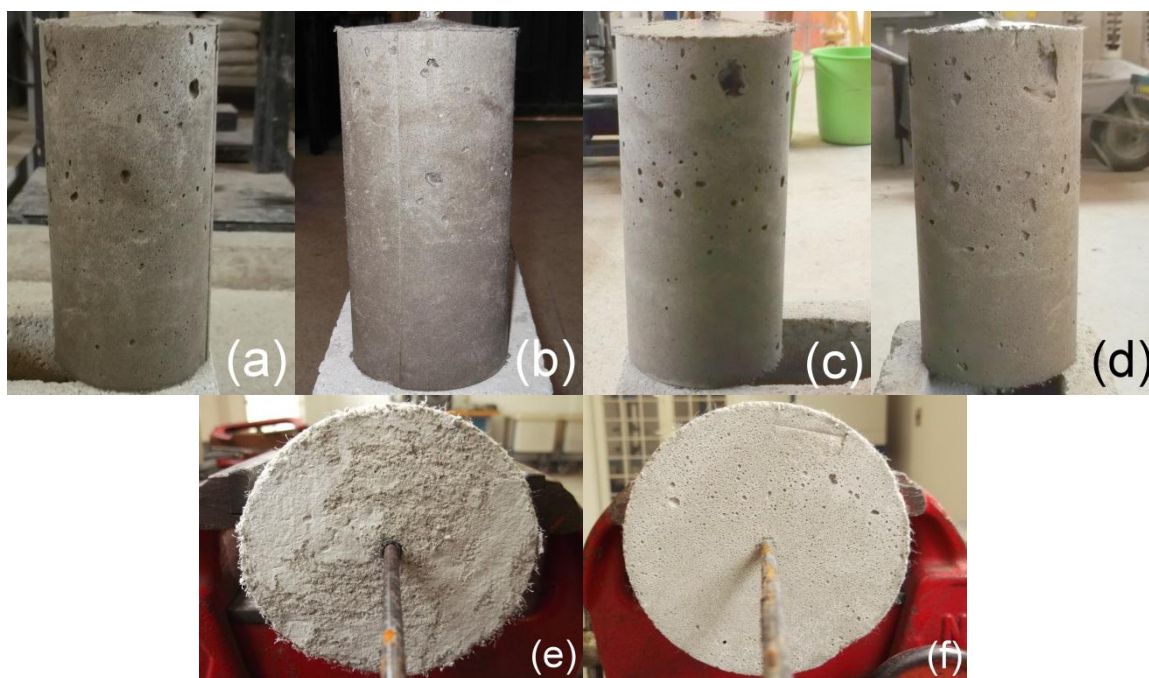
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 212), uma delas com diâmetro maior (Figura 212-a).
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 213).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 213).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 214). Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o deslizamento da armadura, impossibilitando a construção do Diagrama $F_r-\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o deslizamento da armadura, modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB2.

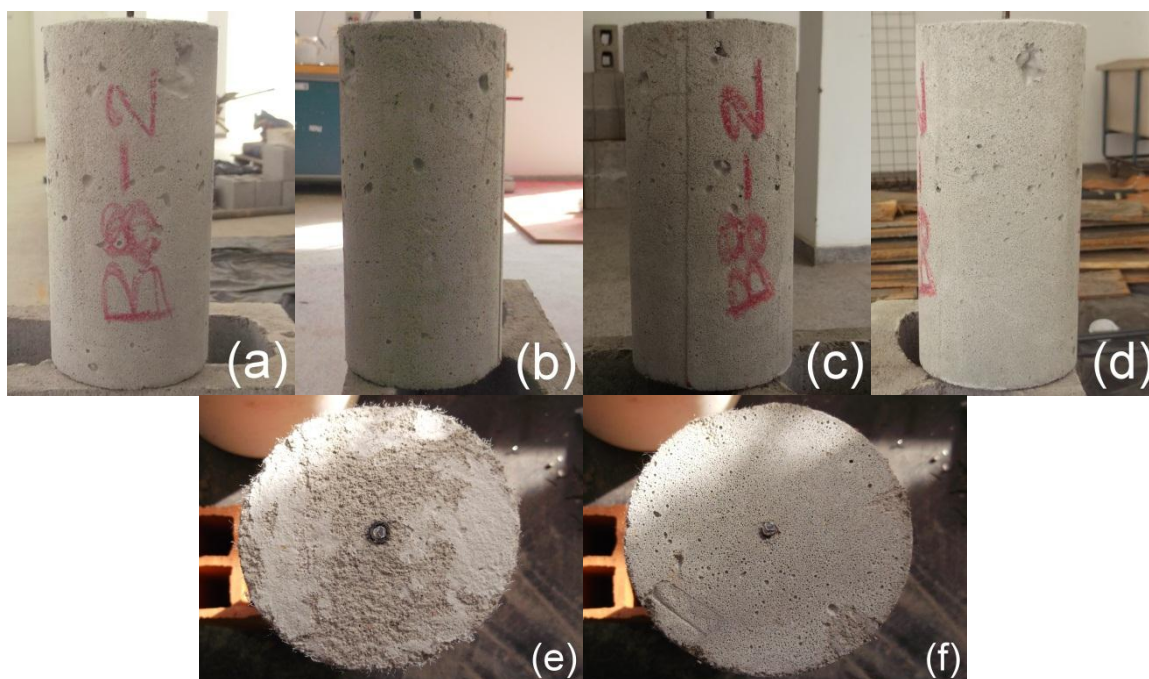
APÊNDICE AB – Laudo CP B8-2

Figura 217 - CP B8-2: antes arrancamento (parte externa).



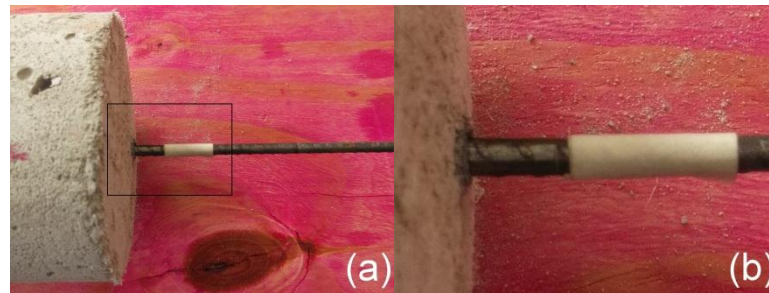
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 218 - CP B8-2: após arrancamento (parte externa).



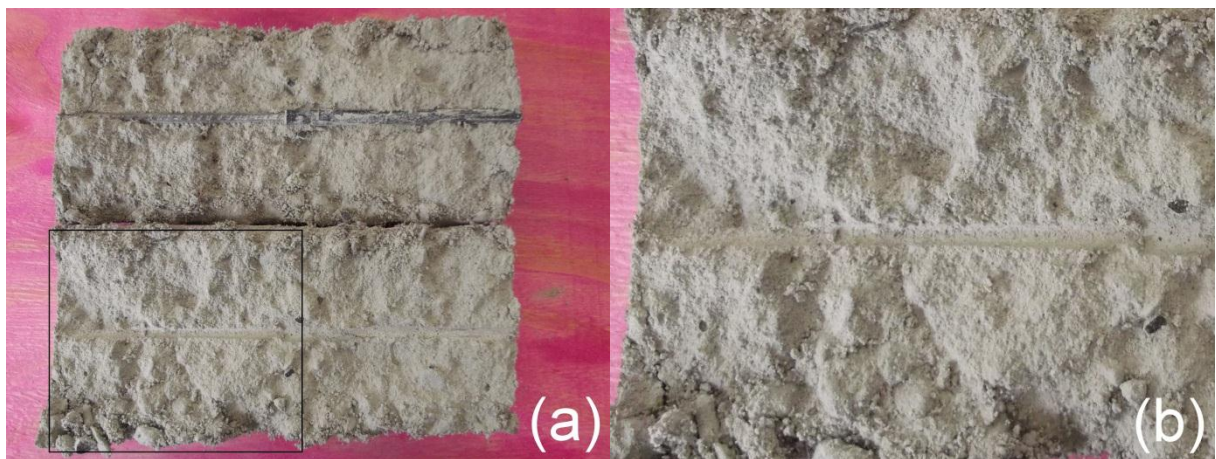
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 219 - CP B8-2: após arrancamento (modo de ruptura).



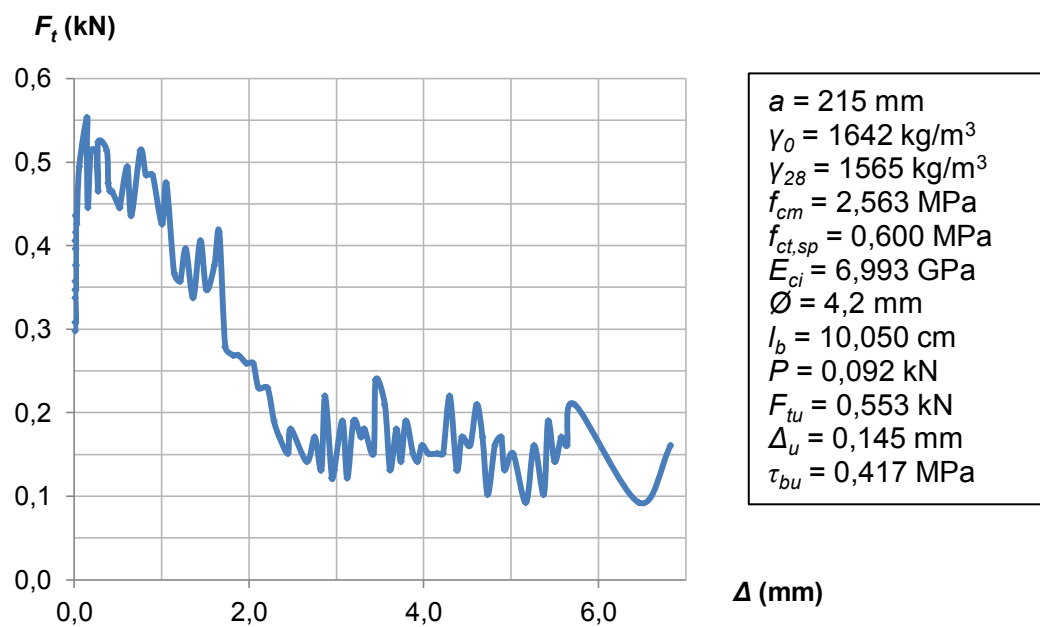
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 220 - CP B8-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 221 - CP B8-2: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

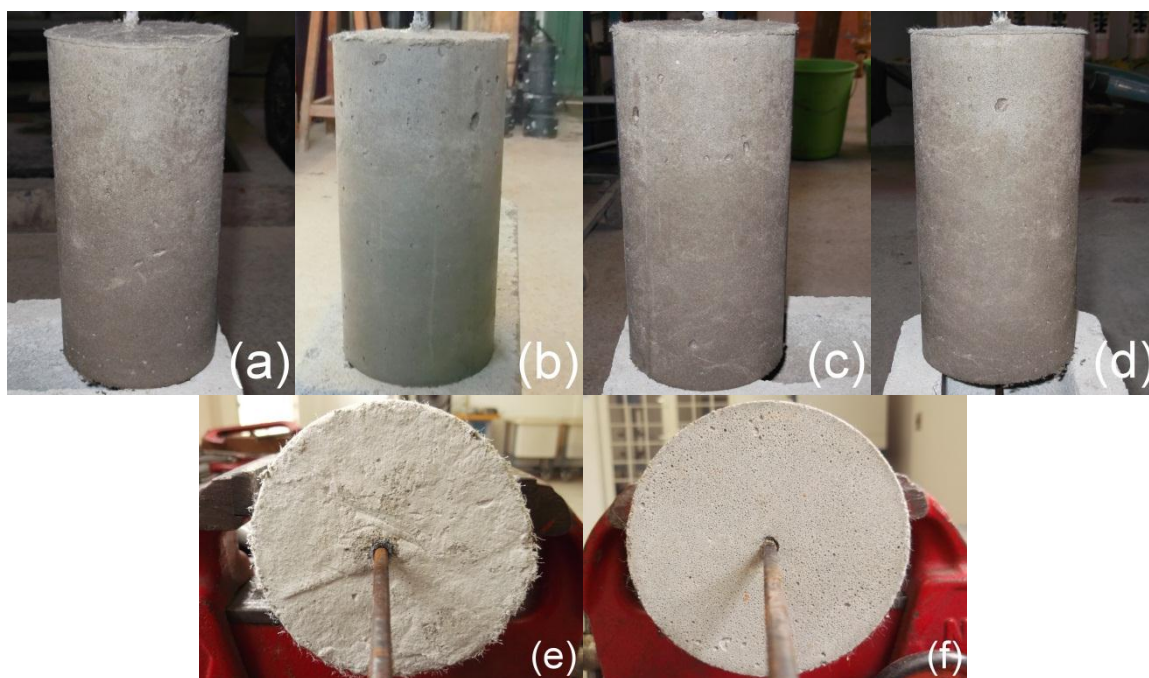
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 217), uma delas com diâmetro maior (Figura 217-c).
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 218-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 218).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 219). Diagrama $F_t - \Delta$ coerente com o modo de ruptura observado (suave decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 221).

Conclusão do ensaio:

Ensaio com resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AB2.

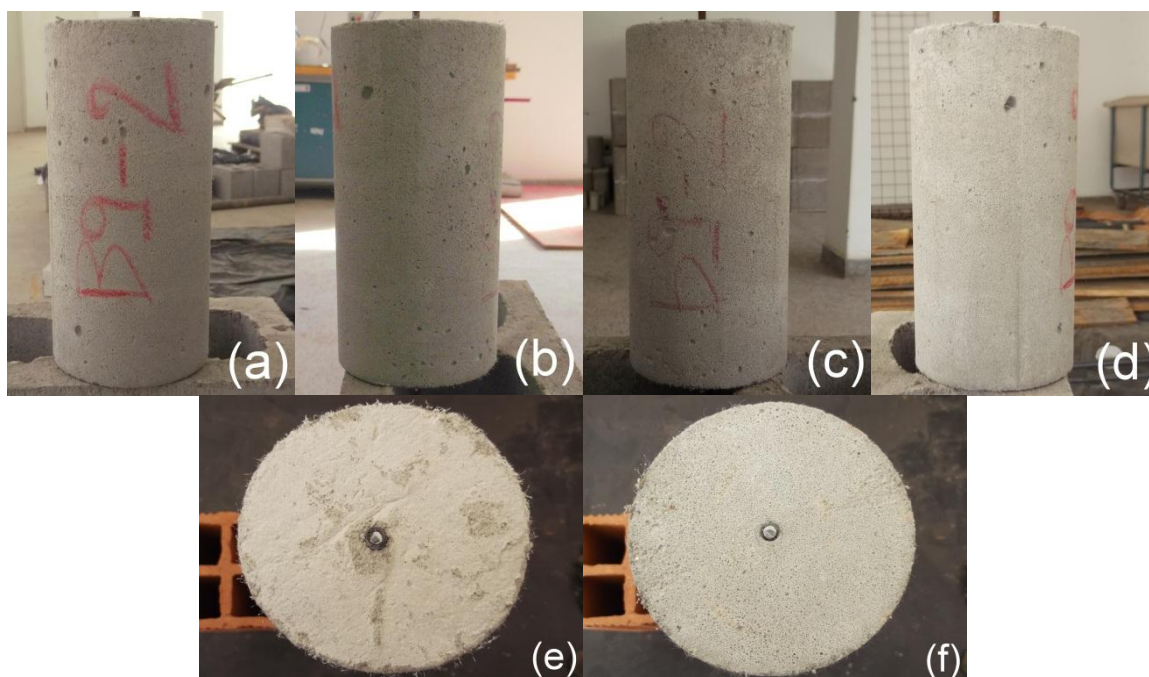
APÊNDICE AC – Laudo CP B9-2

Figura 222 - CP B9-2: antes arrancamento (parte externa).



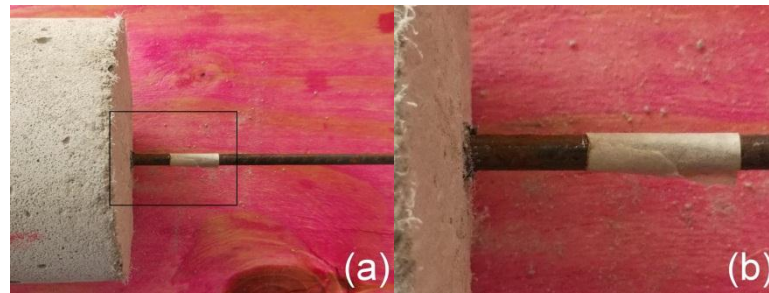
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 223 - CP B9-2: após arrancamento (parte externa).



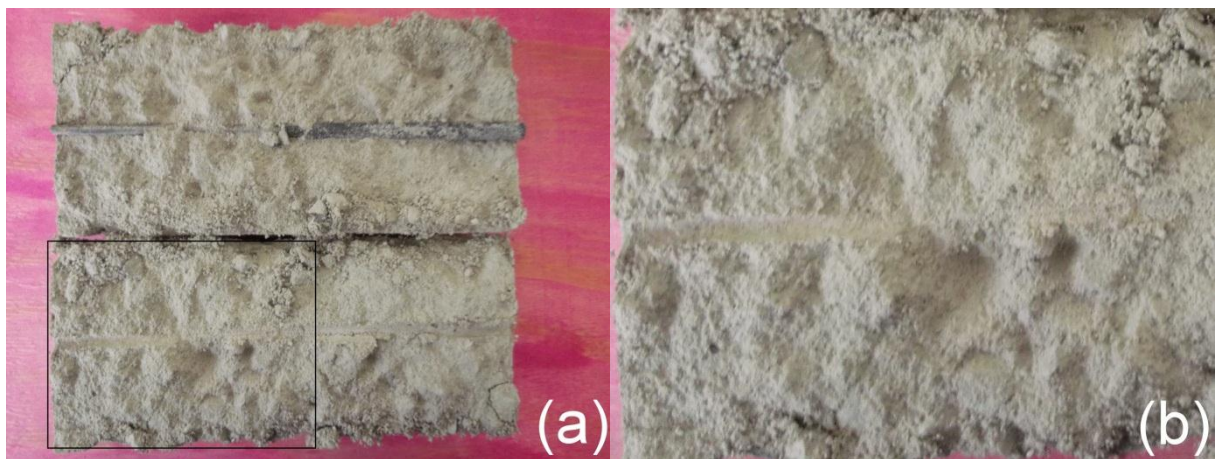
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 224 - CP B9-2: após arrancamento (modo de ruptura).



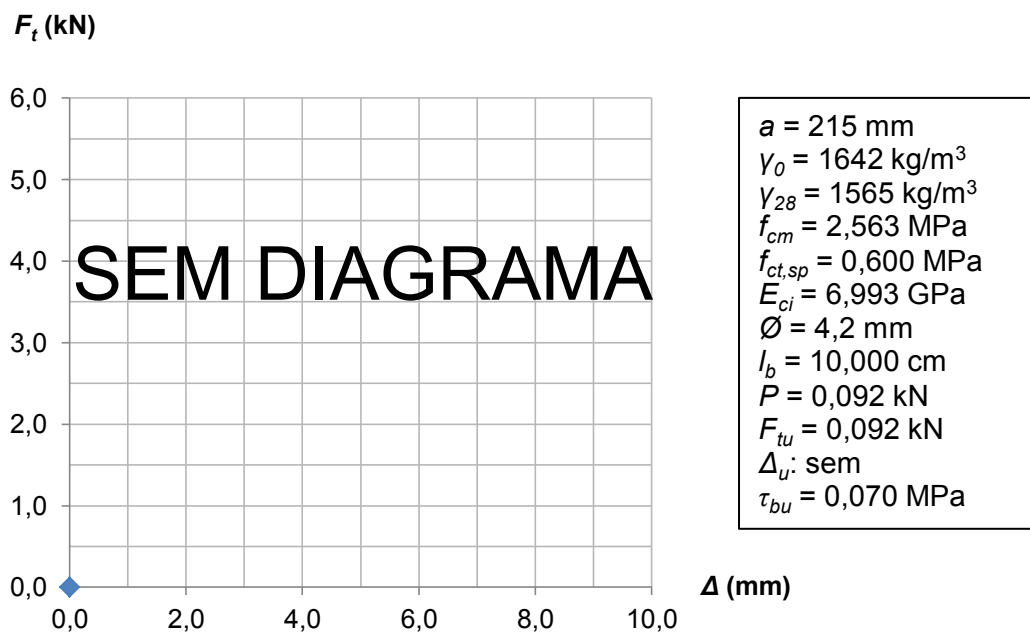
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 225 - CP B9-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 226 - CP B9-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

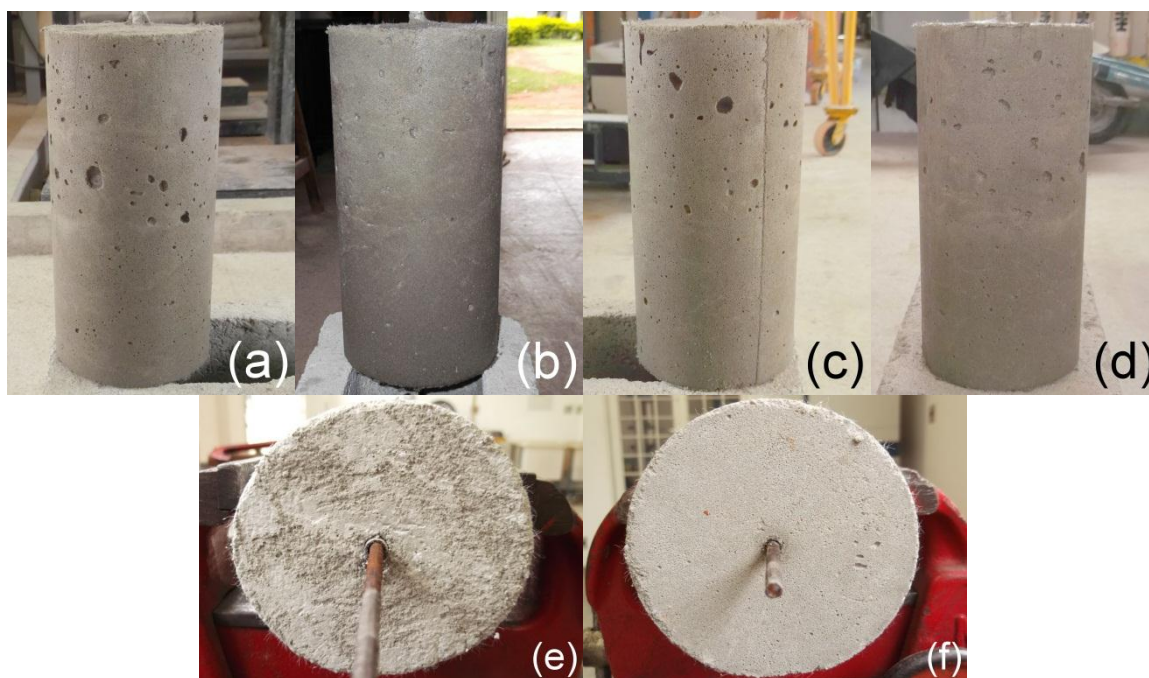
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 222 e Figura 223),
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 223).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 223).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 224). Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o deslizamento da armadura, impossibilitando a construção do Diagrama $F_r-\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o deslizamento da armadura, modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB2.

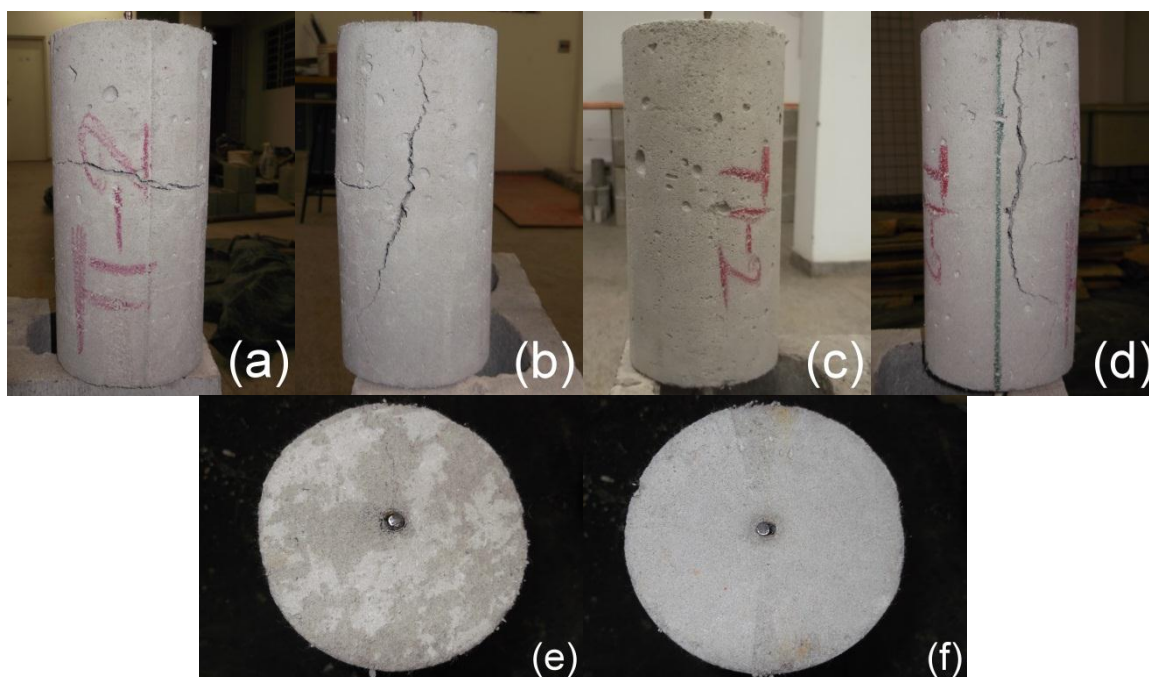
APÊNDICE AD – Laudo CP T1-2

Figura 227 - CP T1-2: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 228 - CP T1-2: após arrancamento (parte externa).



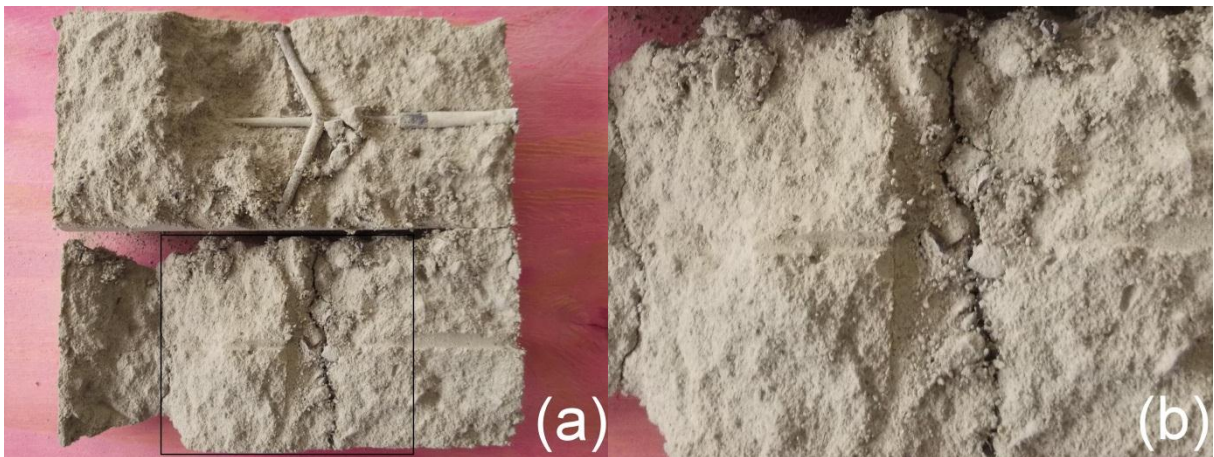
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 229 - CP T1-2: após arrancamento (modo de ruptura).



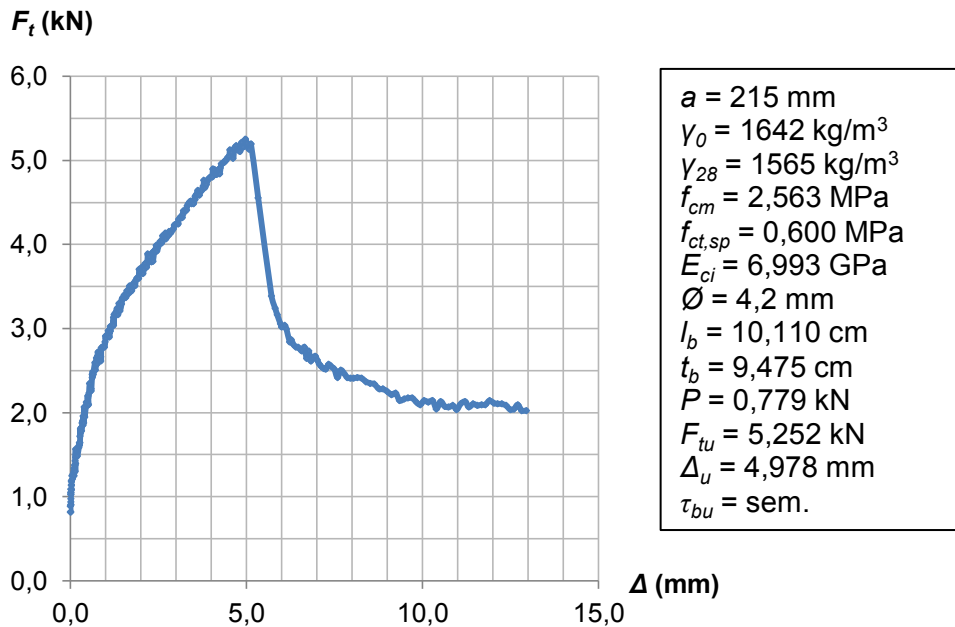
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 230 - CP T1-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 231 - CP T1-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

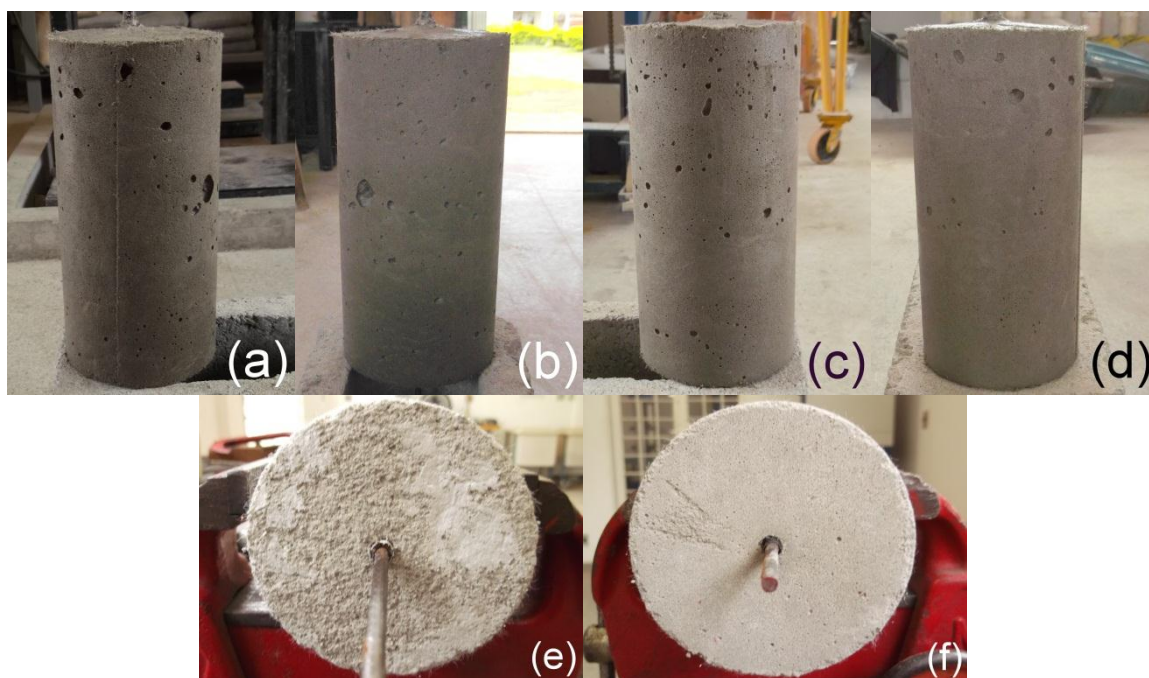
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 227), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 227-e-f e Figura 228-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 228-b-d) e transversal (Figura 228-a), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 229-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 229-c), e o esmagamento do concreto (Figura 230). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 231).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

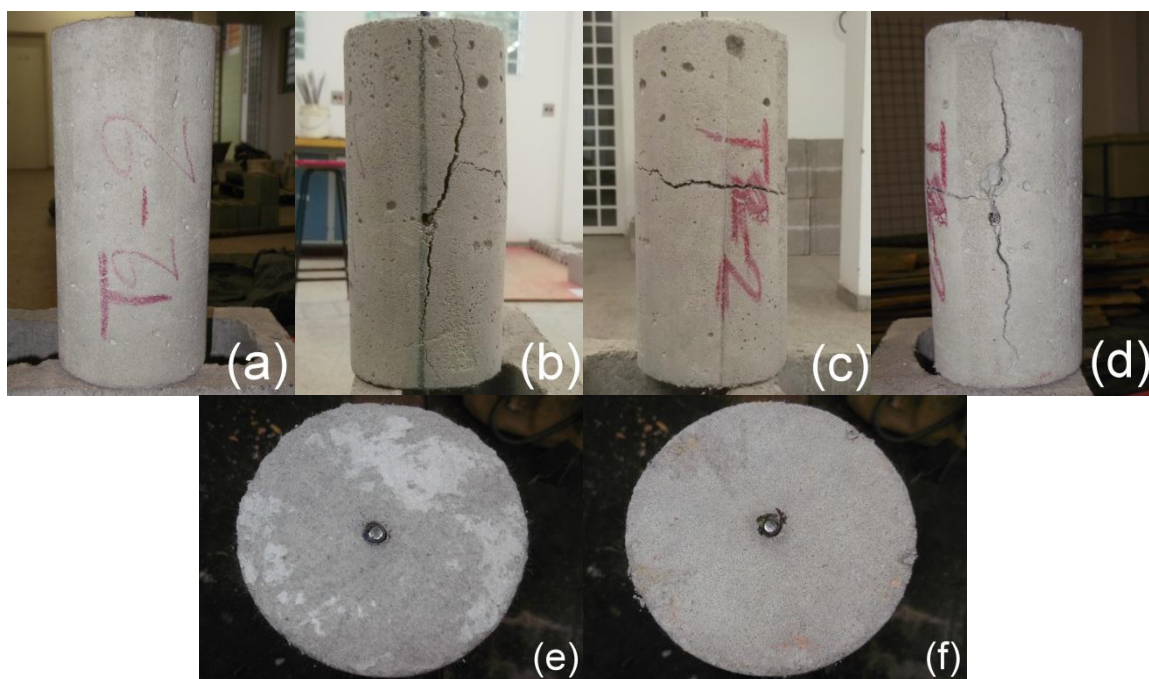
APÊNDICE AE – Laudo CP T2-2

Figura 232 - CP T2-2: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 233 - CP T2-2: após arrancamento (parte externa).



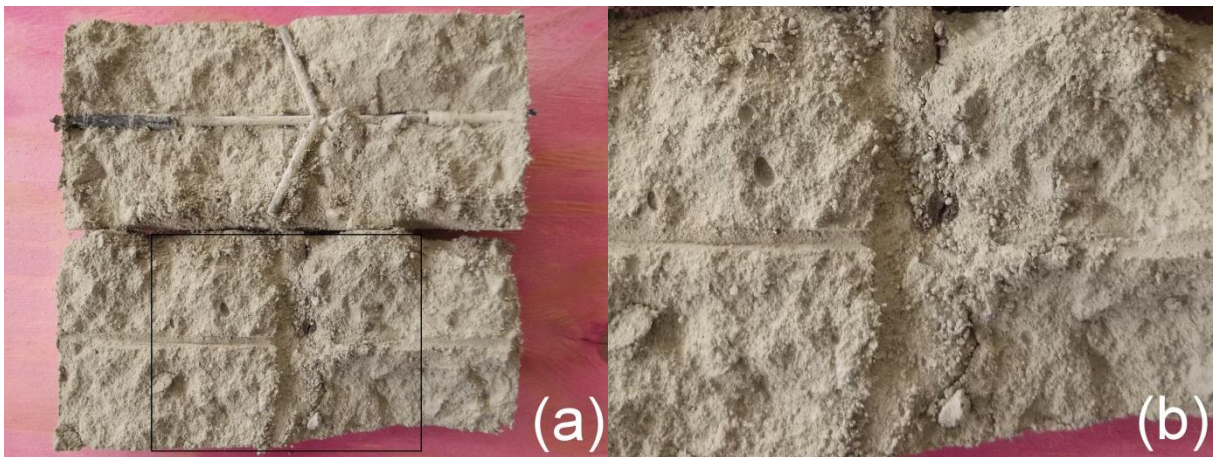
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 234 - CP T2-2: após arrancamento (modo de ruptura).



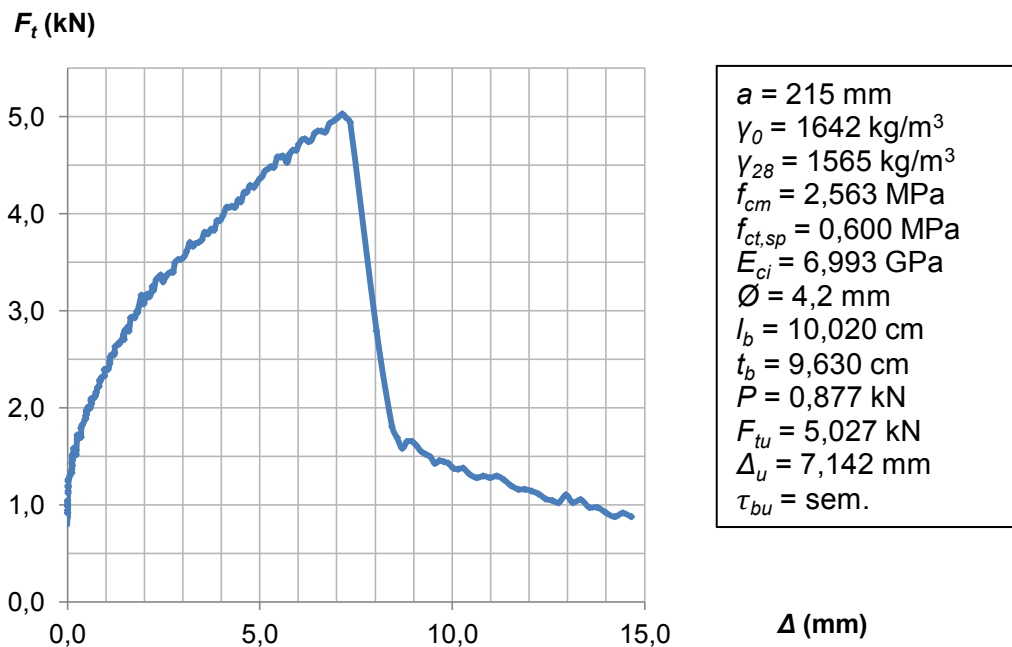
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 235 - CP T2-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 236 - CP T2-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

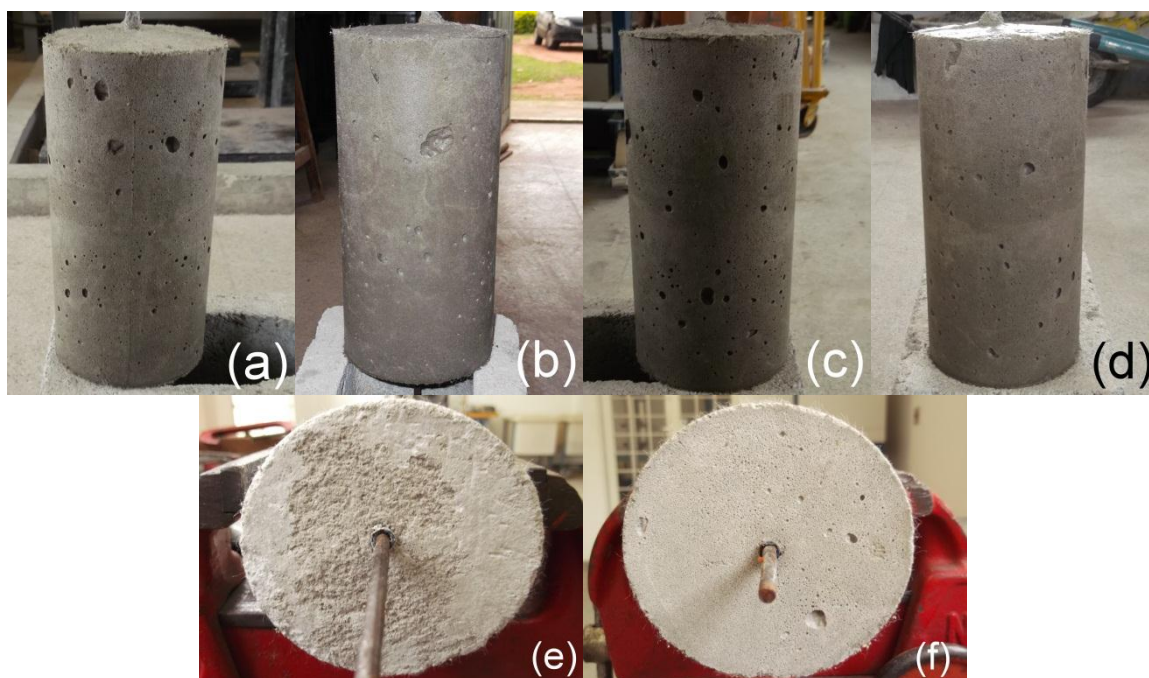
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 232), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 232-e-f, Figura 233-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 233-b-d) e transversal (Figura 233-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 234-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 234-c), e o esmagamento do concreto (Figura 235). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 236).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

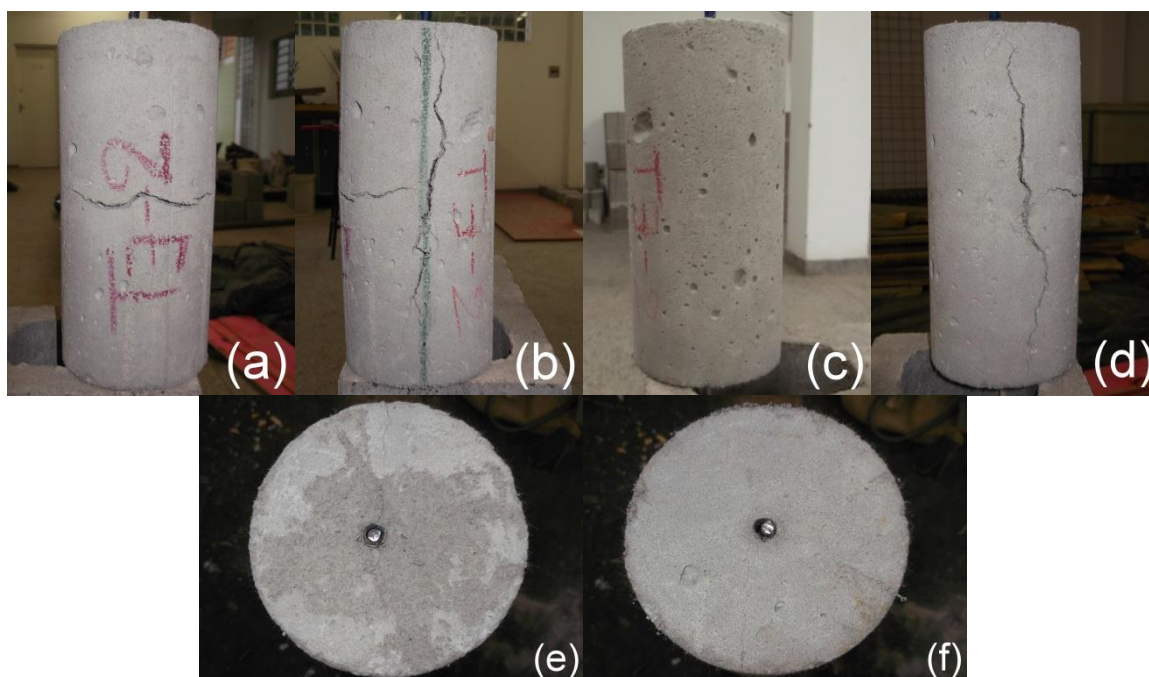
APÊNDICE AF – Laudo CP T3-2

Figura 237 - CP T3-2: antes arrancamento (parte externa).



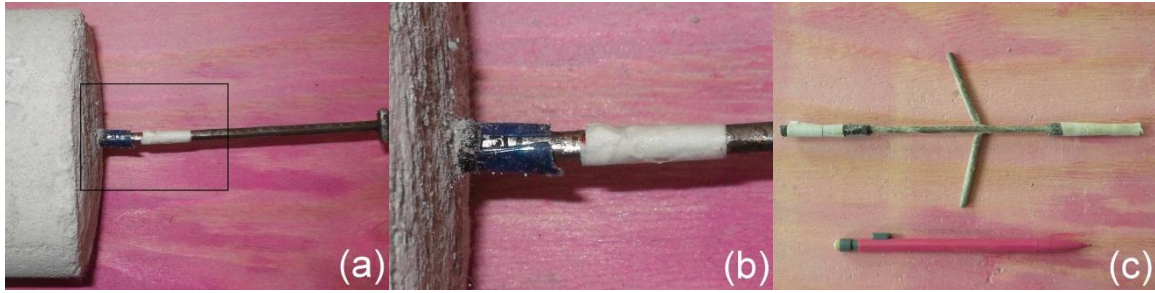
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 238 - CP T3-2: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 239 - CP T3-2: após arrancamento (modo de ruptura).



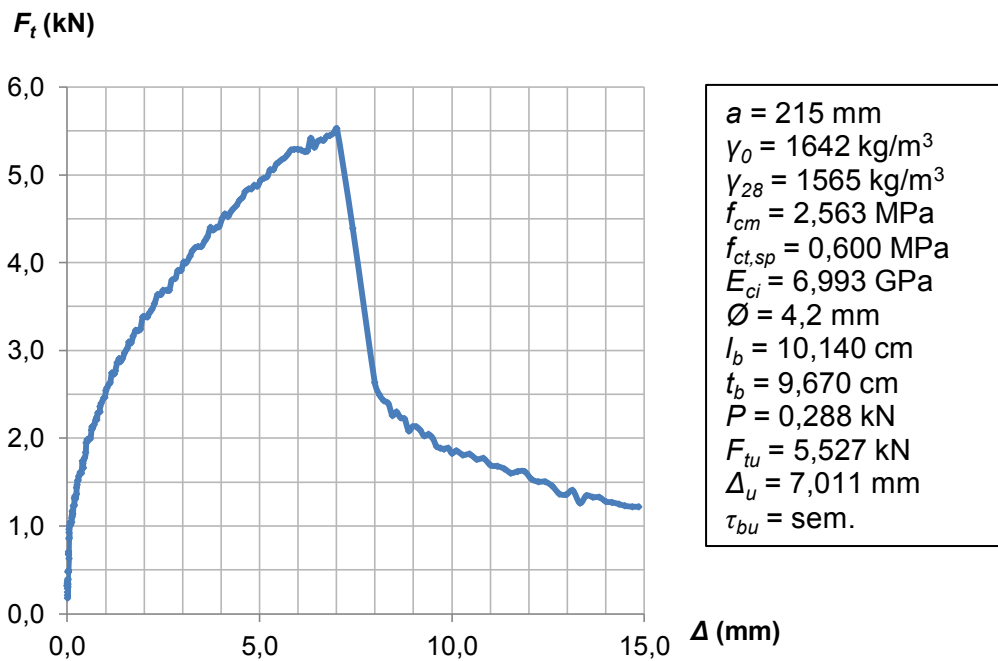
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 240 - CP T3-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 241 - CP T3-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

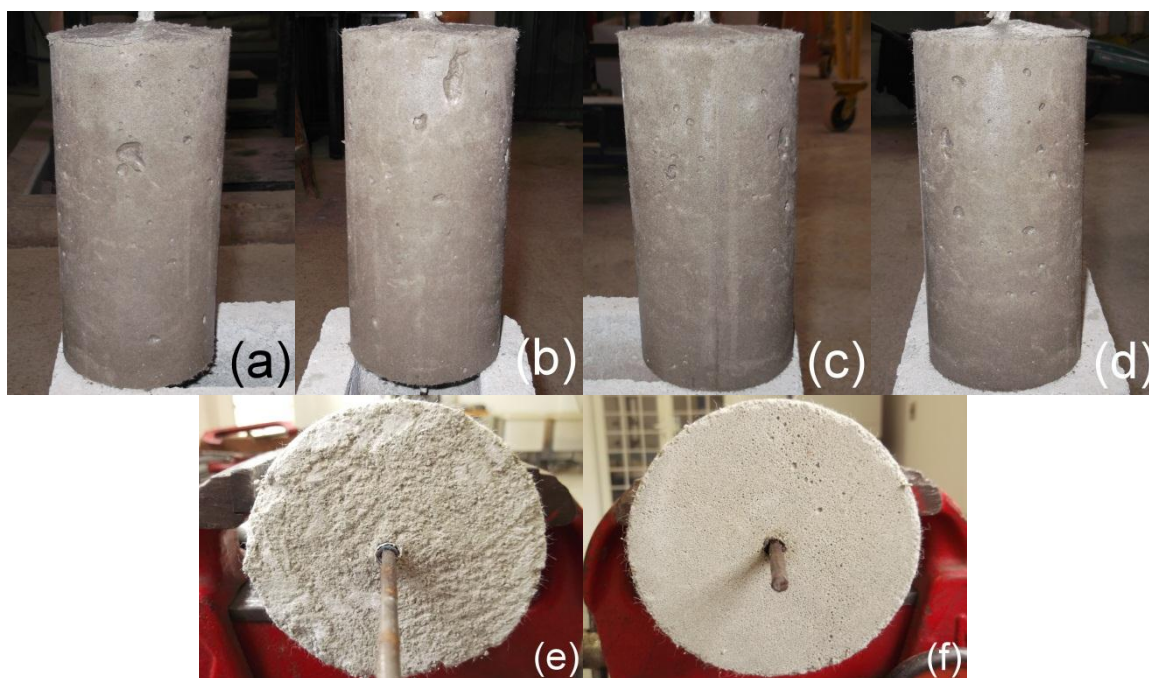
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras importantes (Figura 237 e Figura 238), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 237-e-f, Figura 238-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 238-b-d) e transversal (Figura 238-a), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 239-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 239-c), e o esmagamento do concreto (Figura 240). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 241).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

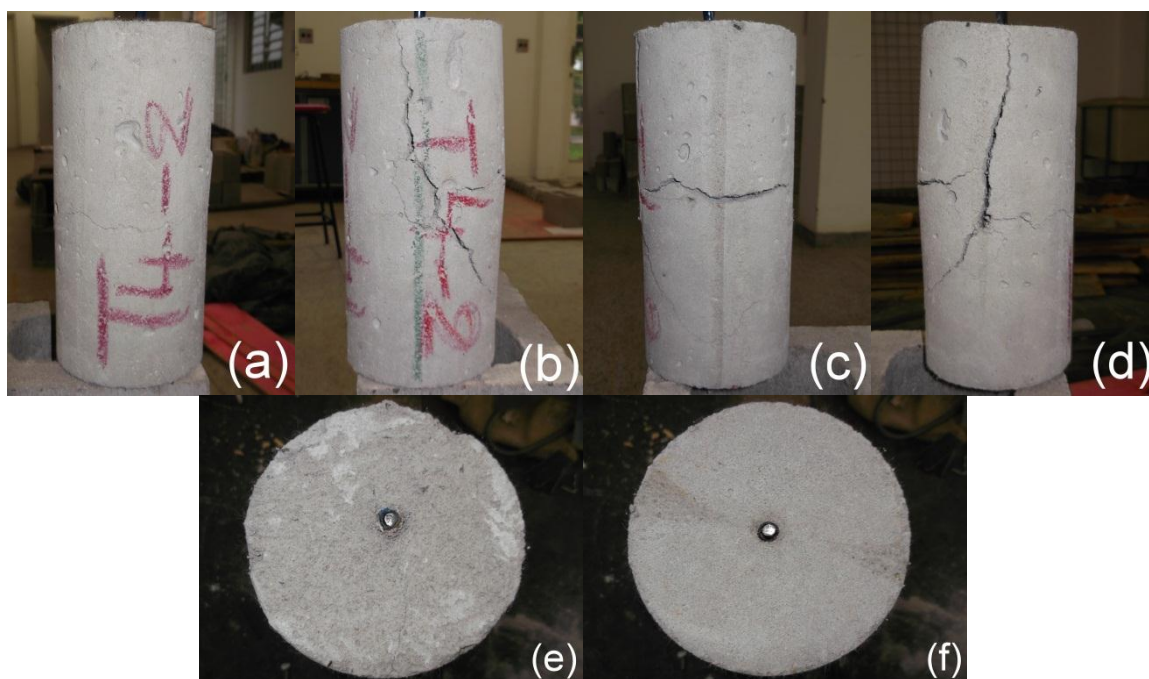
APÊNDICE AG – Laudo CP T4-2

Figura 242 - CP T4-2: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 243 - CP T4-2: após arrancamento (parte externa).



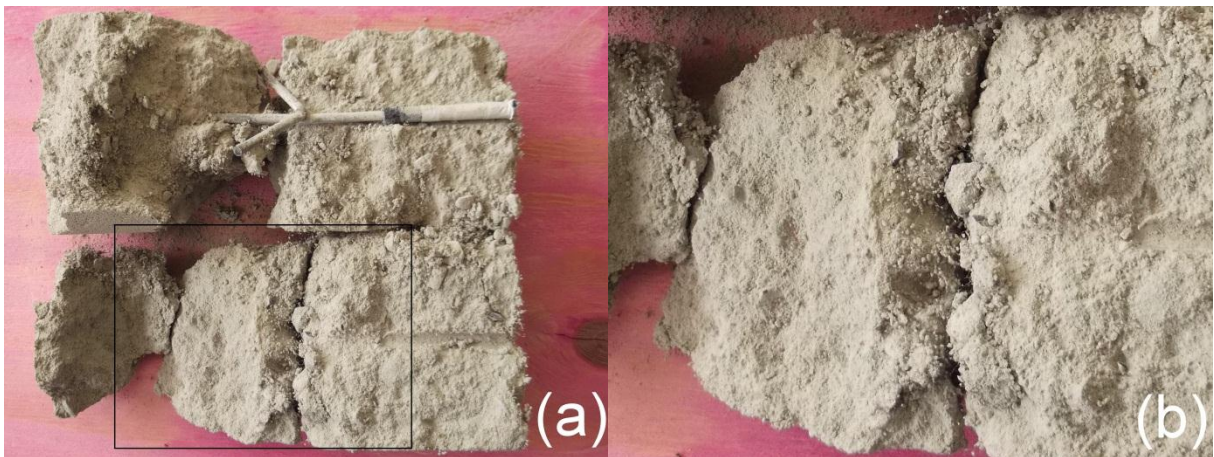
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 244 - CP T4-2: após arrancamento (modo de ruptura).



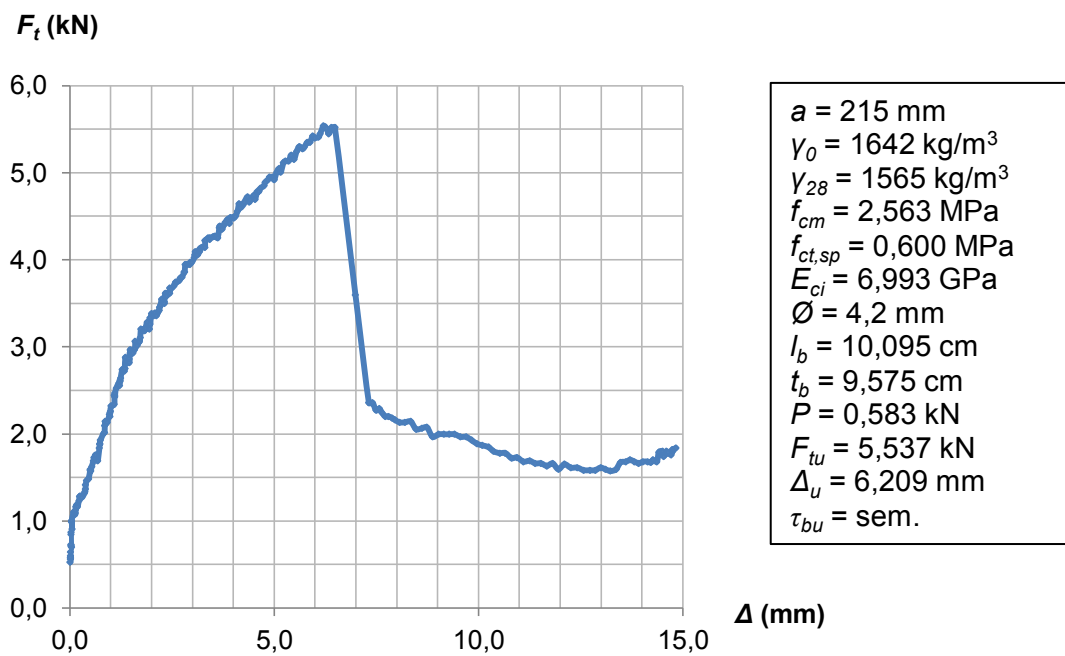
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 245 - CP T4-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 246 - CP T4-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

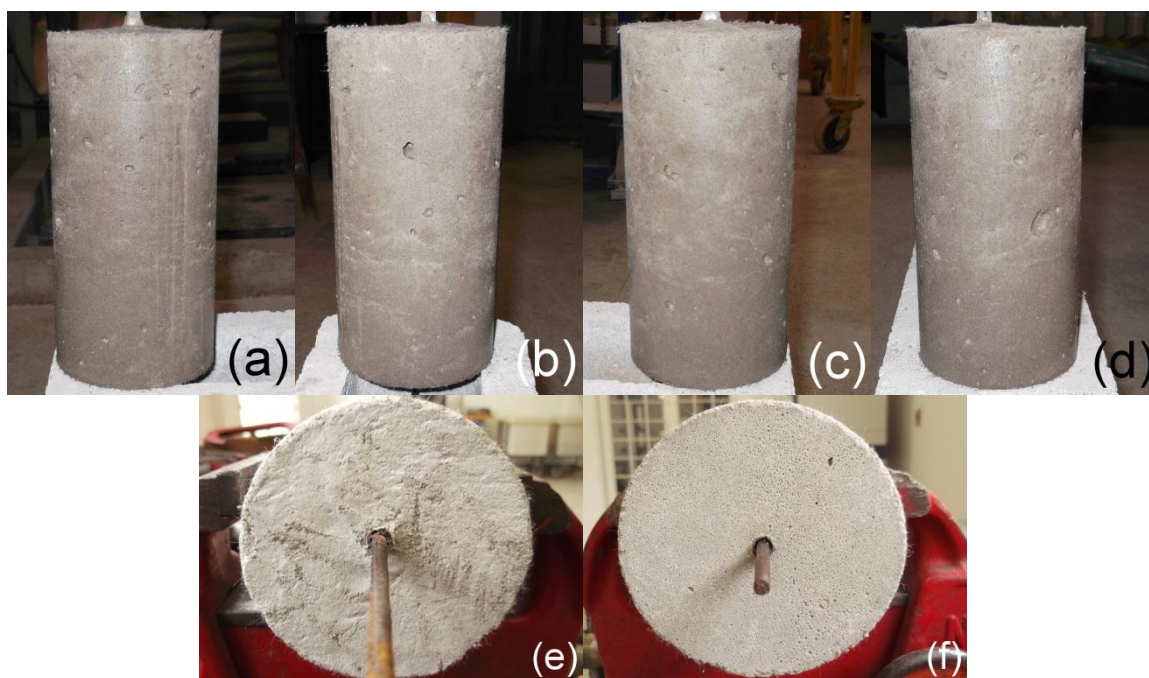
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras importantes (Figura 242-a-b), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 242-e-f e Figura 243-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 243-b-d) e transversal (Figura 243-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 244-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 244-c) e o esmagamento do concreto (Figura 245). Diagrama $F_t\text{-}\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 246).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t\text{-}\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

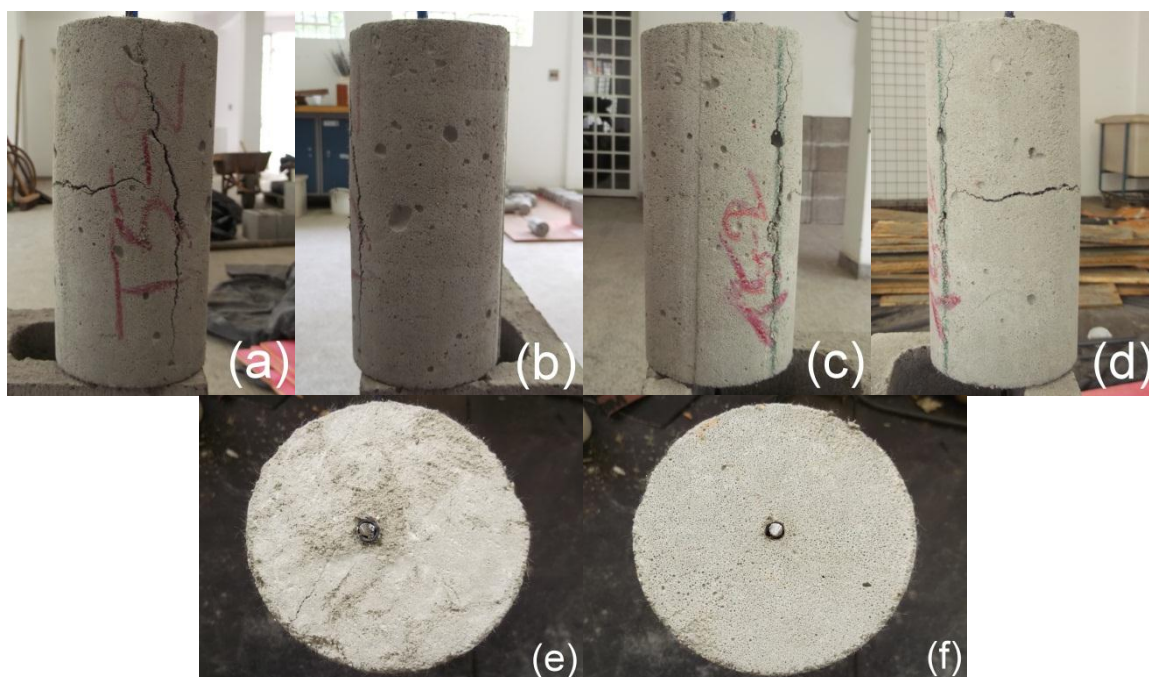
APÊNDICE AH – Laudo CP T5-2

Figura 247 - CP T5-2: antes arrancamento (parte externa).



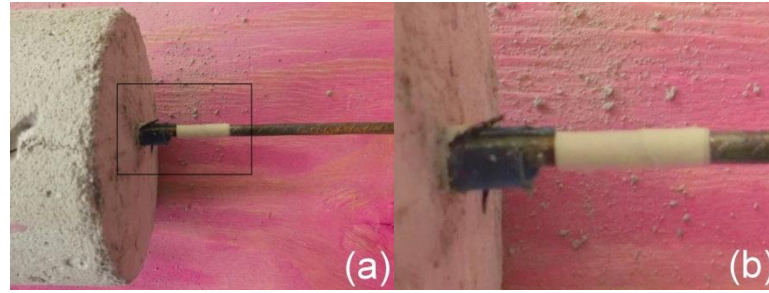
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 248 - CP T5-2: após arrancamento (parte externa).



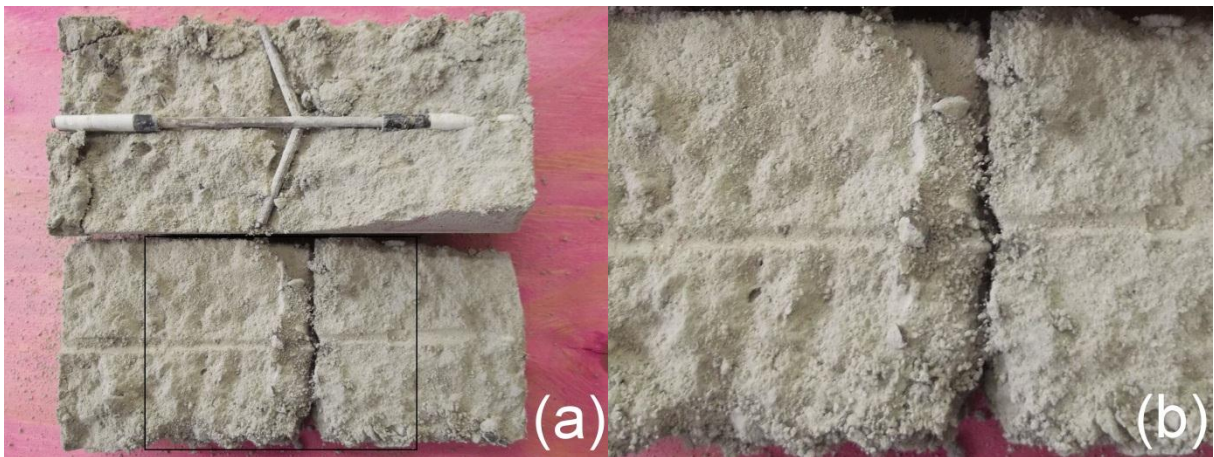
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 249 - CP T5-2: após arrancamento (modo de ruptura).



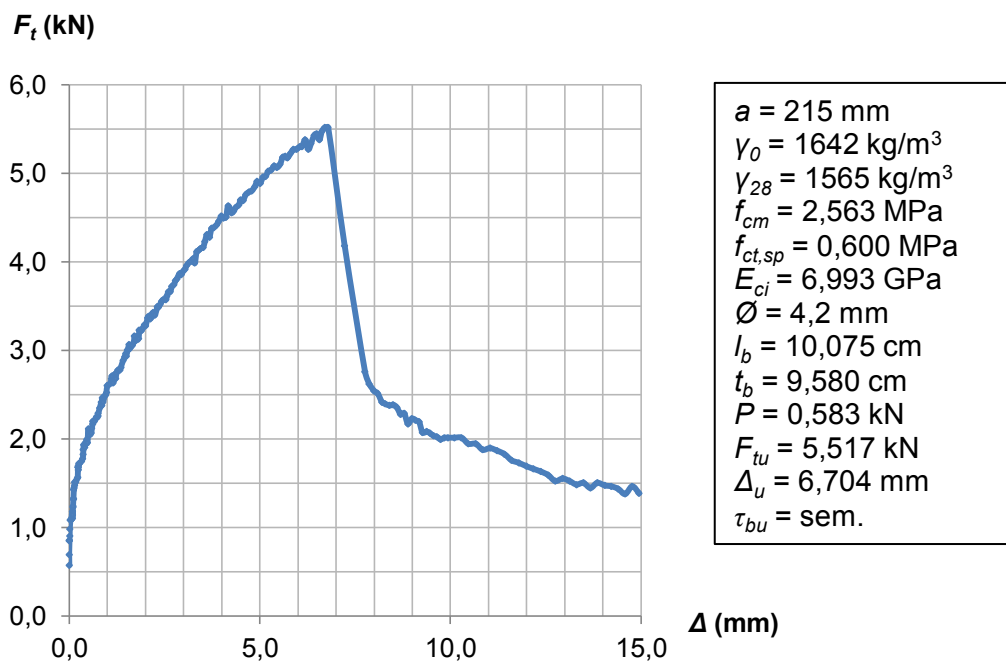
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 250 - CP T5-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 251 - CP T5-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

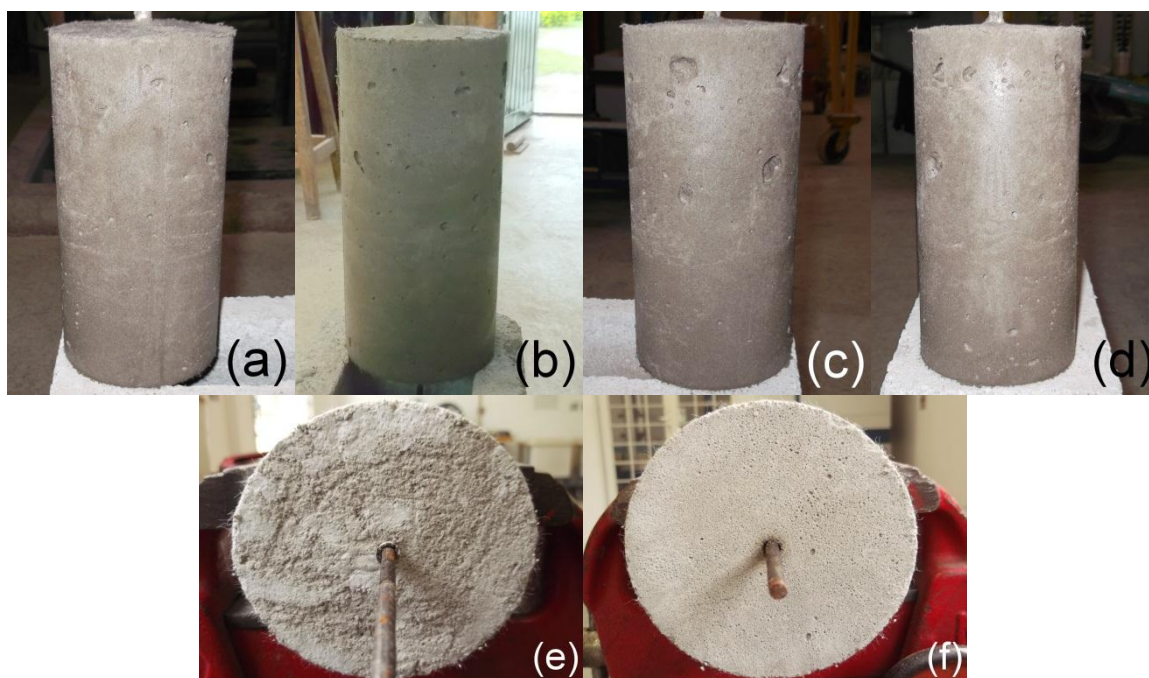
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 247-b-d e Figura 248-b-c), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 247-e-f e Figura 248-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 248-a-c) e transversal (Figura 248-d), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 249-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 250-a) e o esmagamento do concreto (Figura 250). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 251).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

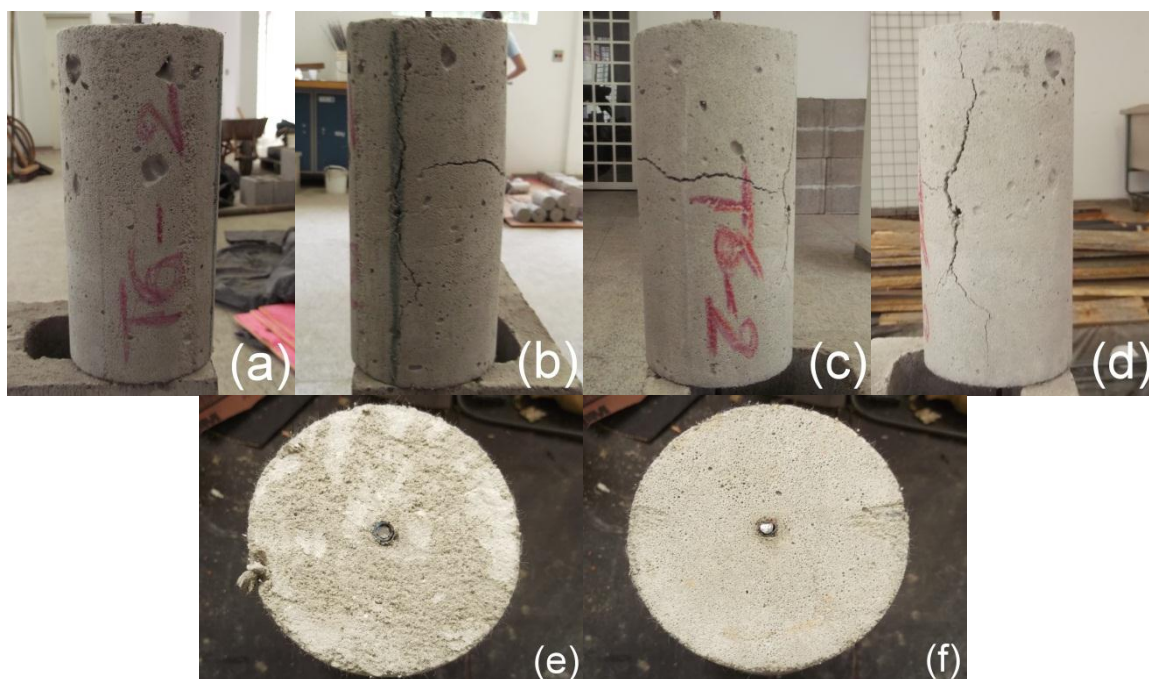
APÊNDICE AI – Laudo CP T6-2

Figura 252 - CP T6-2: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 253 - CP T6-2: após arrancamento (parte externa).



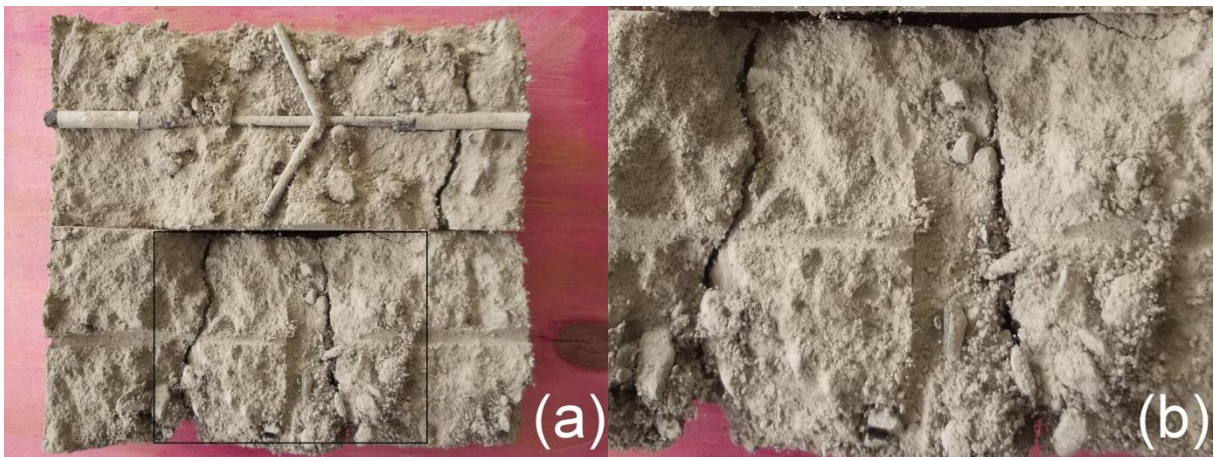
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 254 - CP T6-2: após arrancamento (modo de ruptura).



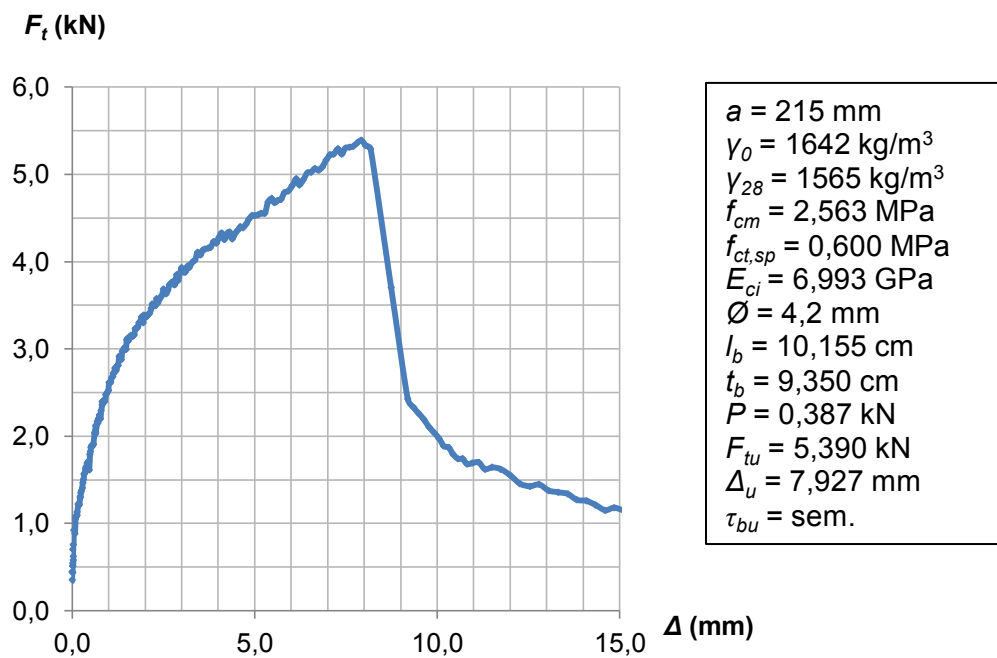
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 255 - CP T6-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 256 - CP T6-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

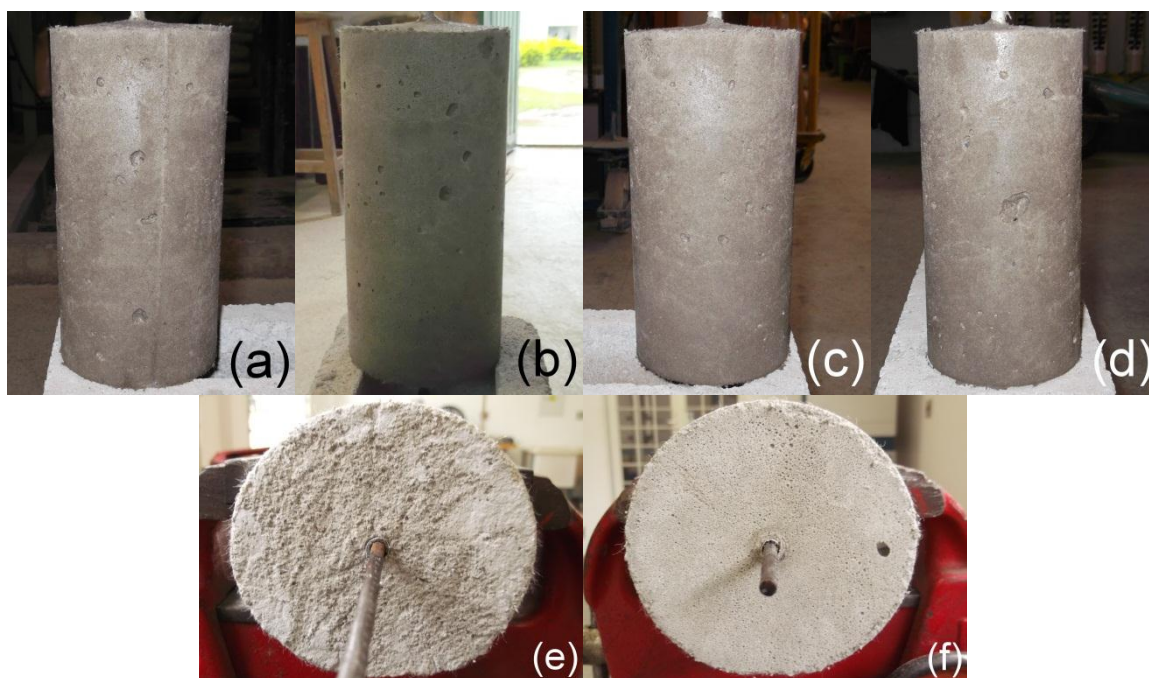
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras importantes (Figura 252-c-d e Figura 253), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 252-e-f e Figura 253-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 253-b-d) e transversal (Figura 253-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 254-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 254-c) e o esmagamento do concreto (Figura 255). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 256).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

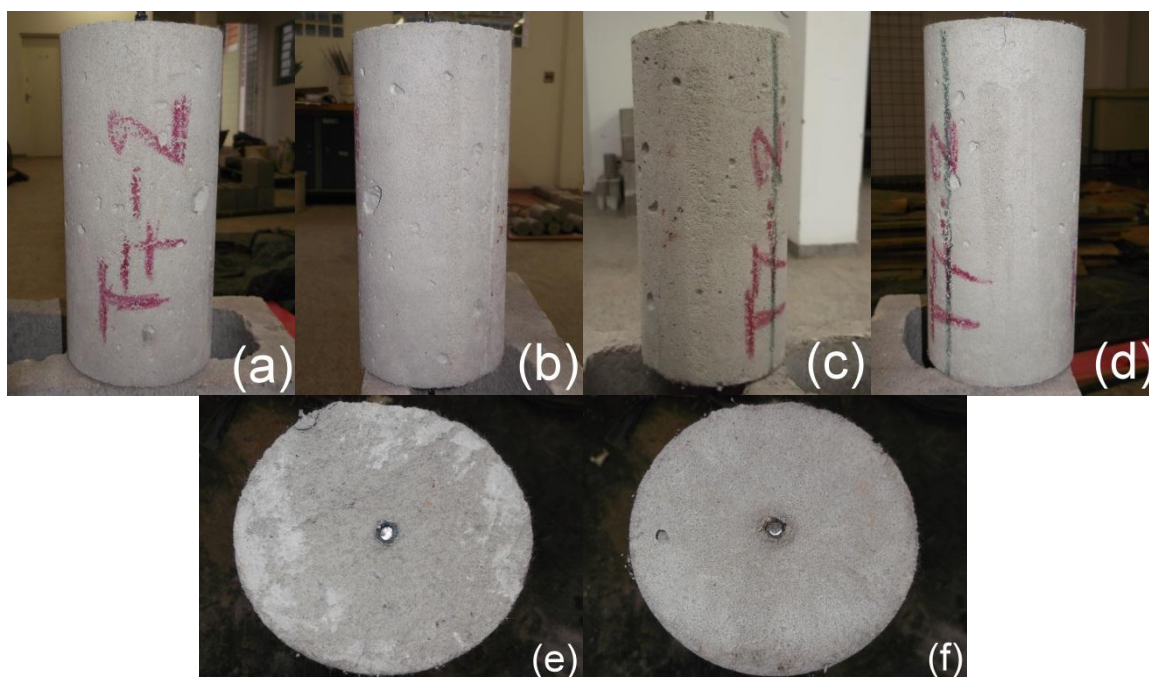
APÊNDICE AJ – Laudo CP T7-2

Figura 257 - CP T7-2: antes arrancamento (parte externa).



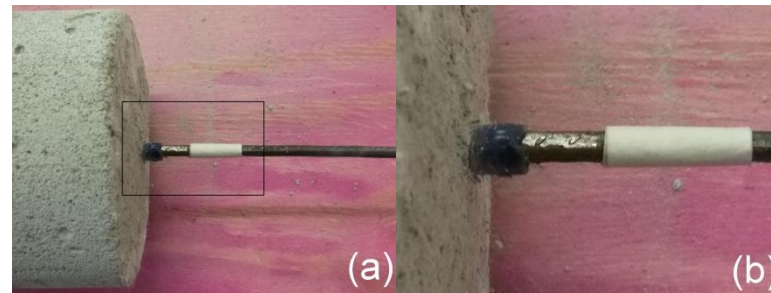
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 258 - CP T7-2: após arrancamento (parte externa).



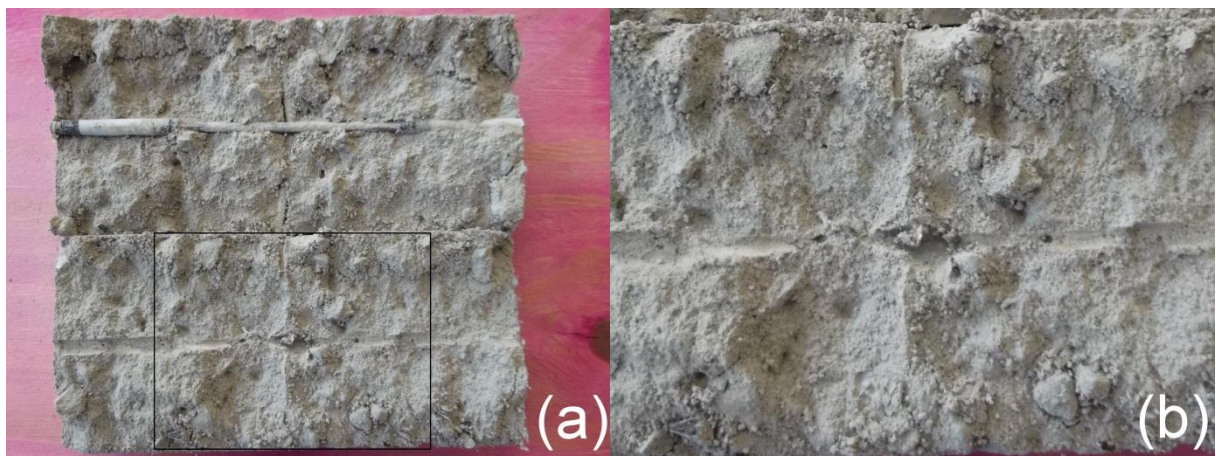
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 259 - CP T7-2: após arrancamento (modo de ruptura).



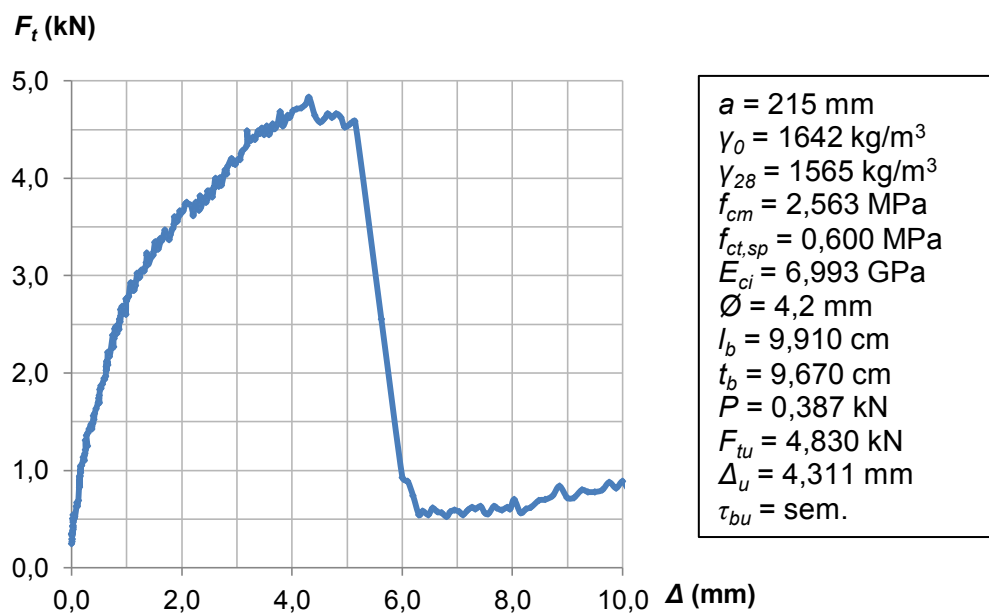
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 260 - CP T7-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 261 - CP T7-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

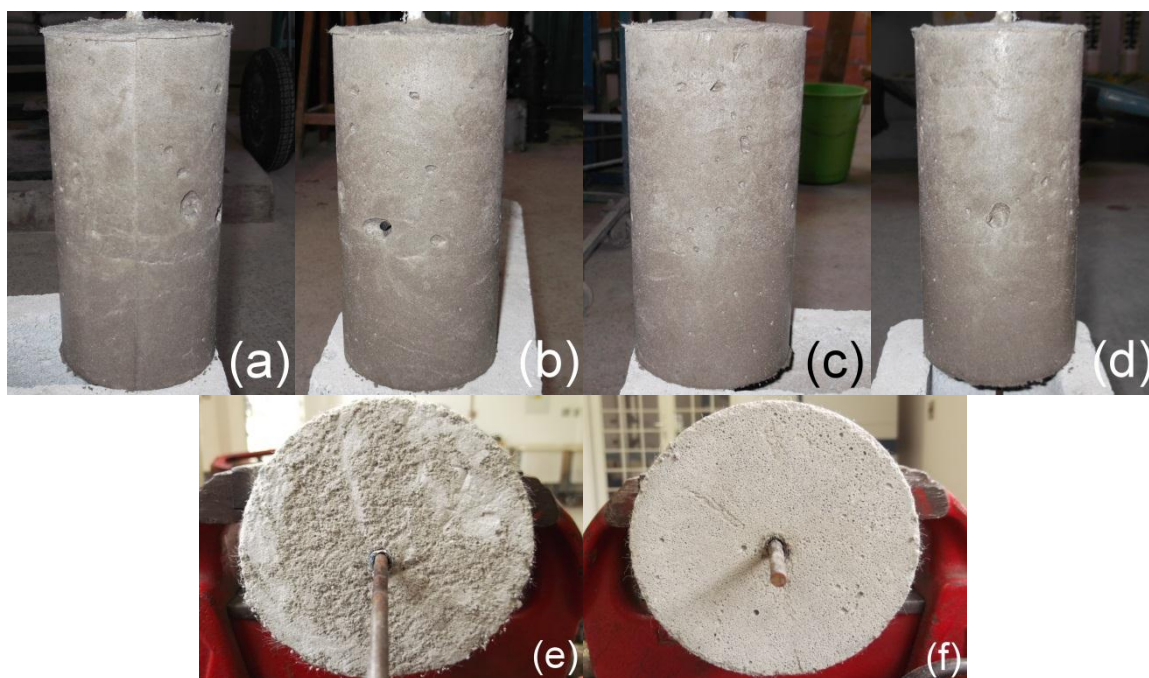
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 257 e Figura 258), a priori sem influência sobre o resultado. Presença de uma bicheira com diâmetro maior no lugar da armadura transversal (Figura 257-d e Figura 258-b).
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 257-e-f e Figura 258-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: ausência de fissuração (Figura 258).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 259-a-b) com leve flexão da armadura transversal (Figura 260-a). Diagrama $F_t-\Delta$ característico de uma ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 261).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provocou uma leve flexão da barra transversal, sem esmagamento do concreto (ausência de fissuração após a ruptura). O diagrama $F_t-\Delta$ característico de uma ruptura do tipo frágil permite supor que a solda entre as barras transversal e longitudinal quebrou, e que em seguida a armadura longitudinal deslizou sozinha (o que explicaria a ausência de fissuração ao longo do ensaio). Não foi possível confirmar essa conclusão visualmente (CP já descartado durante a análise dos resultados). Ensaio com o menor F_{tu} da amostra AT2 (4,830 kN).

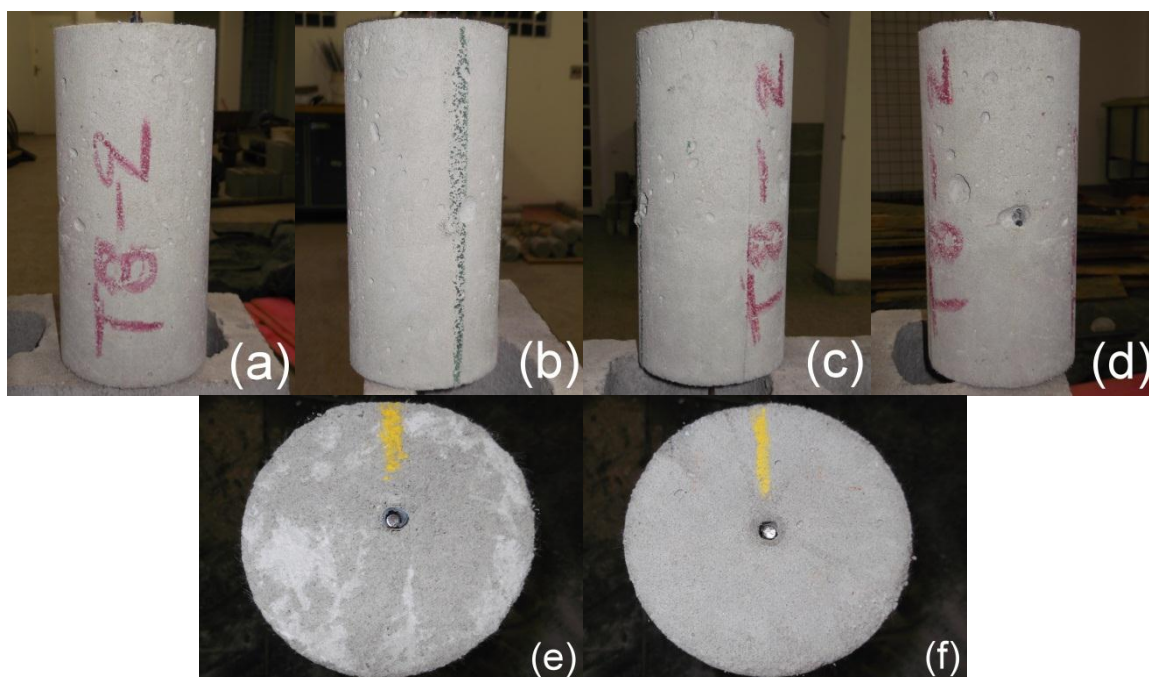
APÊNDICE AK – Laudo CP T8-2

Figura 262 - CP T8-2: antes arrancamento (parte externa).



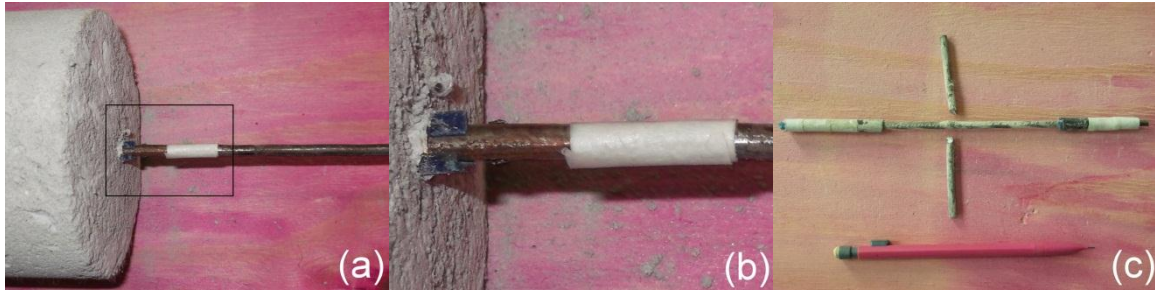
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 263 - CP T8-2: após arrancamento (parte externa).



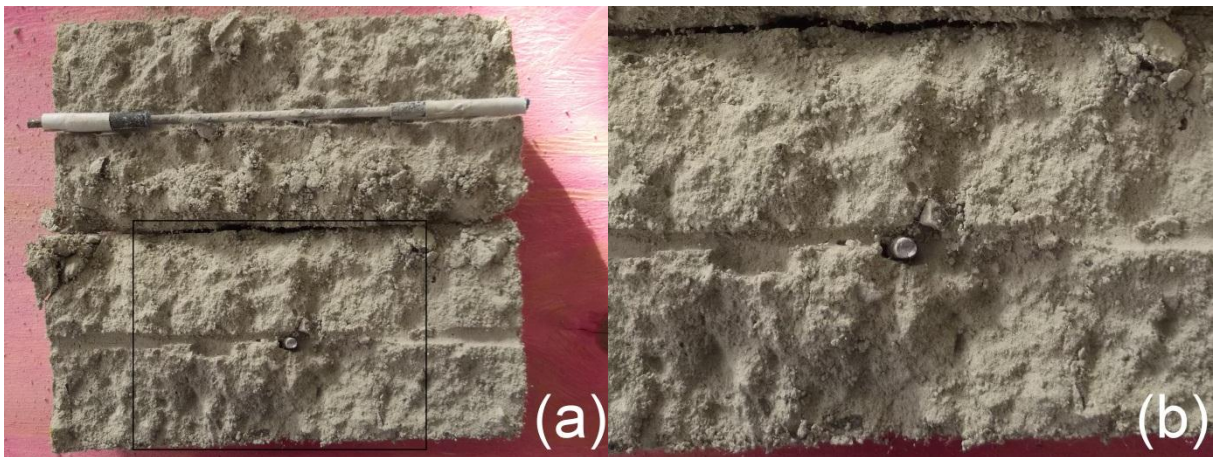
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 264 - CP T8-2: após arrancamento (modo de ruptura).



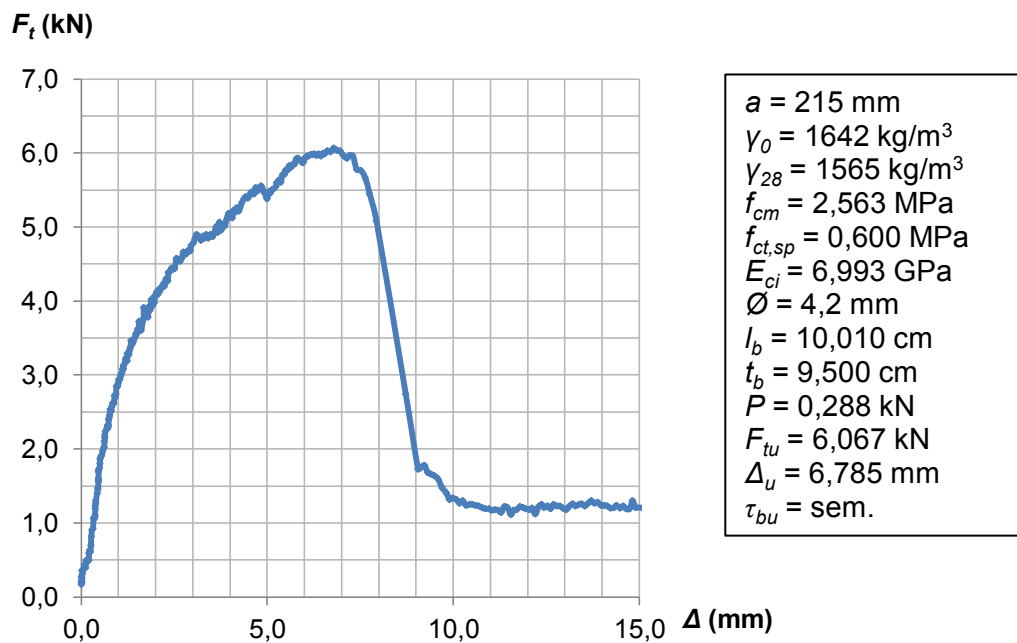
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 265 - CP T8-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 266 - CP T8-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

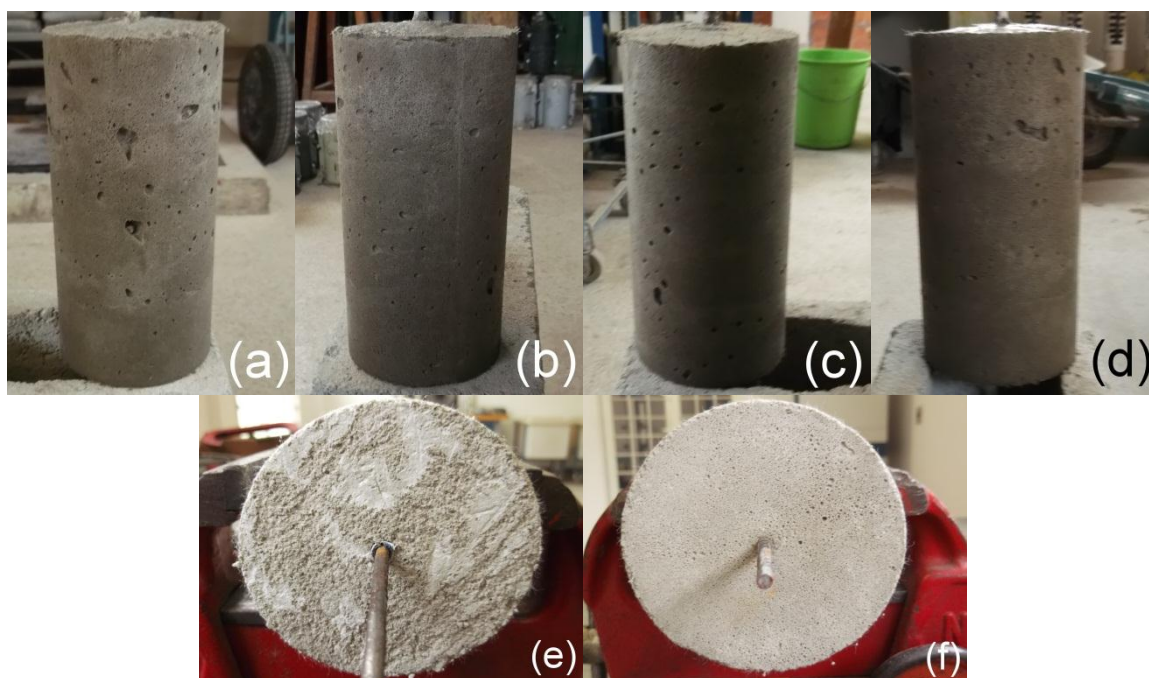
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 262 e Figura 263), a priori sem influência sobre o resultado. Presença de duas bicheiras com diâmetro maior no lugar da armadura transversal (Figura 262-b-d).
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro no topo do cilindro (Figura 262-e-f e Figura 263-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: ausência de fissuração (Figura 263).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 264-a-b) com ruptura da armadura transversal por flexão (Figura 264-c). Diagrama $F_t-\Delta$ característico de uma ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 266).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provocou a ruptura da barra transversal por flexão, sem esmagamento do concreto (ausência de fissuração após a ruptura). O diagrama $F_t-\Delta$ característico de uma ruptura do tipo frágil é coerente com as observações visuais. Ensaio com o maior F_{tu} da amostra AT2 (6,067 kN).

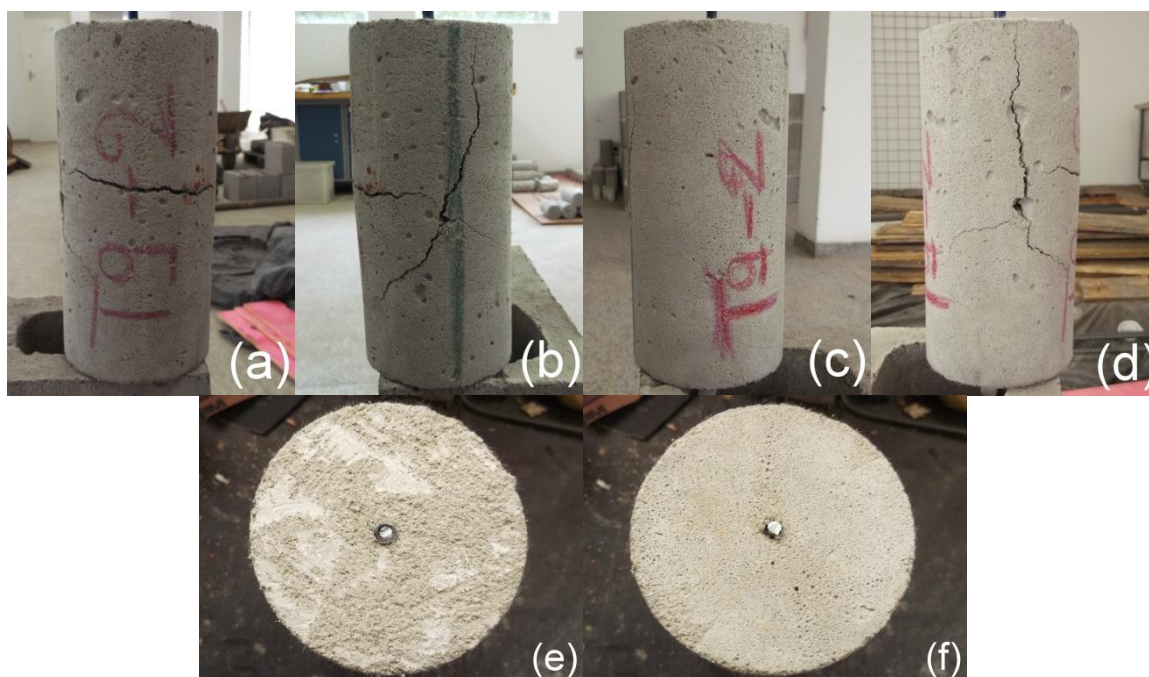
APÊNDICE AL – Laudo CP T9-2

Figura 267 - CP T9-2: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 268 - CP T9-2: após arrancamento (parte externa).



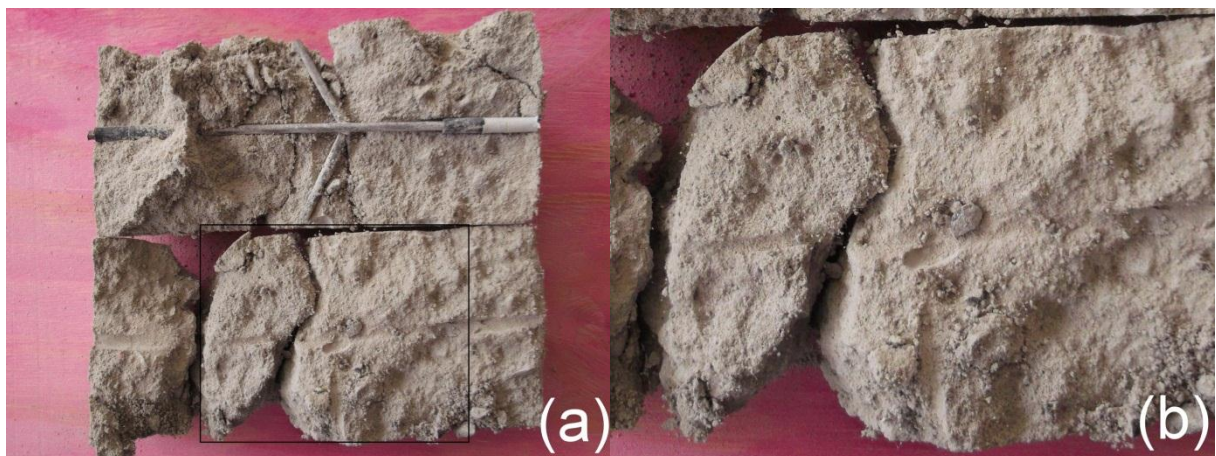
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 269 - CP T9-2: após arrancamento (modo de ruptura).



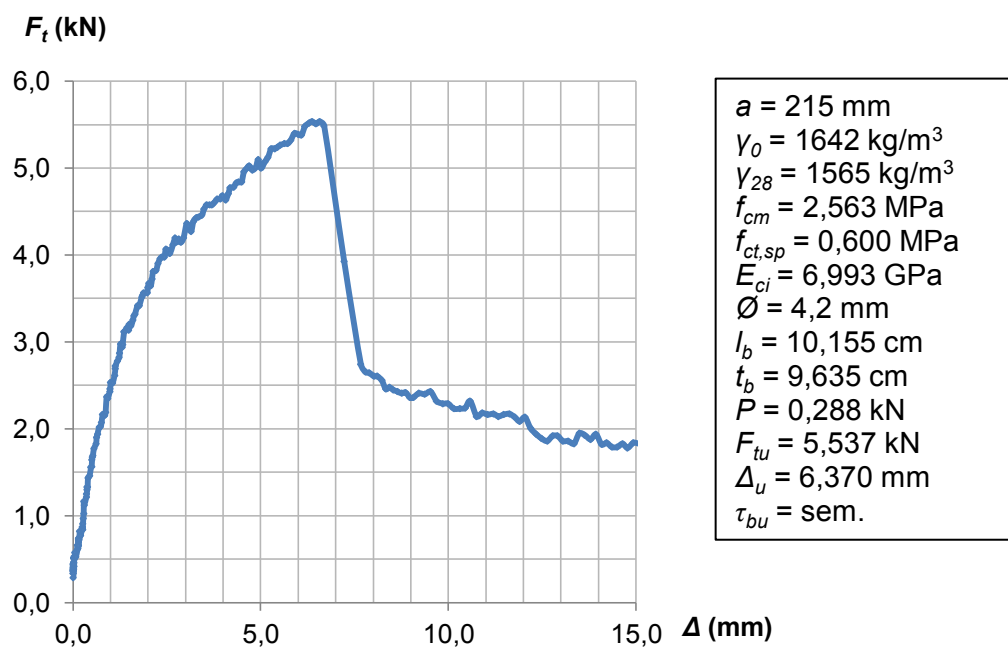
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 270 - CP T9-2: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 271 - CP T9-2: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

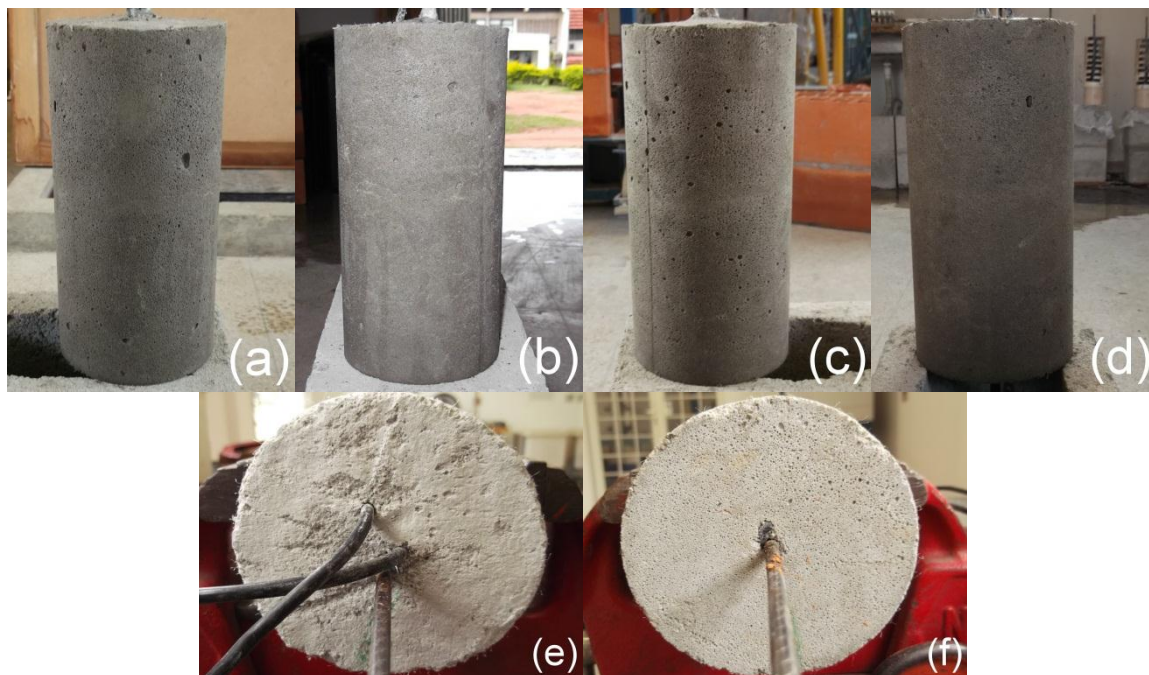
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 267 e Figura 268), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 267-e-f e Figura 268-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 268-b-d) e transversal (Figura 268-a), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 269-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 269-c) e o esmagamento do concreto (Figura 270). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 271).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT2.

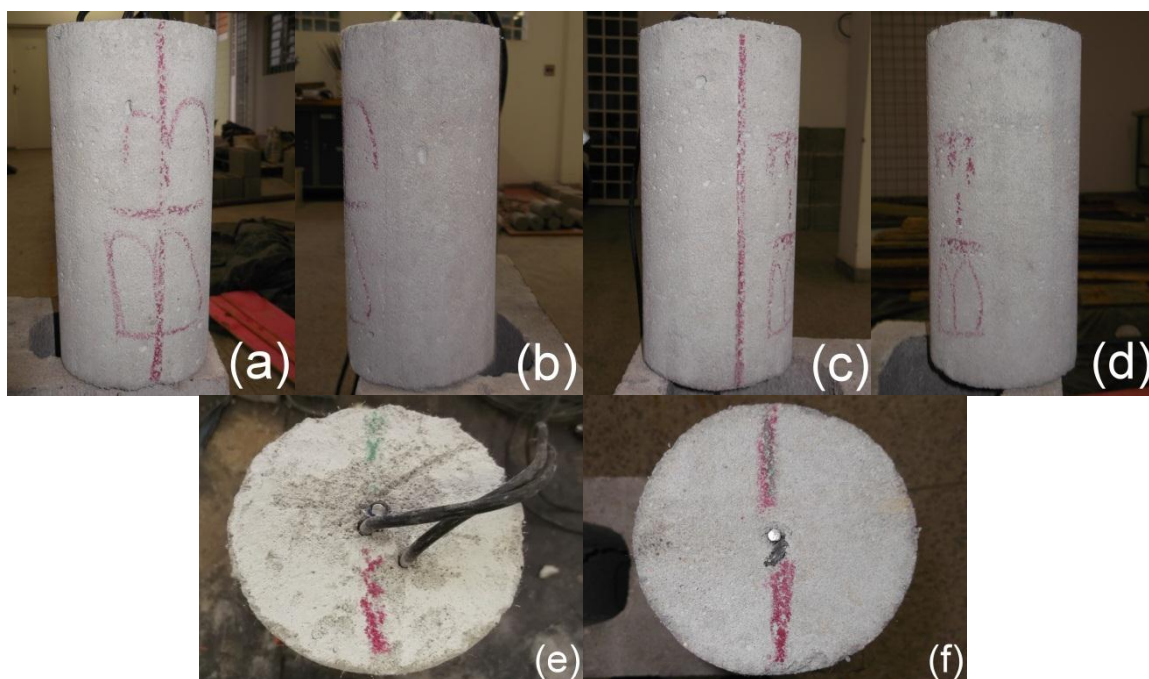
APÊNDICE AM – Laudo CP B1-3

Figura 272 - CP B1-3: antes arrancamento (parte externa).



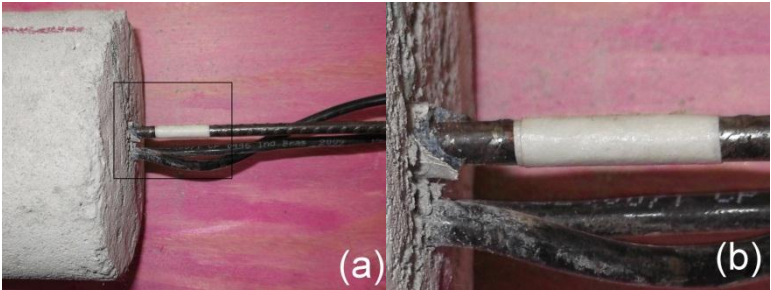
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 273 - CP B1-3: após arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 274 - CP B1-3: após arrancamento (modo de ruptura).



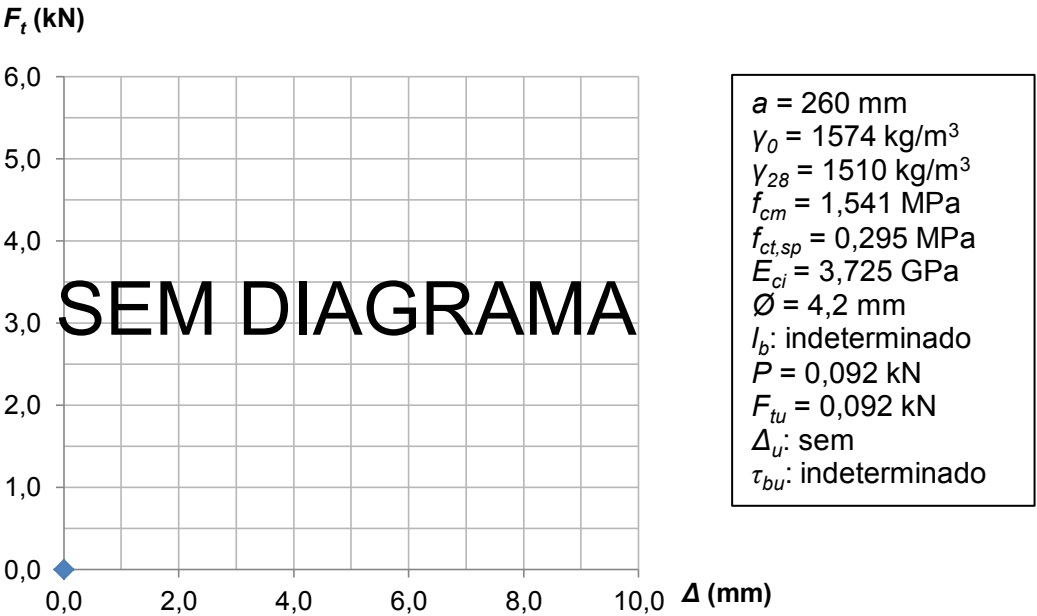
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 275 - CP B1-3: após arrancamento (parte interna).

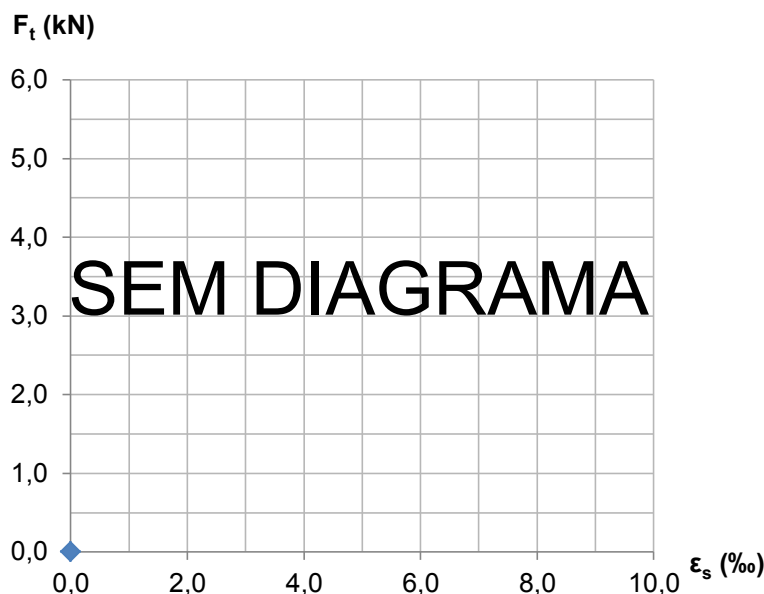


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 276 - CP B1-3: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 277 - CP B1-3: diagrama $F_t-\epsilon_s$.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

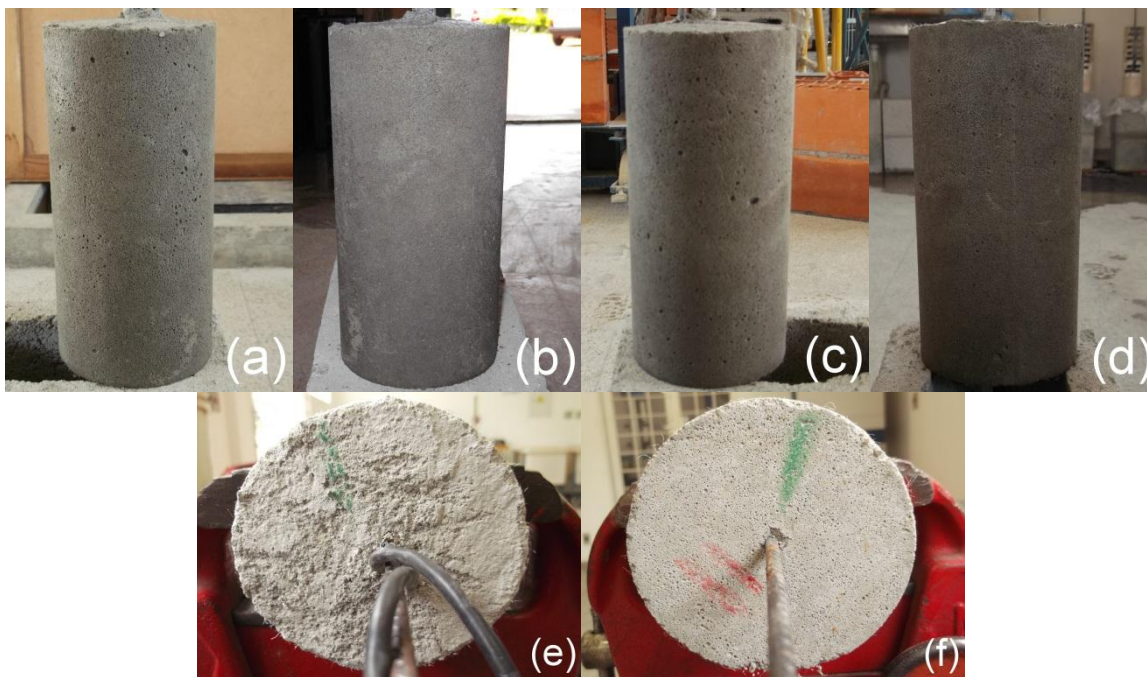
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 272), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 272-e-f e Figura 273-e-f). Inclinação da armadura dentro do CP (Figura 275-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 273).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 274).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,092$ kN), impossibilitando a construção dos diagramas $F_t-\Delta$ e $F_t-\epsilon_s$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3-E.

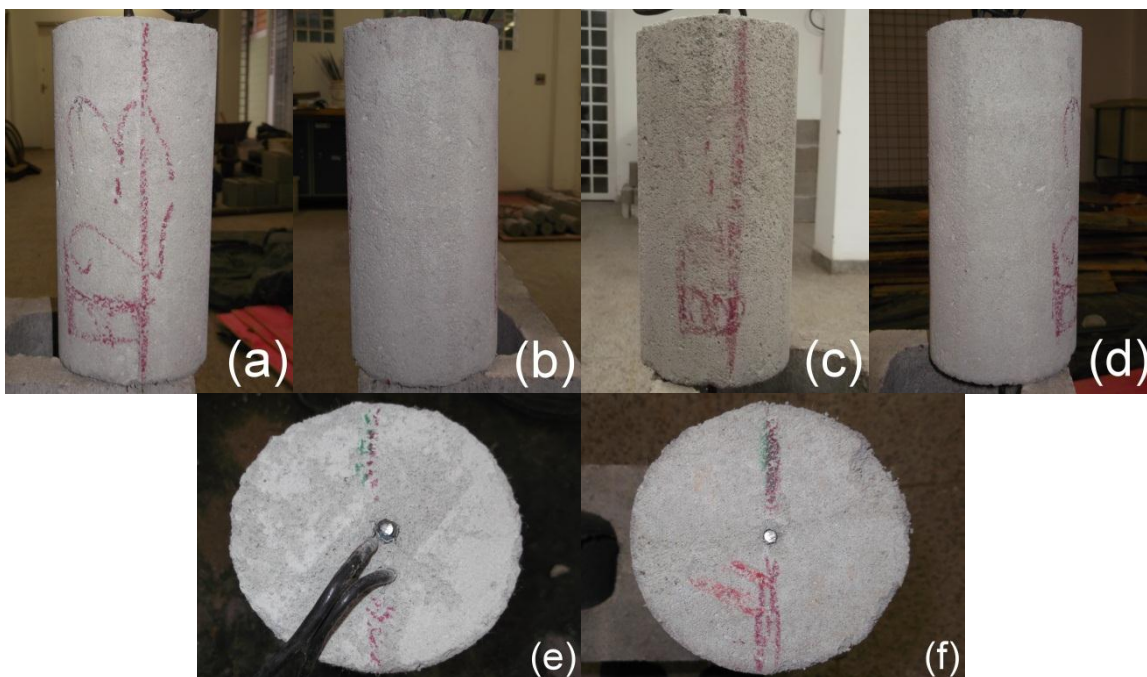
APÊNDICE AN – Laudo CP B2-3

Figura 278 - CP B2-3: antes arrancamento (parte externa).



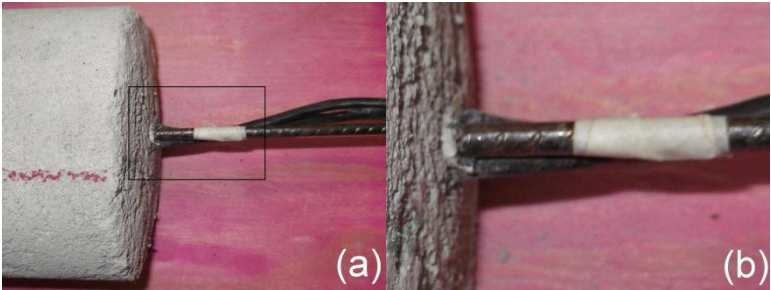
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 279 - CP B2-3: após arrancamento (parte externa).



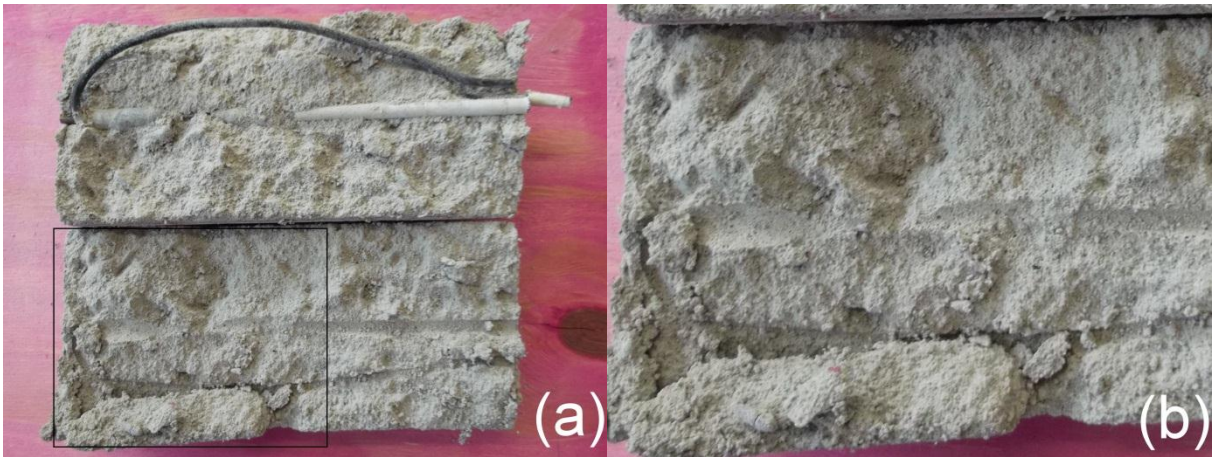
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 280 - CP B2-3: após arrancamento (modo de ruptura).



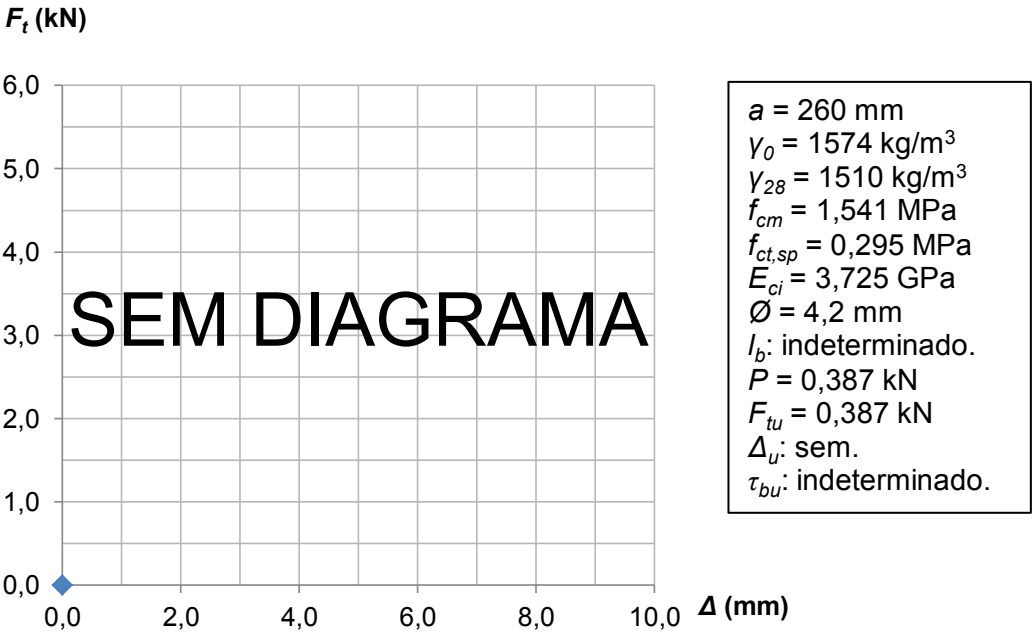
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 281 - CP B2-3: após arrancamento (parte interna).

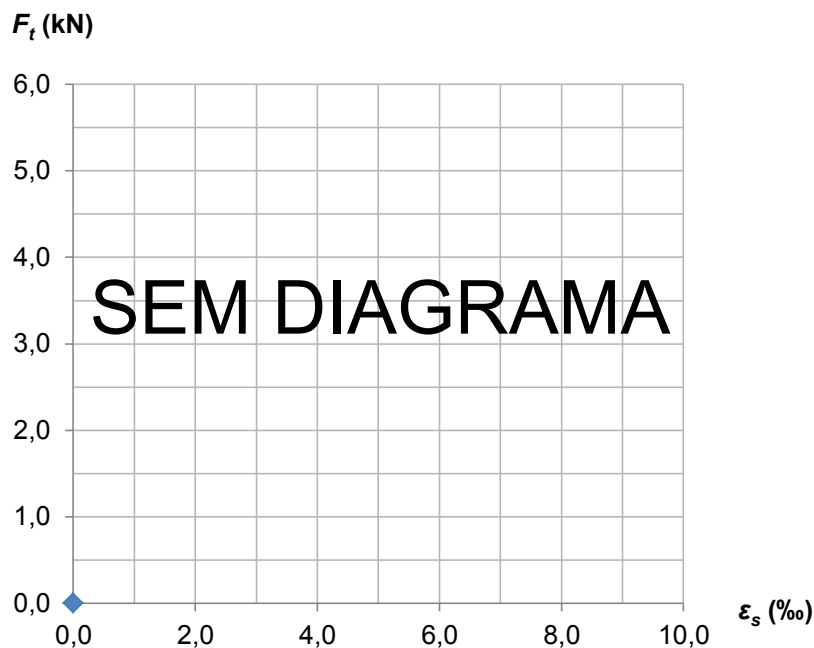


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 282 - CP B2-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 283 - CP B2-3: Diagrama $F_t-\varepsilon_s$.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

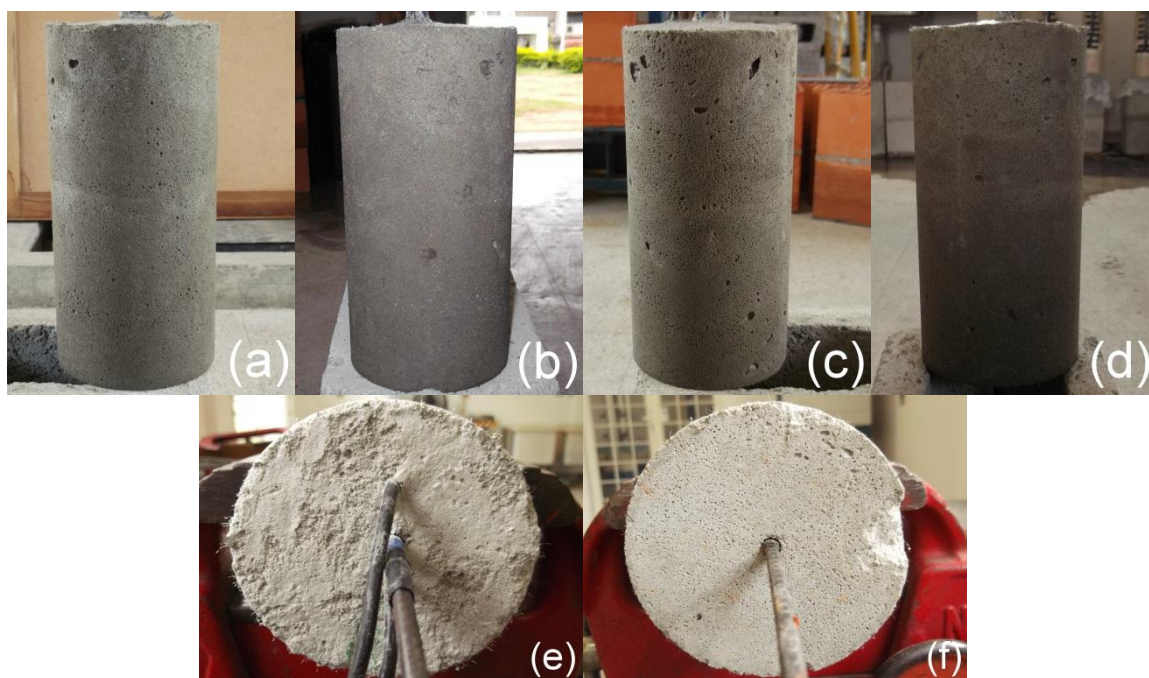
- Qualidade da moldagem: excelente (Figura 278 e Figura 279).
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro do cilindro no topo do CP (Figura 278-e-f e Figura 279-e-f). Inclinação da armadura dentro do cilindro (Figura 281-a).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 279).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 280).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,387$ kN), impossibilitando a construção dos diagramas $F_t-\Delta$ e $F_t-\varepsilon_s$.

Conclusão do ensaio:

Pré-carga (0,387 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura.
Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3-E.

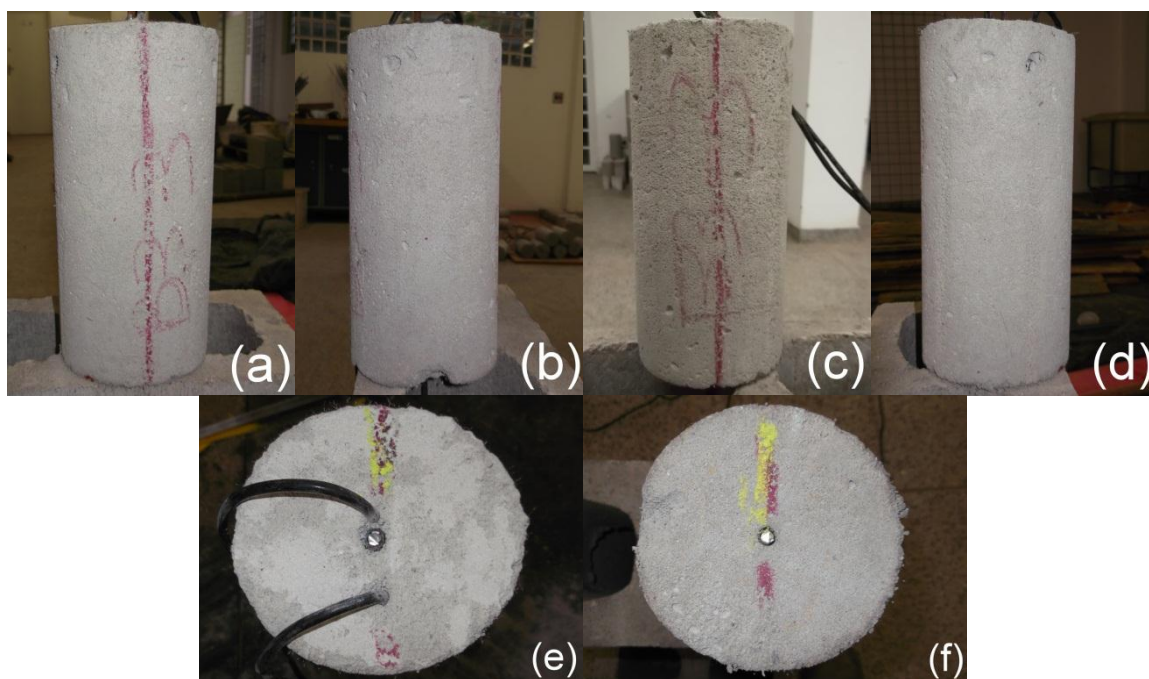
APÊNDICE AO – Laudo CP B3-3

Figura 284 - CP B3-3: antes arrancamento (parte externa).



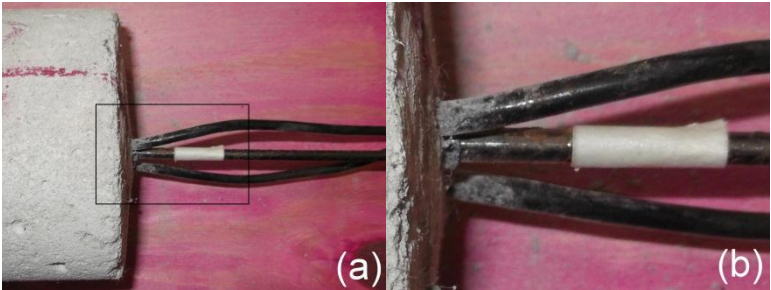
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 285 - CP B3-3: antes arrancamento (parte externa).



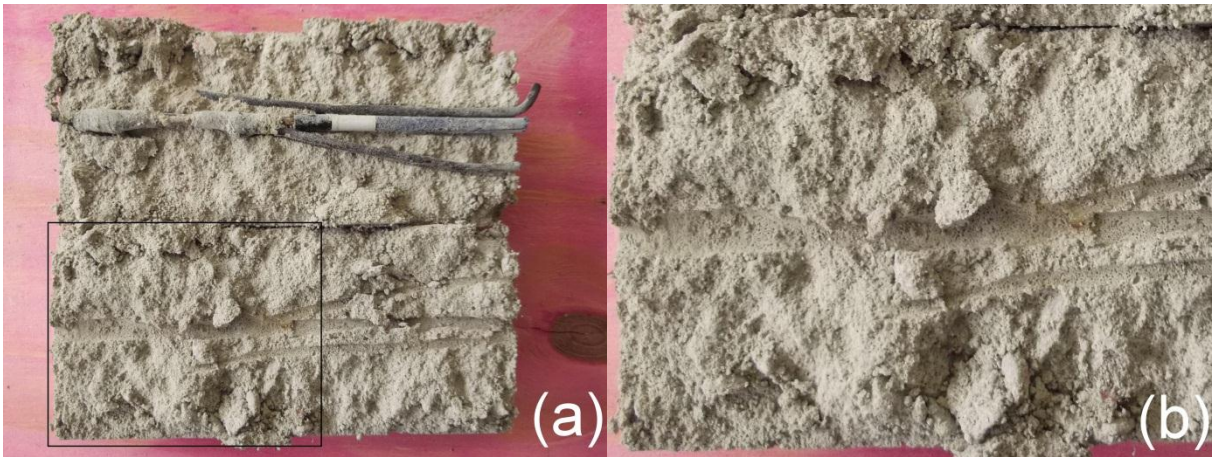
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 286 - CP B3-3: após arrancamento (modo de ruptura).



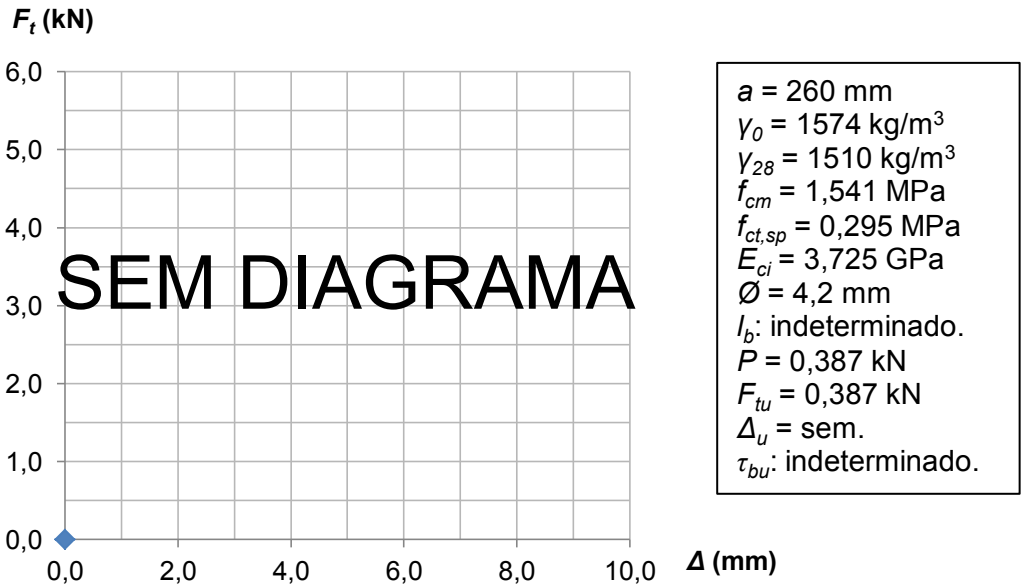
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 287 - CP B3-3: após arrancamento (parte interna).

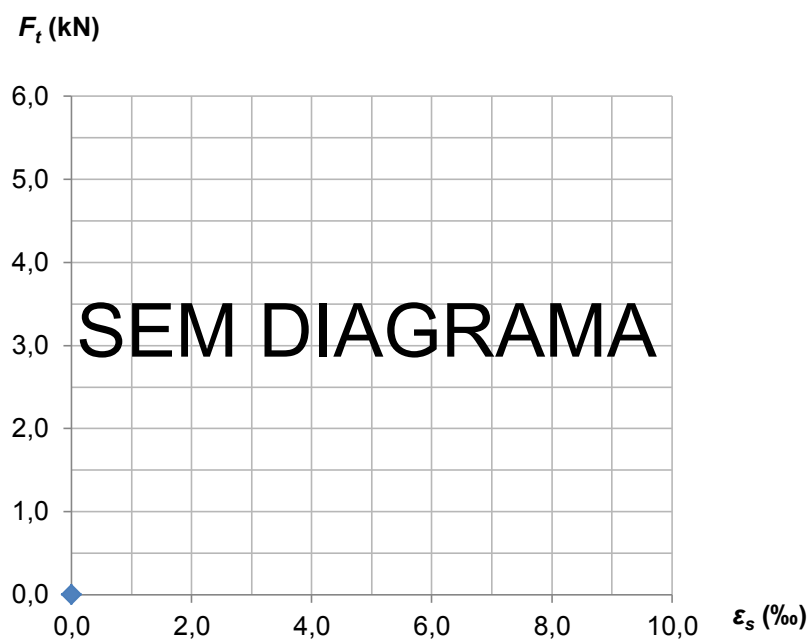


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 288 - CP B3-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 289 - CP B3-3: Diagrama $F_t-\epsilon_s$.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

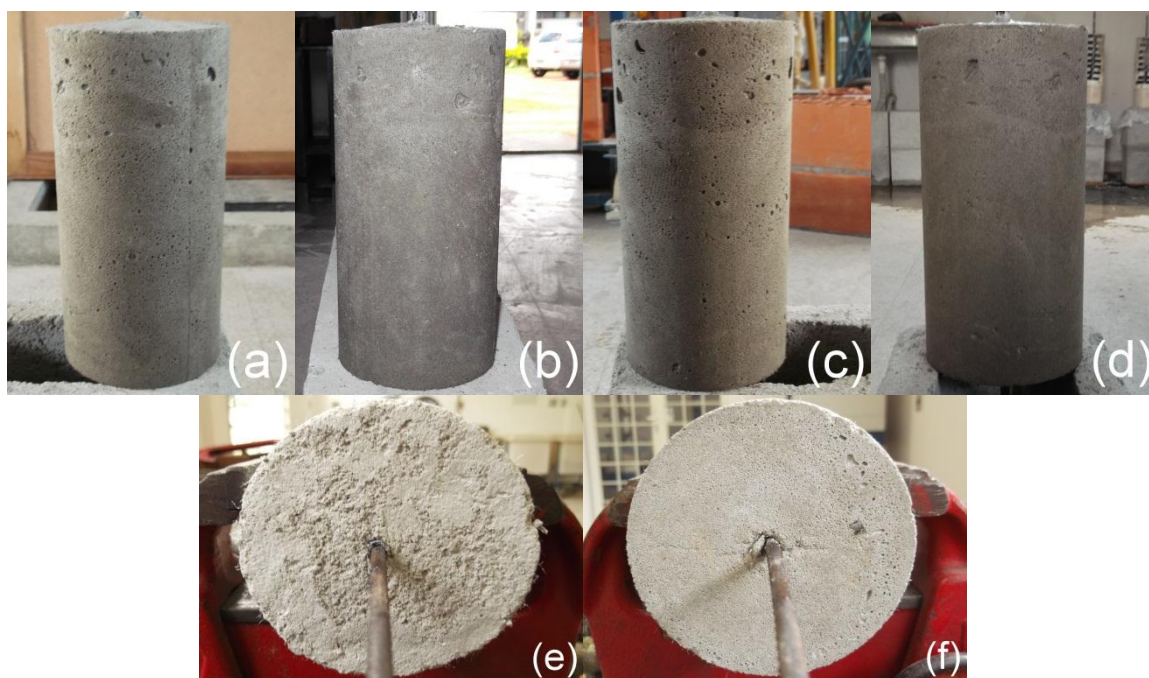
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 284 e Figura 285), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 284-e-f e Figura 285-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 285).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 286).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,387$ kN), impossibilitando a construção dos diagramas $F_t-\Delta$ e $F_t-\epsilon_s$.

Conclusão do ensaio:

Pré-carga (0,387 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura.
Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3-E.

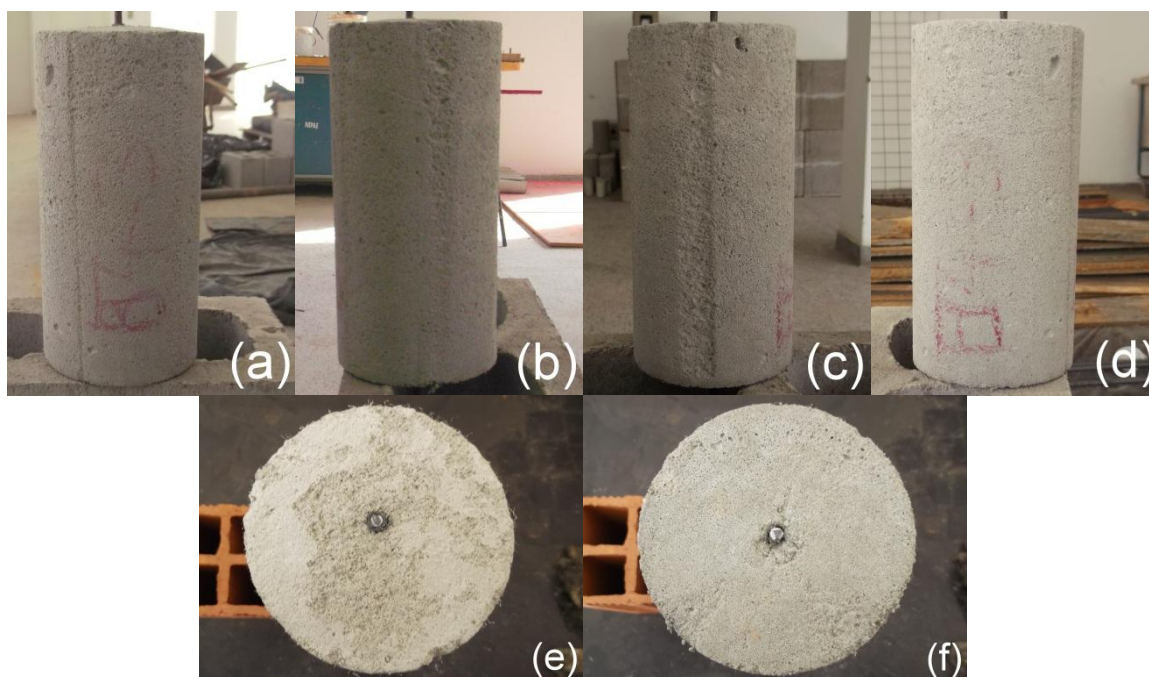
APÊNDICE AP – Laudo CP B4-3

Figura 290 - CP B4-3: antes arrancamento (parte externa).



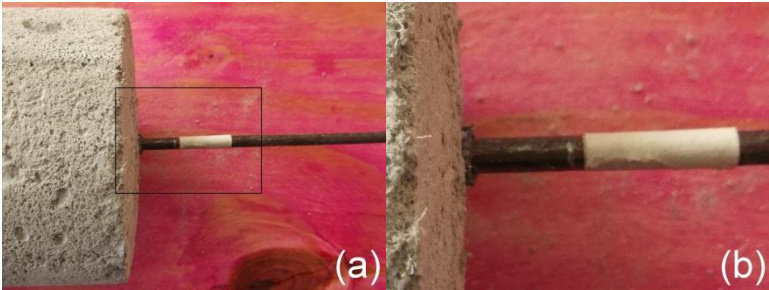
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 291 - CP B4-3: após arrancamento (parte externa).



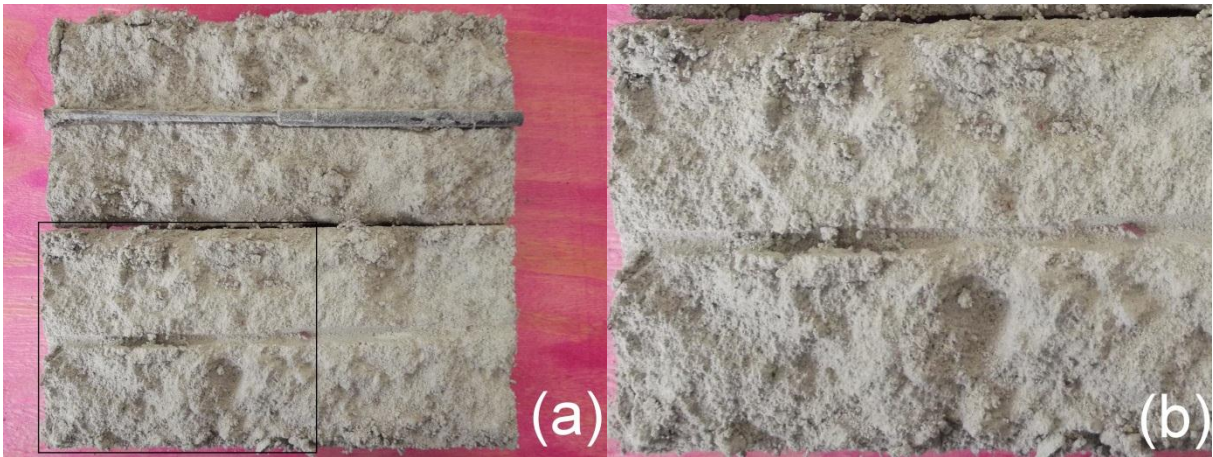
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 292 - CP B4-3: após arrancamento (modo de ruptura).



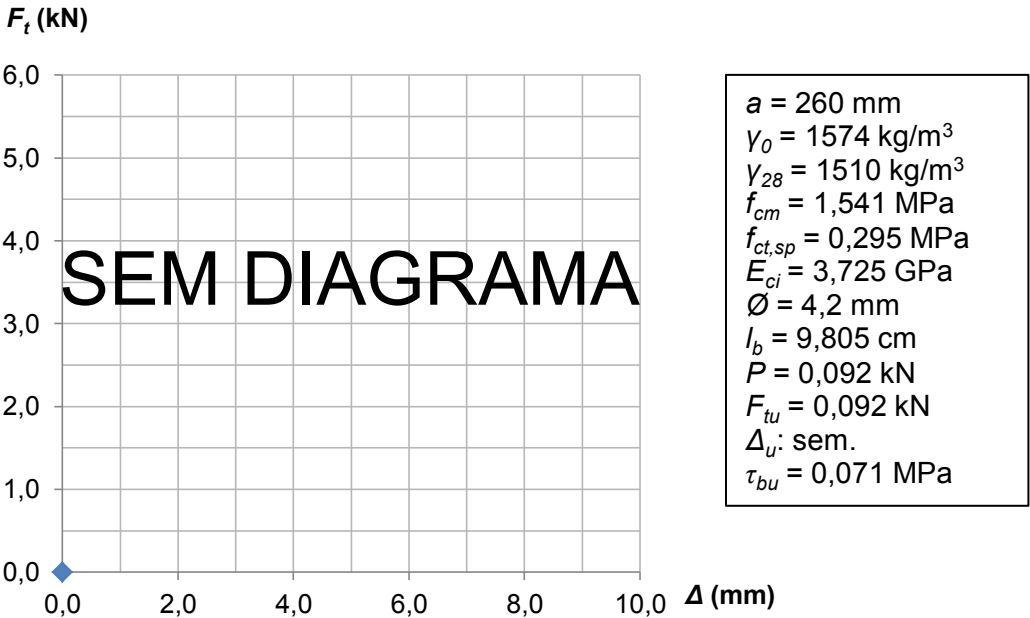
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 293 - CP B4-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 294 - CP B4-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

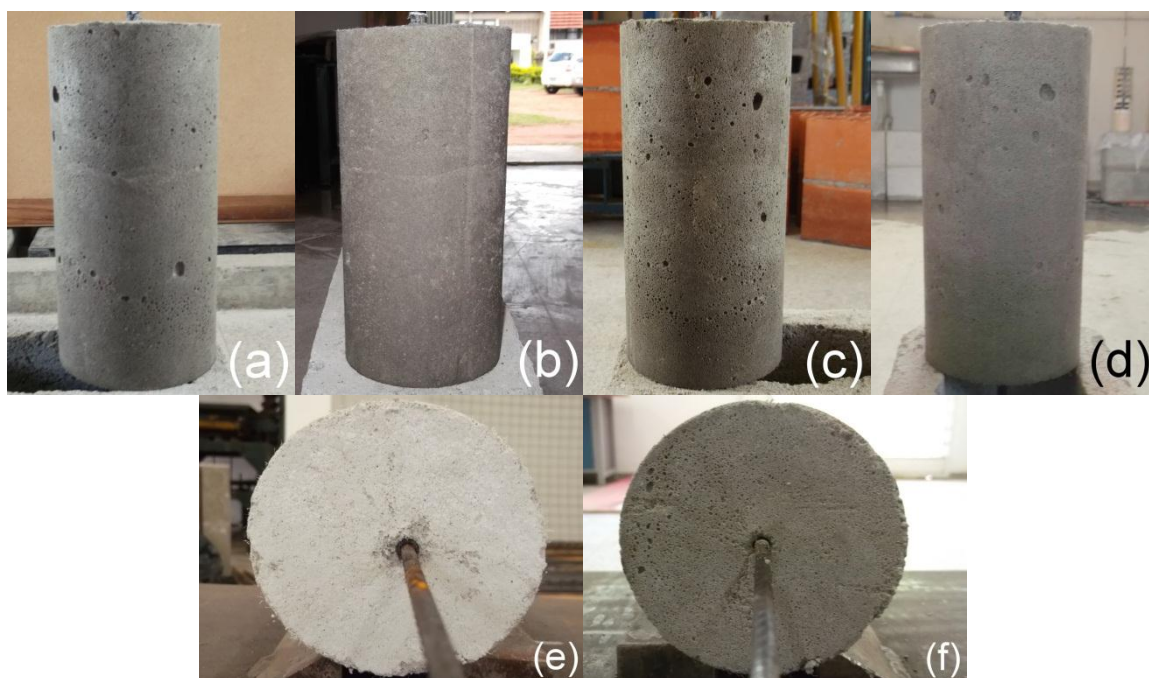
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 290 e Figura 291), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro no topo do cilindro (Figura 290-e-f e Figura 291-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 291).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 292).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,092 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_r\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3.

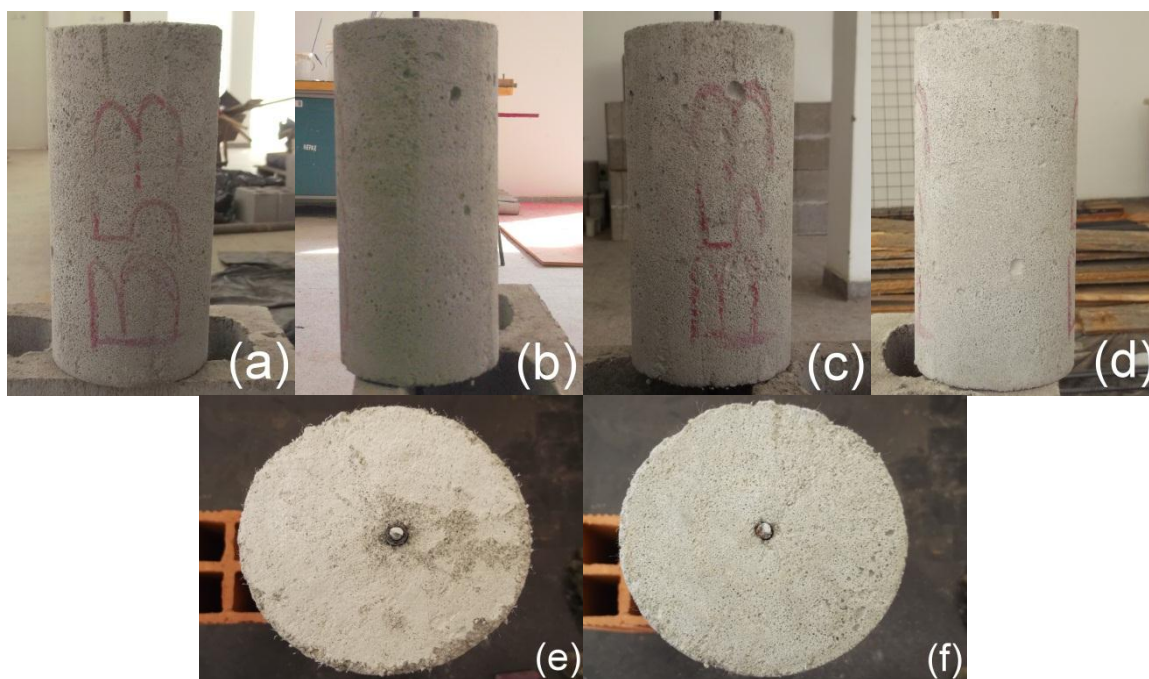
APÊNDICE AQ – Laudo CP B5-3

Figura 295 - CP B5-3: antes arrancamento (parte externa).



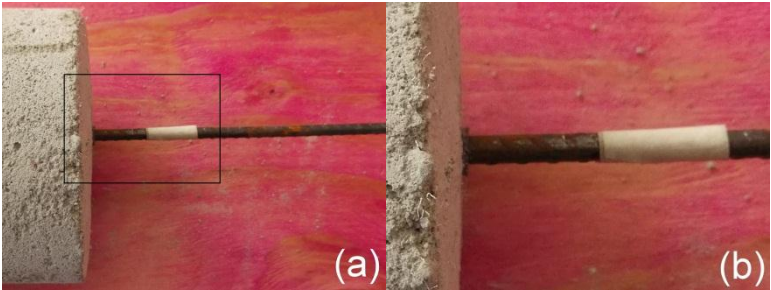
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 296 - CP B5-3: após arrancamento (parte externa).



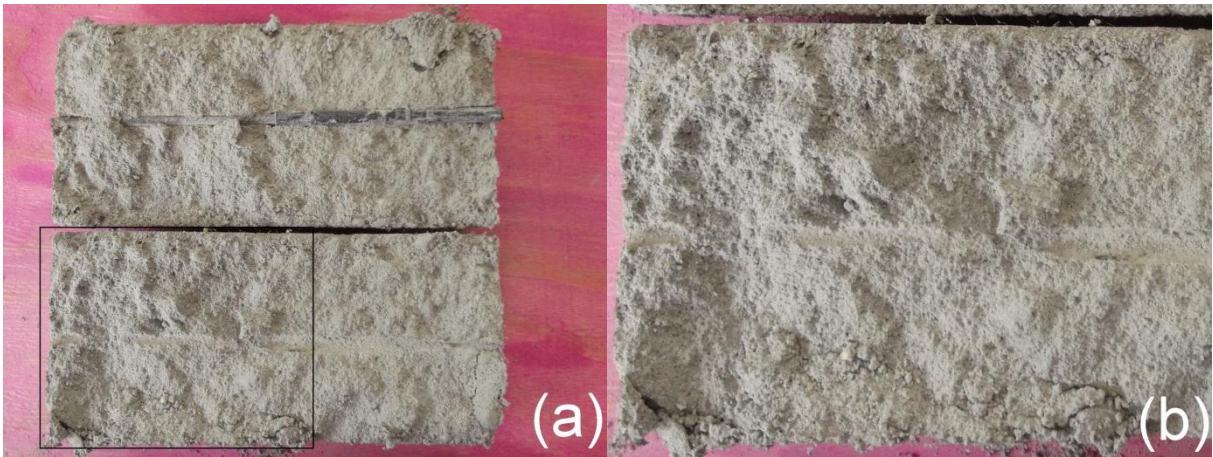
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 297 - CP B5-3: após arrancamento (modo de ruptura).



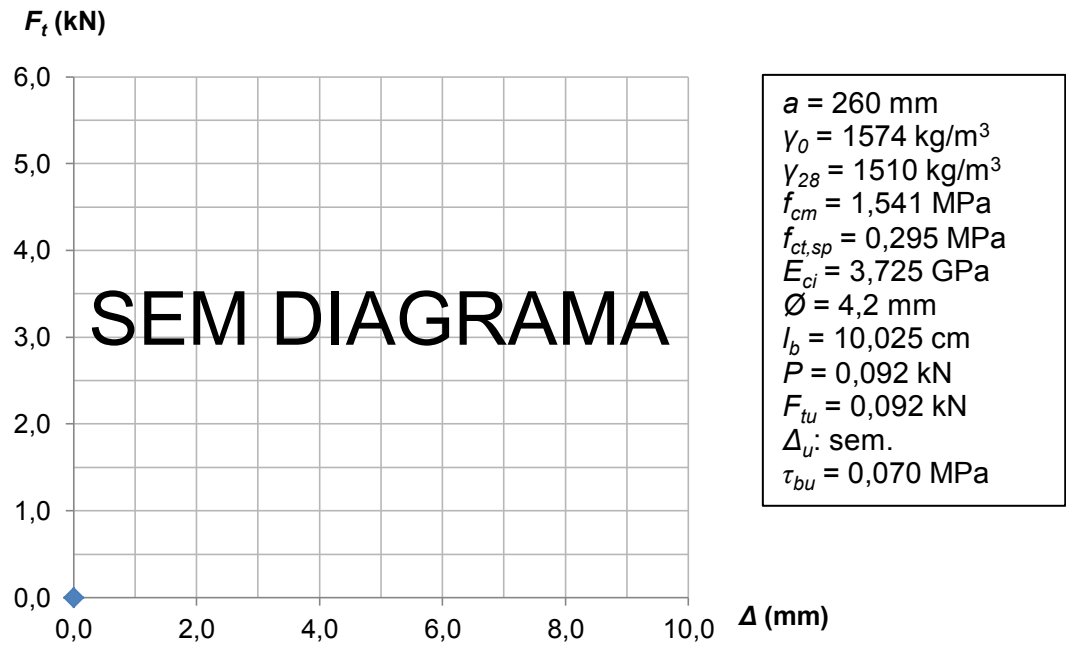
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 298 - CP B5-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 299 - CP B5-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

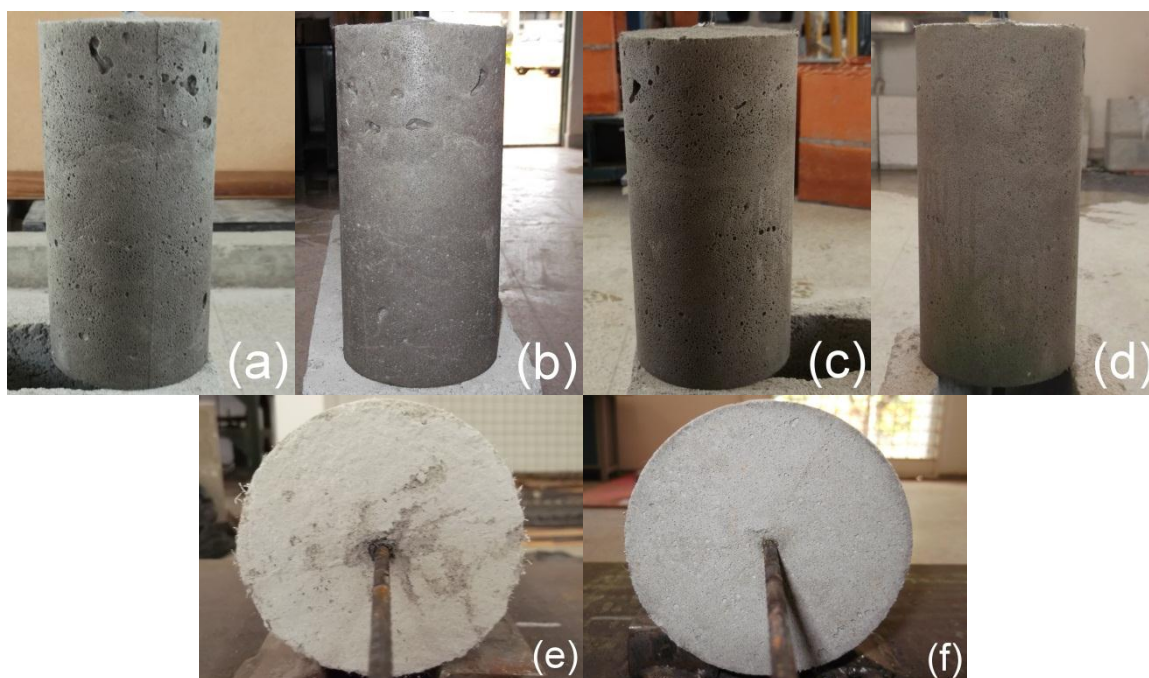
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 295 e Figura 296), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 295-e-f e Figura 296-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 296).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 297).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,092 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_r\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3.

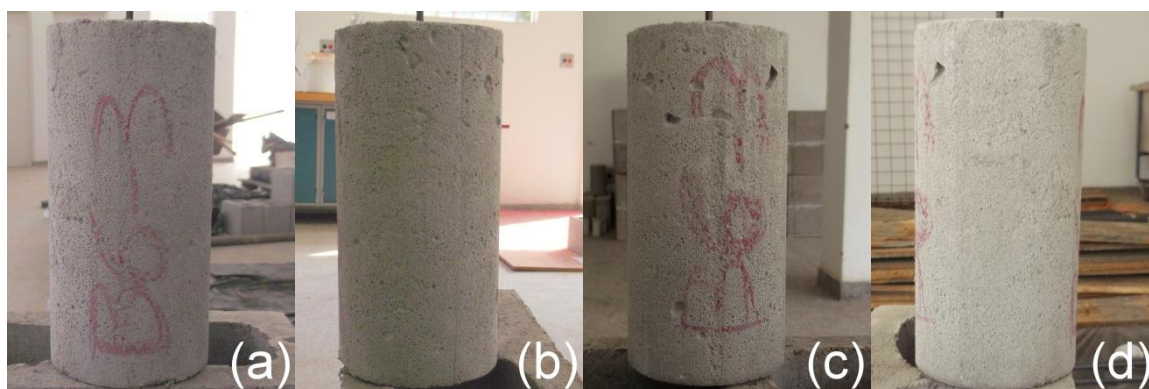
APÊNDICE AR – Laudo CP B6-3

Figura 300 - CP B6-3: antes arrancamento (parte externa).



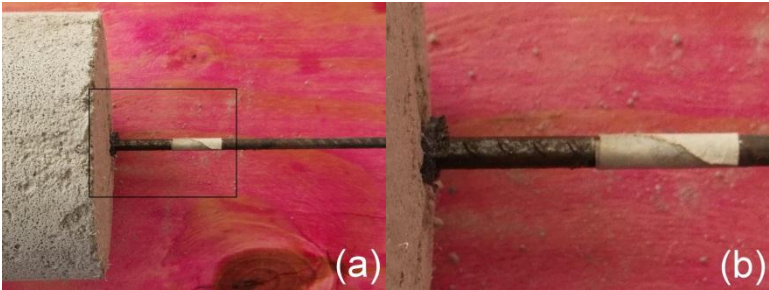
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 301 - CP B6-3: após arrancamento (parte externa).



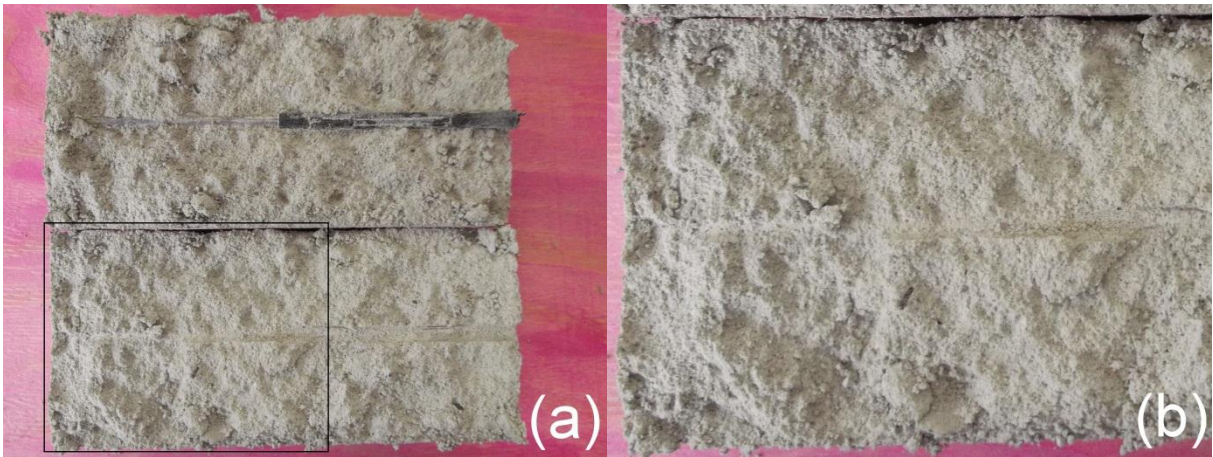
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 302 - CP B6-3: após arrancamento (modo de ruptura).



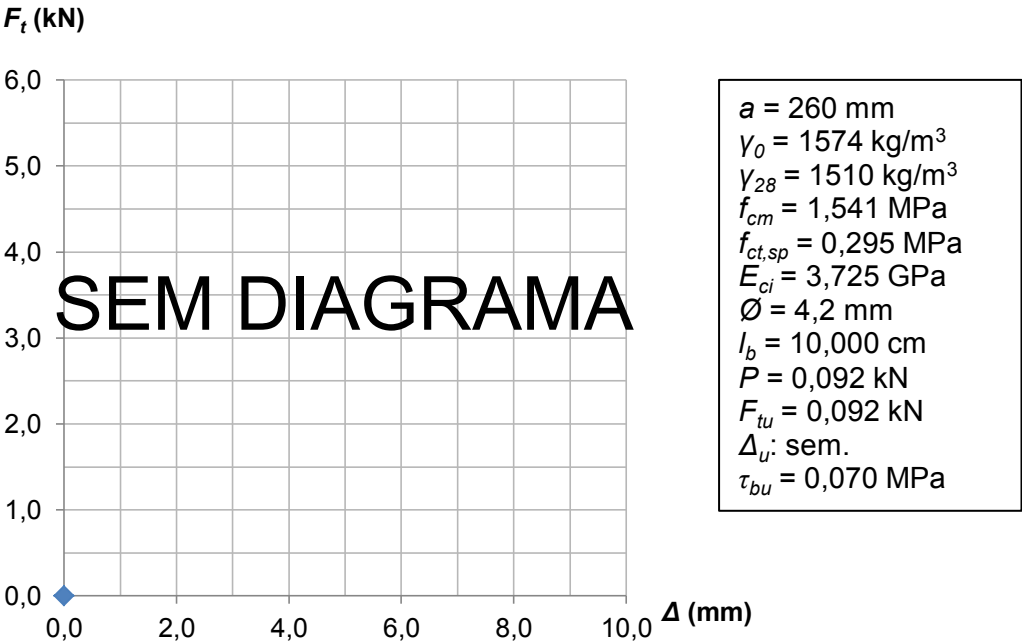
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 303 - CP B6-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 304 - CP B6-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

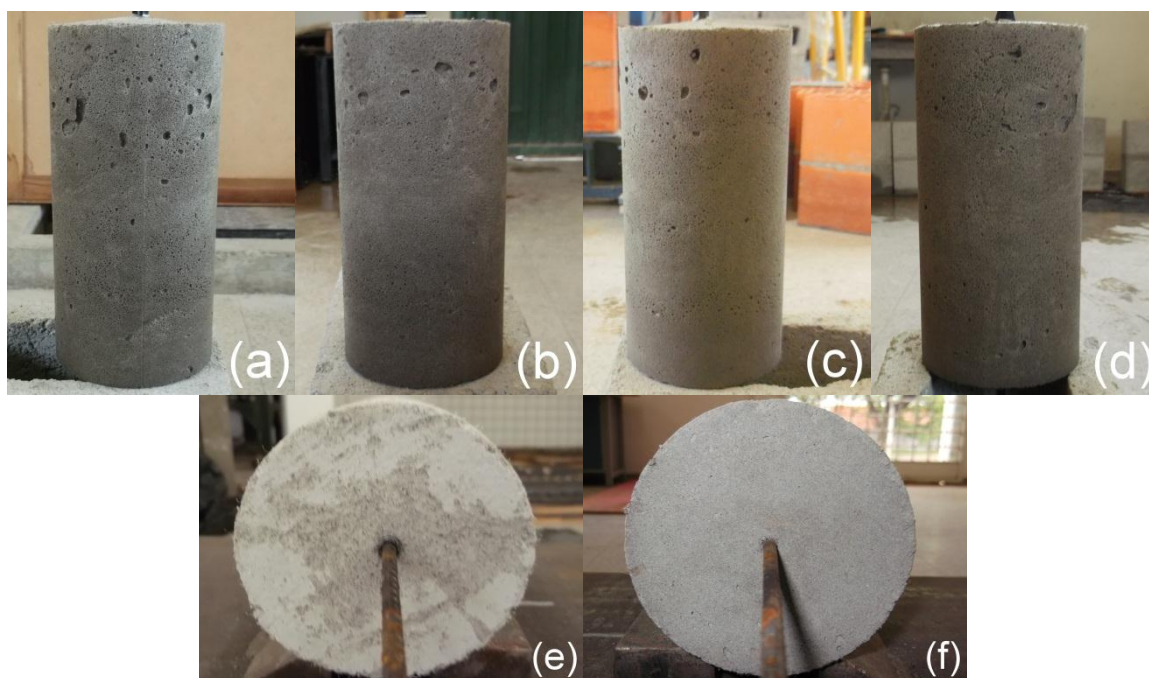
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 300 e Figura 301), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 301-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 301).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 302).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,092 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_r\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3.

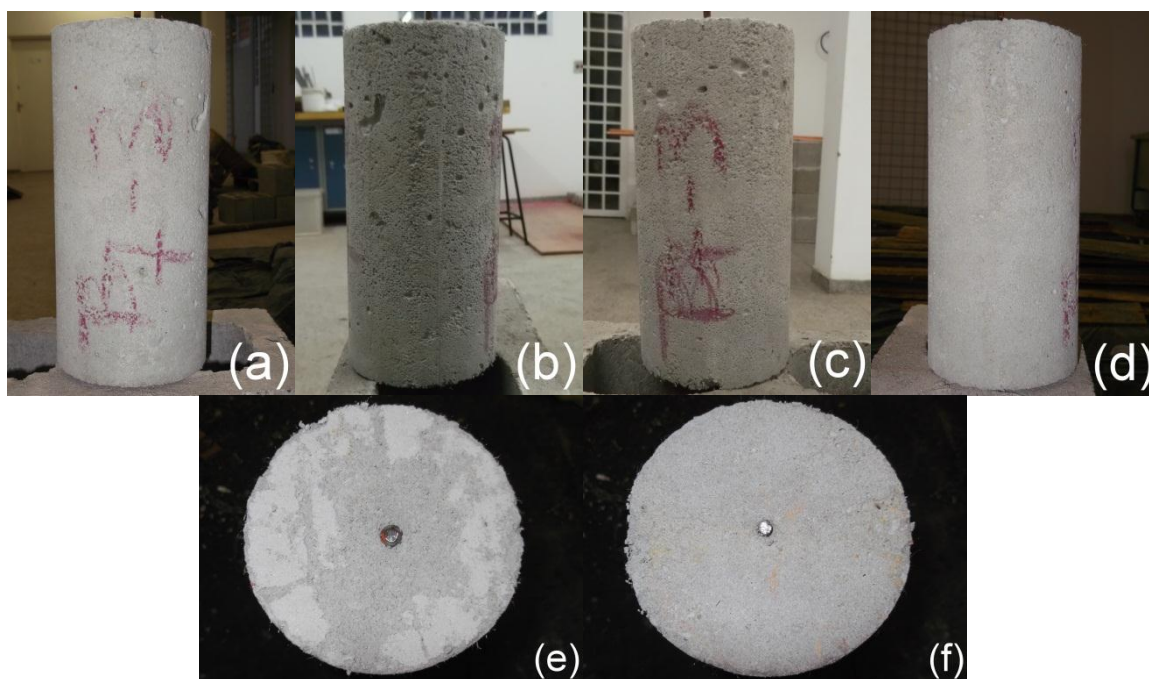
APÊNDICE AS – Laudo CP B7-3

Figura 305 - CP B7-3: antes arrancamento (parte externa).



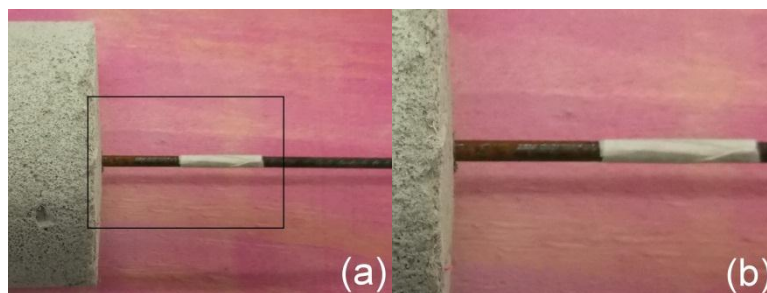
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 306 - CP B7-3: após arrancamento (parte externa).



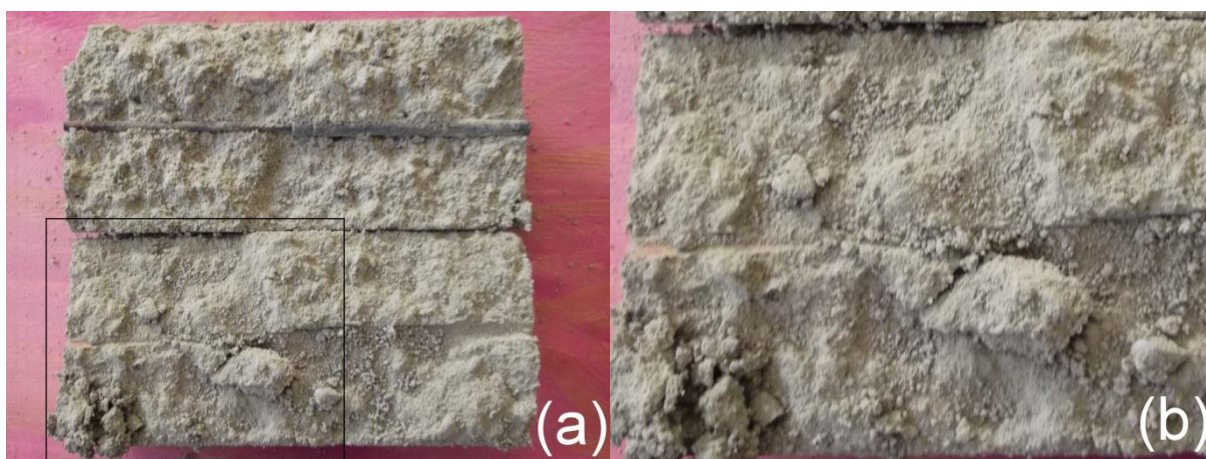
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 307 - CP B7-3: após arrancamento (modo de ruptura).



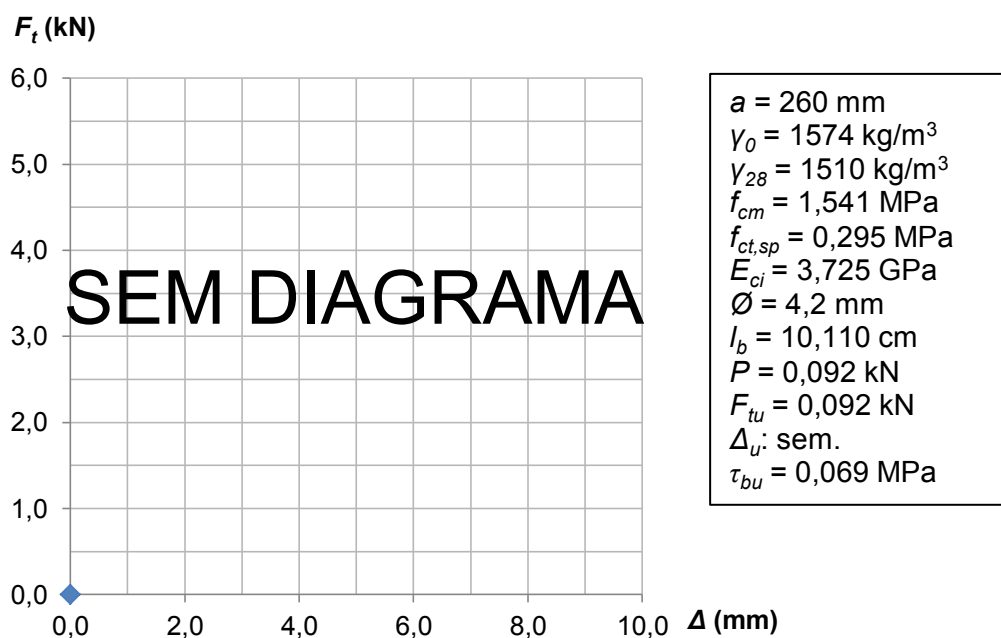
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 308 - CP B7-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 309 - CP B7-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

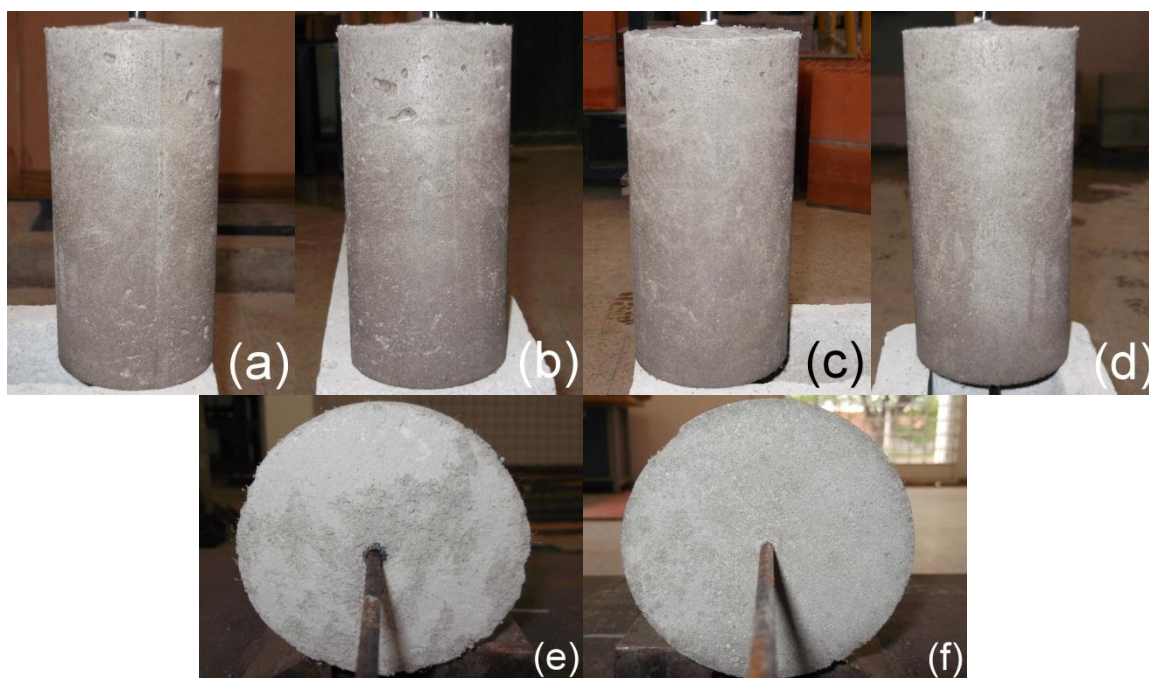
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 305 e Figura 306), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 305-e-f e Figura 306-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 306).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 307).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,092 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_r\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3.

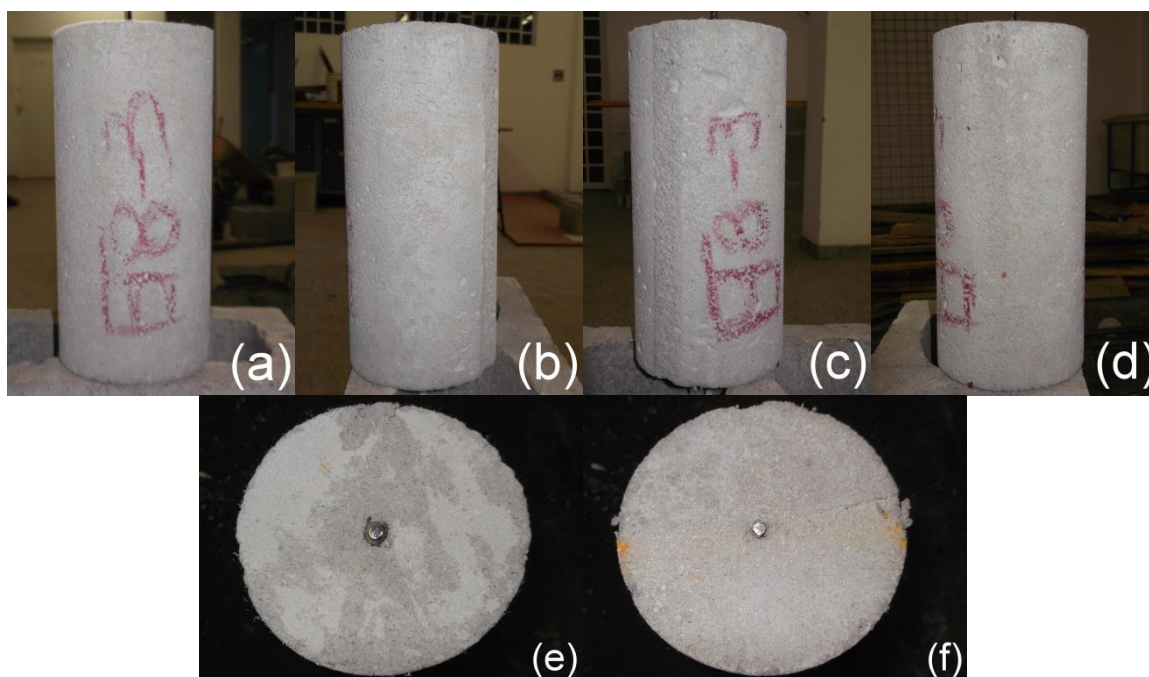
APÊNDICE AT – Laudo CP B8-3

Figura 310 - CP B8-3: antes arrancamento (parte externa).



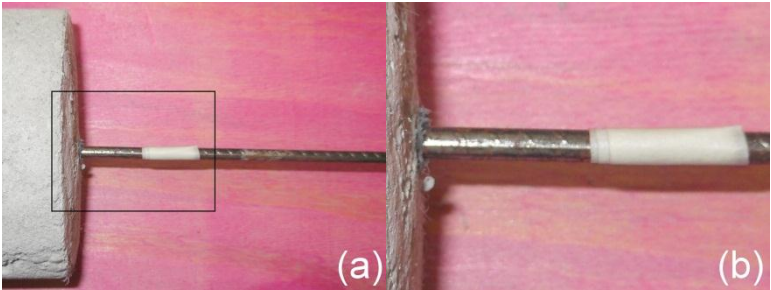
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 311 - CP B8-3: após arrancamento (parte externa).



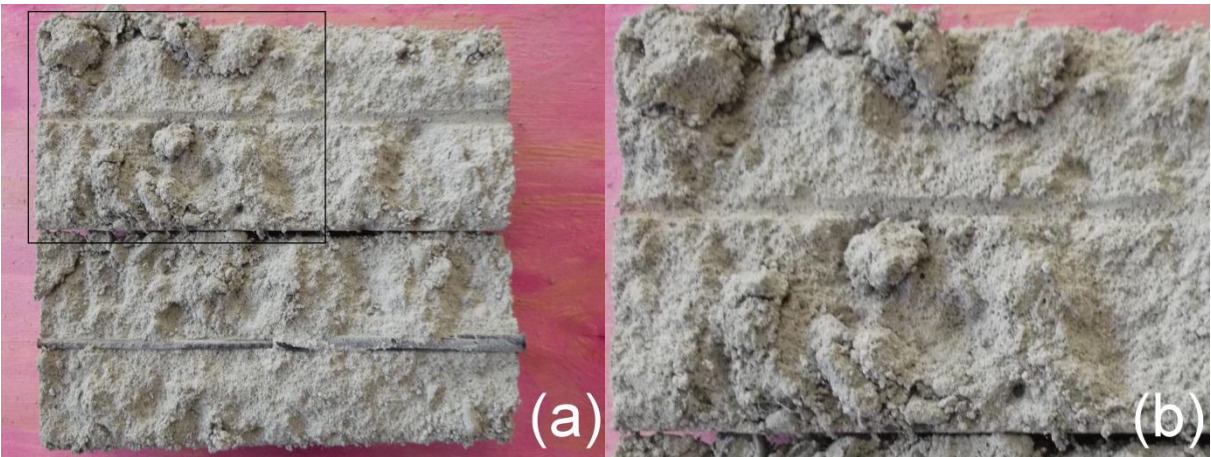
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 312 - CP B8-3: após arrancamento (modo de ruptura).



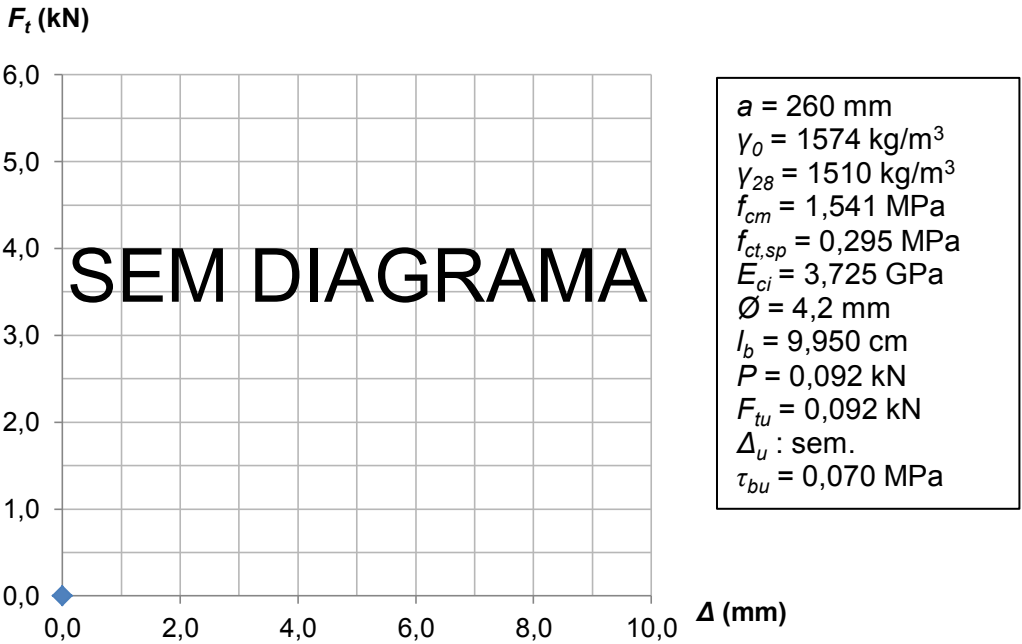
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 313 - CP B8-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 314 - CP B8-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

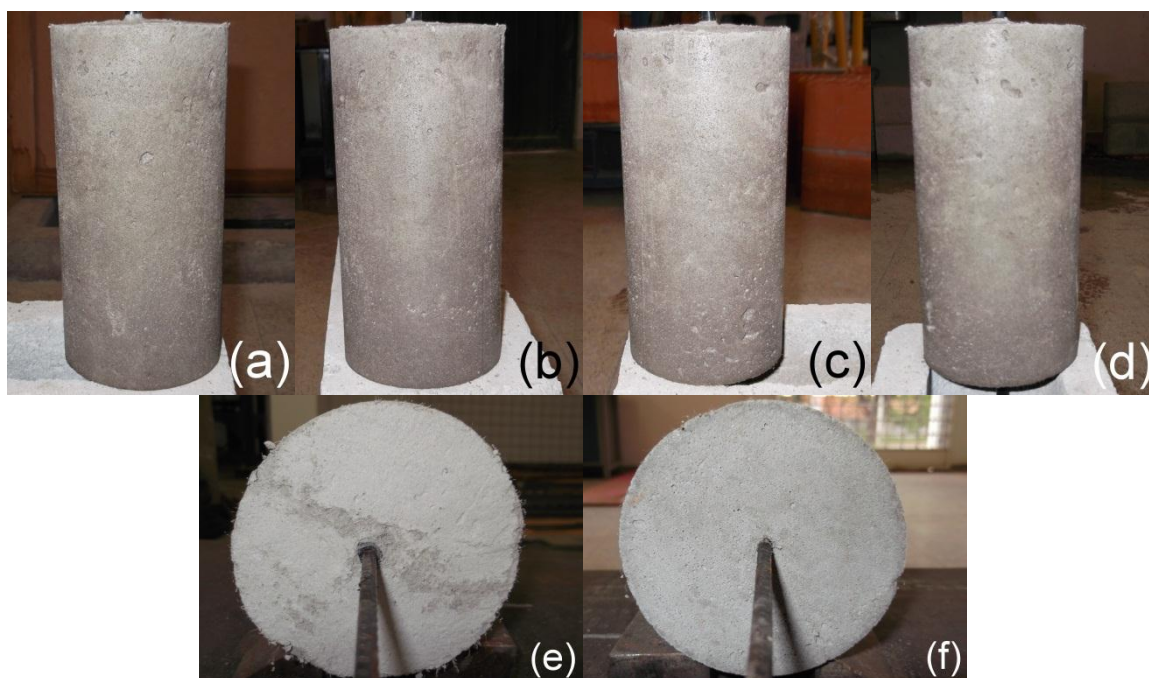
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 310 e Figura 311), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 310-e-f e Figura 311-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 311).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 312).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,092 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_r\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Peso da célula de carga (0,092 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3.

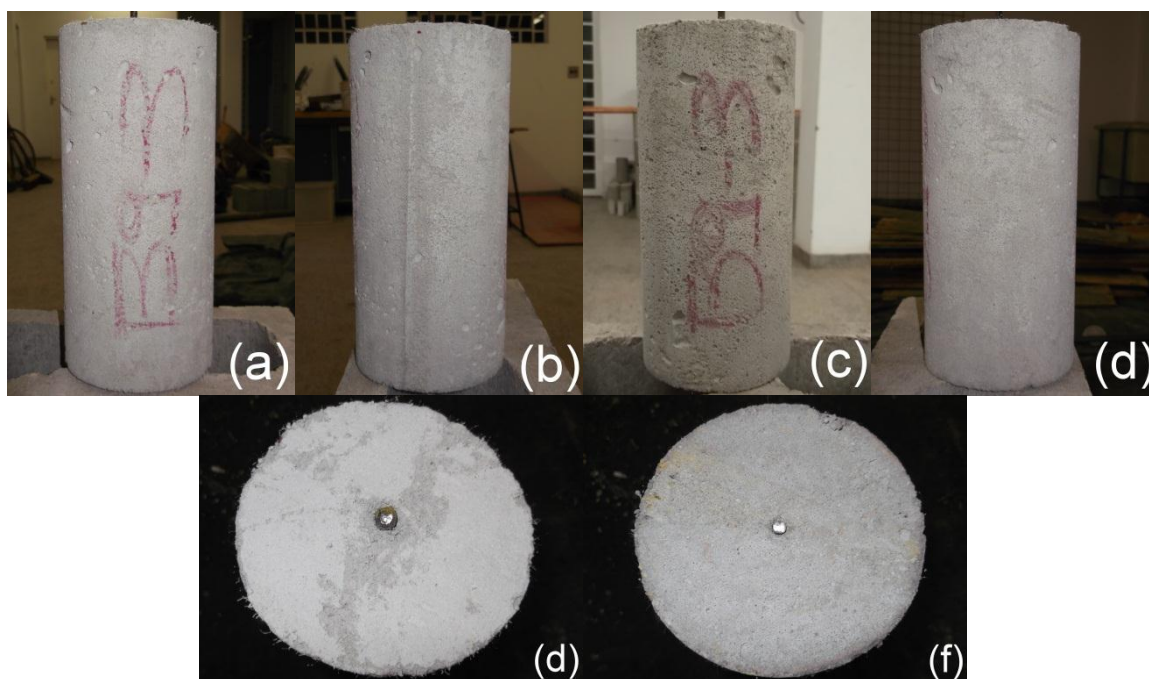
APÊNDICE AU – Laudo CP B9-3

Figura 315 - CP B9-3: antes arrancamento (parte externa).



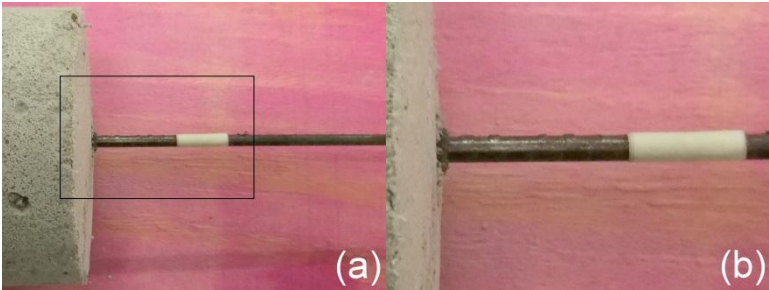
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 316 - CP B9-3: após arrancamento (parte externa).



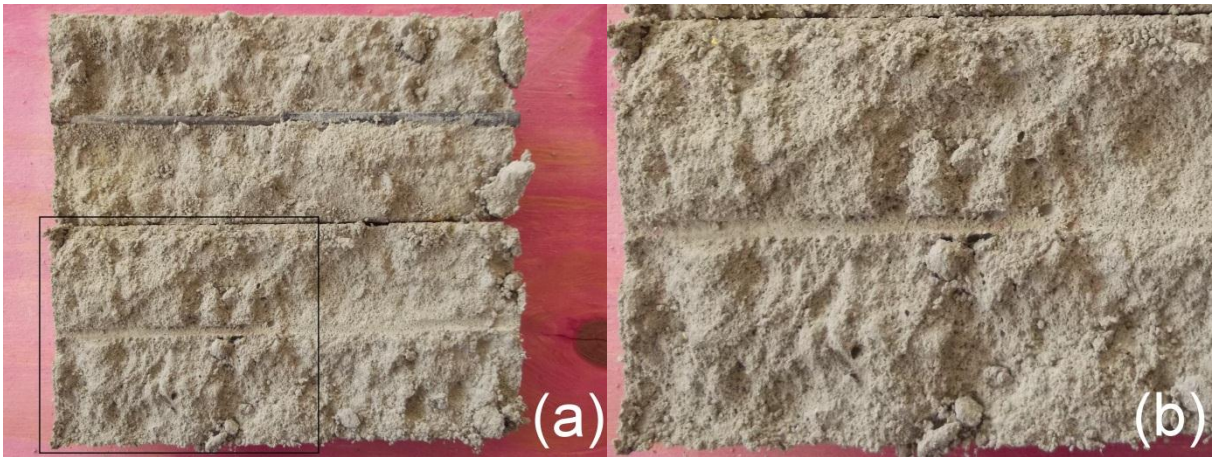
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 317 - CP B9-3: após arrancamento (modo de ruptura).



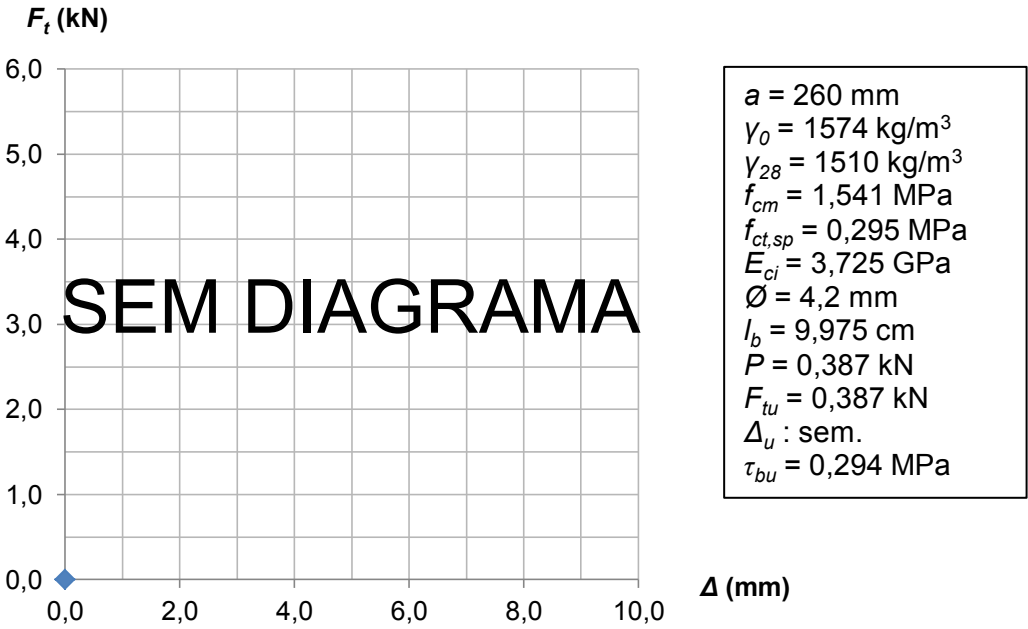
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 318 - CP B9-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 319 - CP B9-3: diagrama $F_t-\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

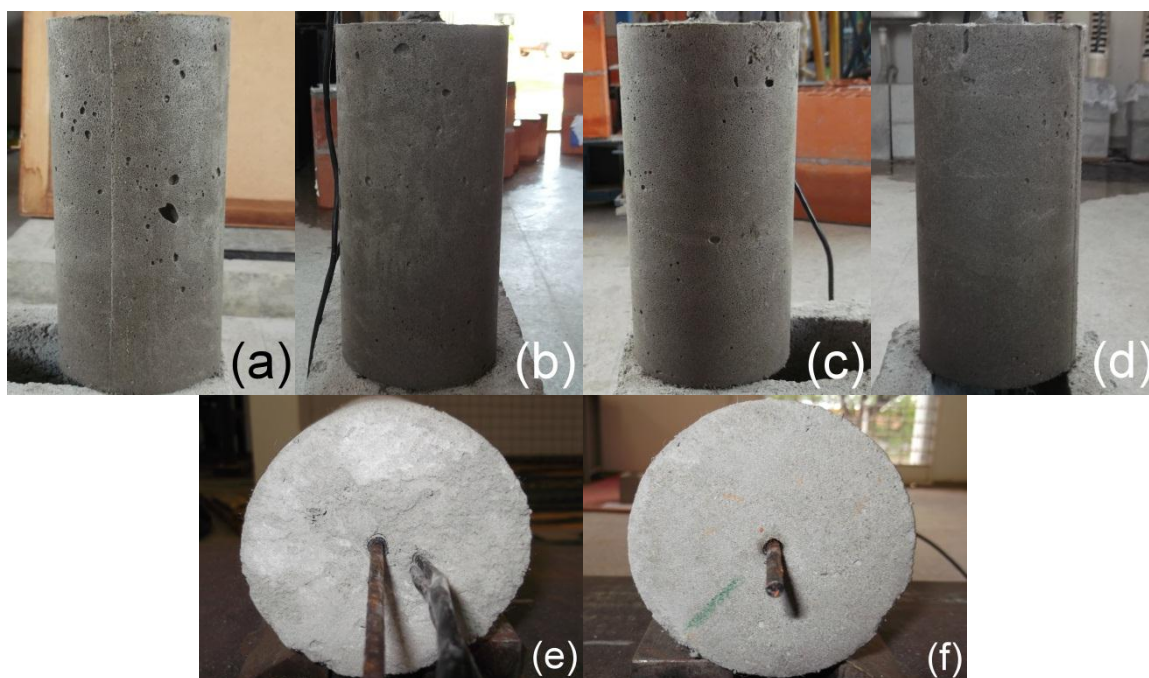
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 315 e Figura 316), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro no topo do cilindro (Figura 315-e-f e Figura 316-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: intacto. Ausência de fissuração (Figura 316).
- Modo de ruptura observado: ruptura por deslizamento da armadura (Figura 317).
- Início do deslizamento da armadura após aplicação da pré-carga ($P = 0,387 \text{ kN}$), impossibilitando a construção do diagrama $F_t\Delta$.

Conclusão do ensaio:

Pré-carga (0,387 kN) suficiente para provocar o início do deslizamento da armadura. Modo de ruptura coerente com o resto da amostra AB3. Ensaio com maior τ_{bu} da amostra AB3.

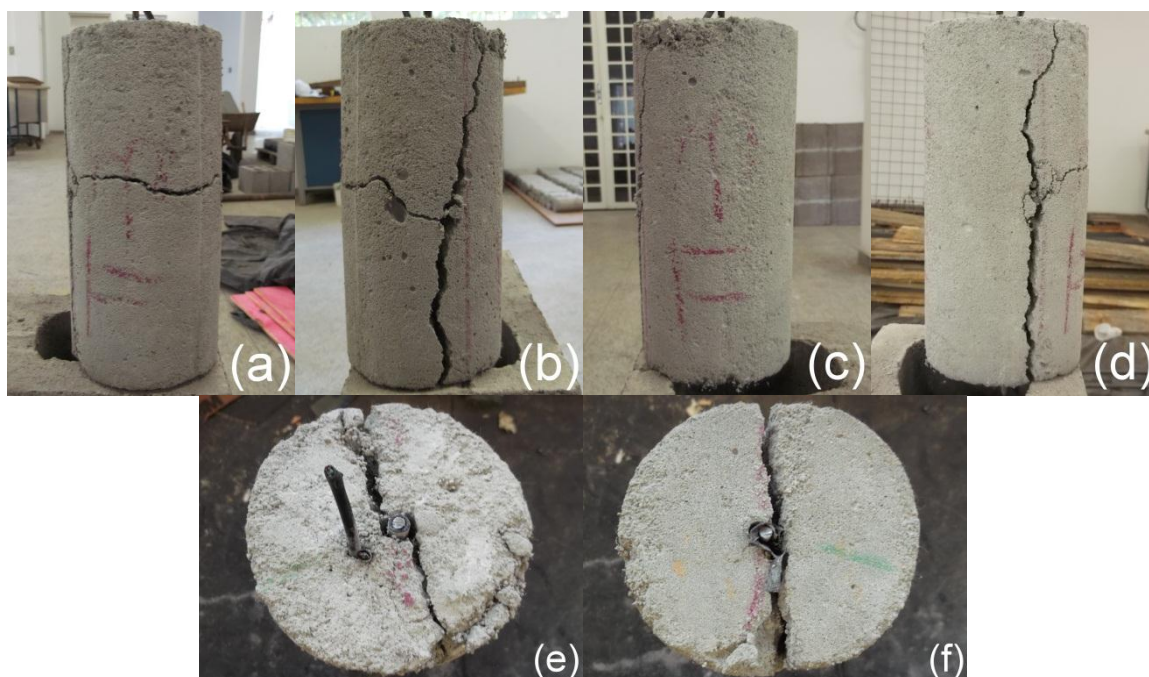
APÊNDICE AV – Laudo CP T1-3

Figura 320 - CP T1-3: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 321 - CP T1-3: após arrancamento (parte externa).



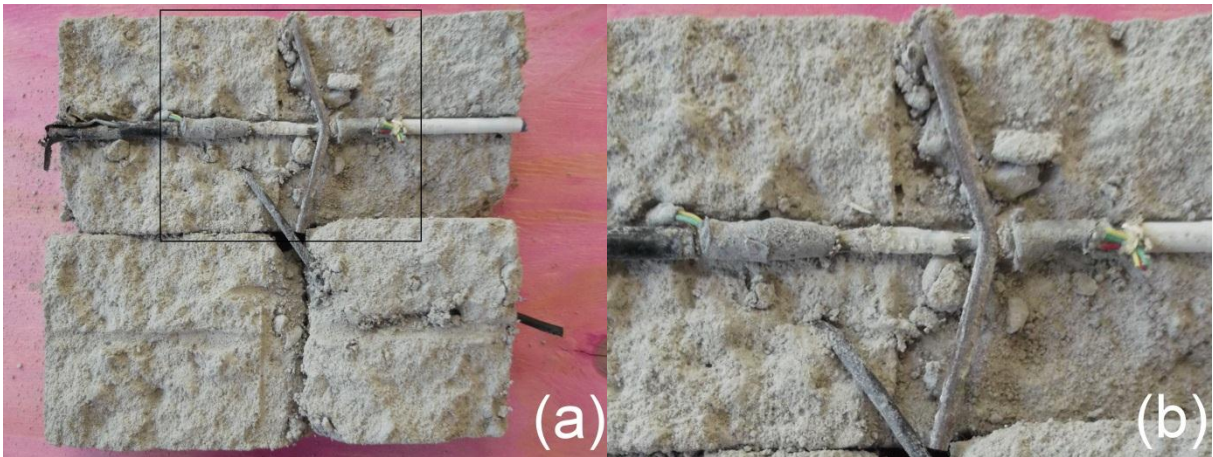
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 322 - CP T1-3: após arrancamento (modo de ruptura).



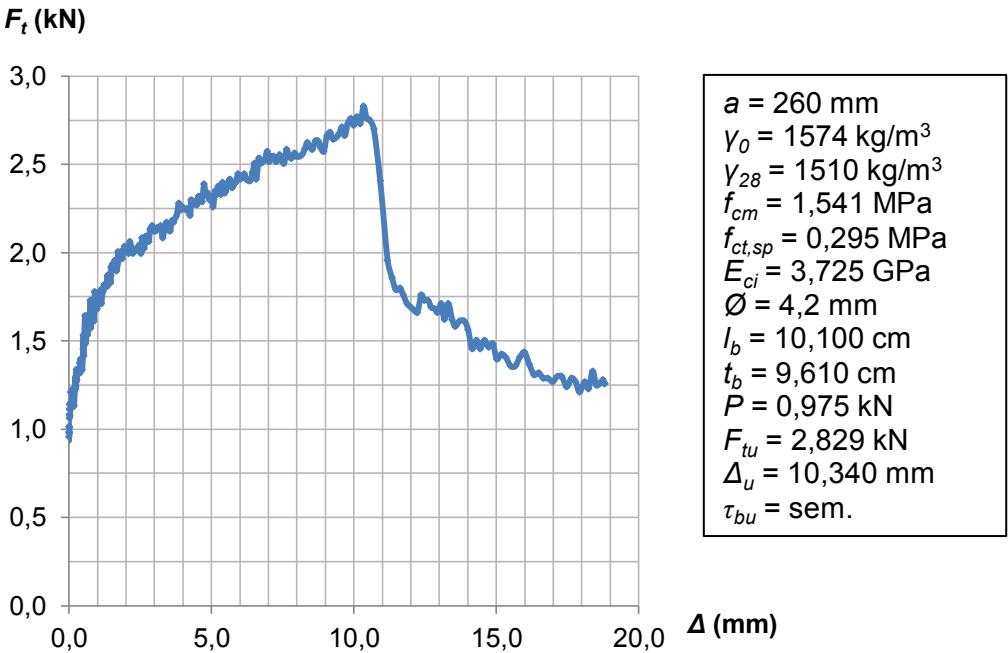
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 323 - CP T1-3: após arrancamento (parte interna).

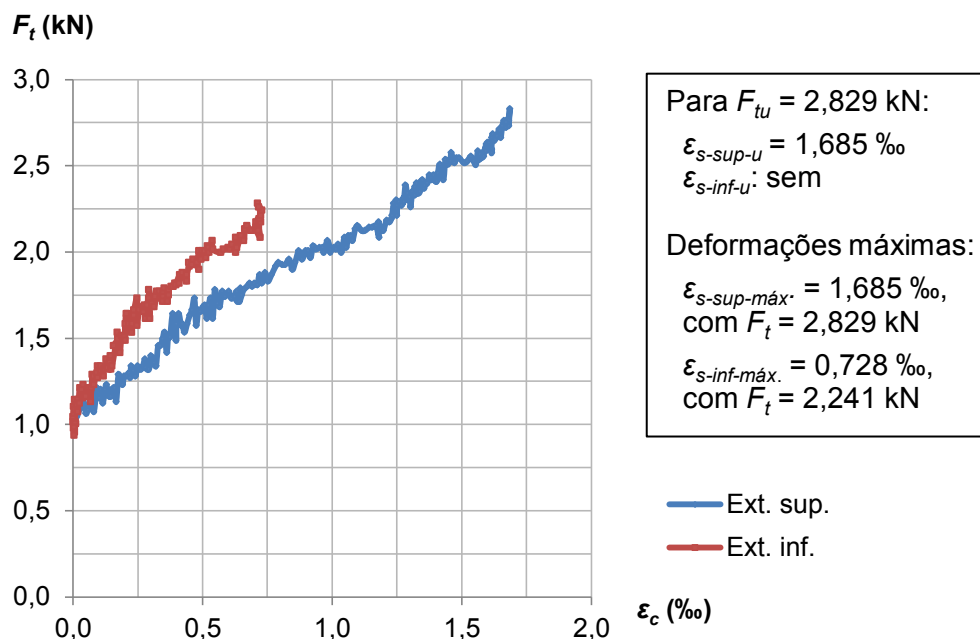


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 324 - CP T1-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 325 - CP T1-3: diagrama F_t - ϵ_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 320), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 320-e-f e Figura 321-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 321-b-d) e transversal (Figura 321-a), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio. Abertura do cilindro no fundo e no topo (Figura 321).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 322-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 322-c) e o esmagamento do concreto (Figura 323). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 324).

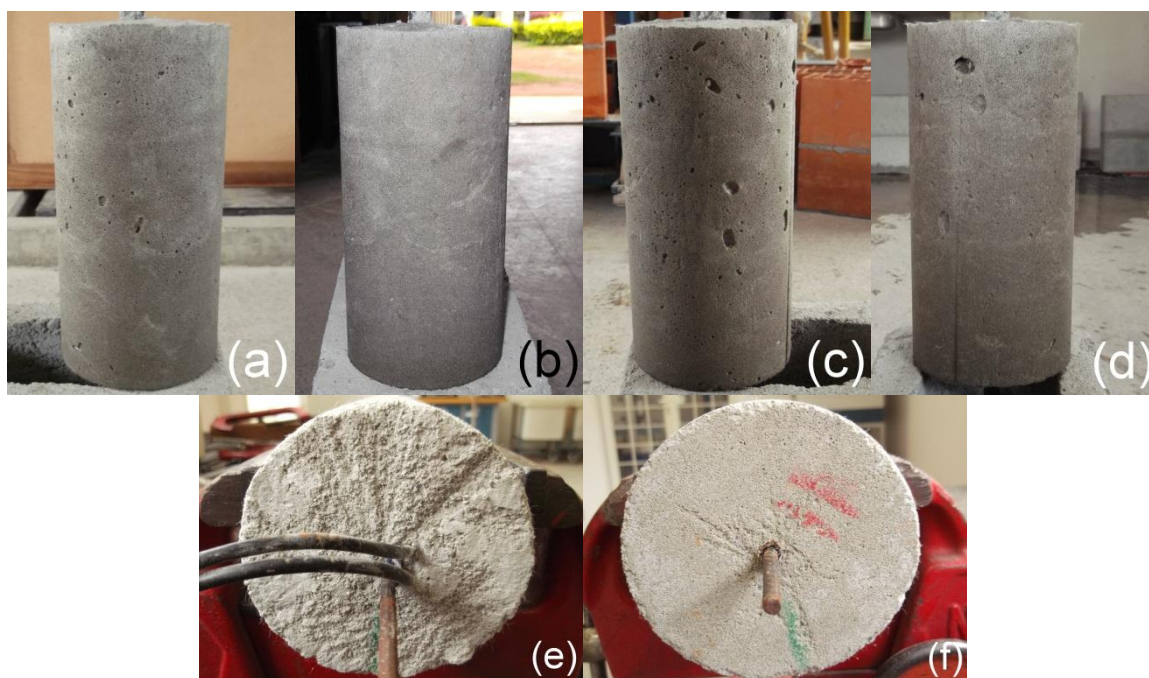
- Deformação do extensômetro superior maior que a deformação do extensômetro inferior, isso para qualquer valor de F_t . Deformação máxima do extensômetro inferior ($\epsilon_{s-inf-m\acute{a}x.}$) atingida com um valor de F_t (2,241 kN) menor que o valor de F_{tu} (2,829 kN). Deformação máxima do extensômetro superior ($\epsilon_{s-sup-m\acute{a}x.}$) atingida com o valor de F_{tu} (2,829 kN).

Conclusão do ensaio:

O valor de F_{tu} obtido para este CP (2,829 kN) é parecido com os valores de F_{tu} obtidos para os CPs da amostra AT3 (CPs com a mesma configuração, mas sem os extensômetros). Portanto, pode-se considerar que a influência da presença dos extensômetros sobre o valor de F_{tu} foi mínima. Ensaio com o maior F_{tu} da amostra AT3-E (2,829).

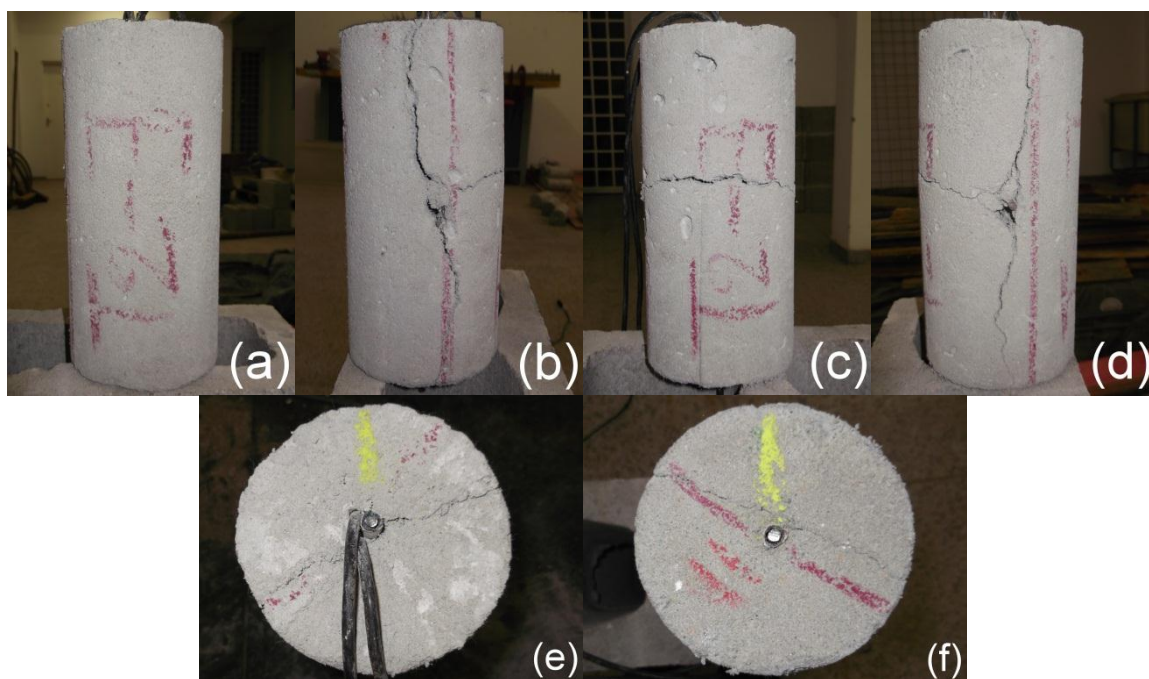
APÊNDICE AW – Laudo CP T2-3

Figura 326 - CP T2-3: antes arrancamento (parte externa).



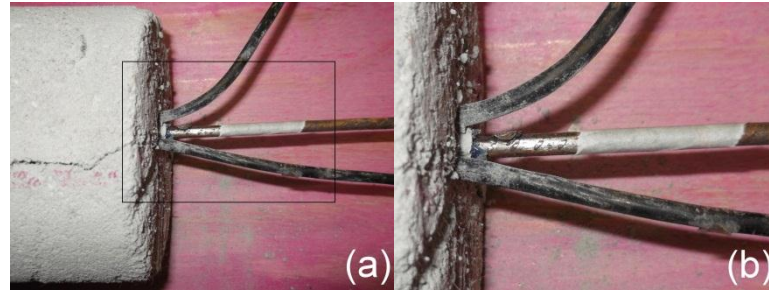
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 327 - CP T2-3: após arrancamento (parte externa).



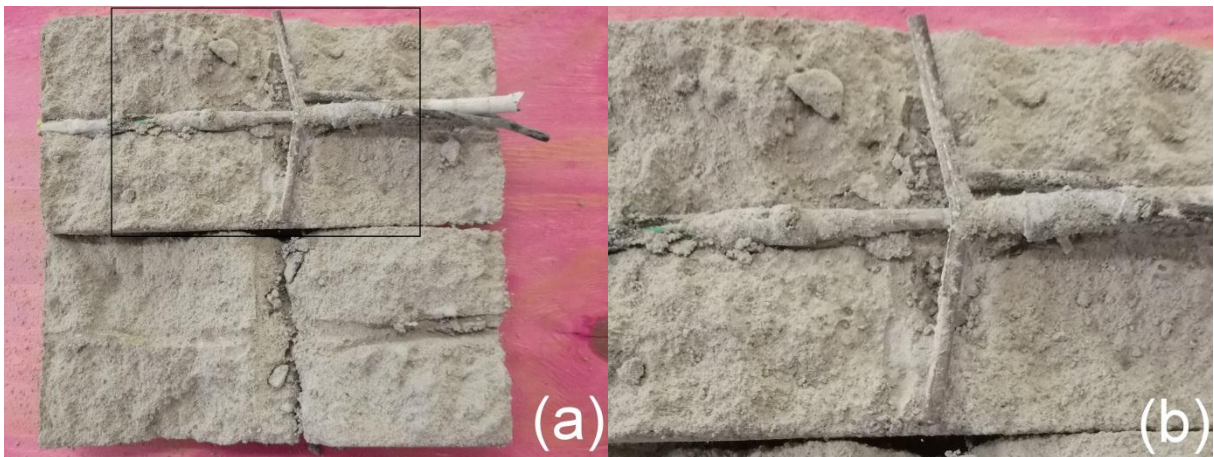
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 328 - CP T2-3: após arrancamento (modo de ruptura).



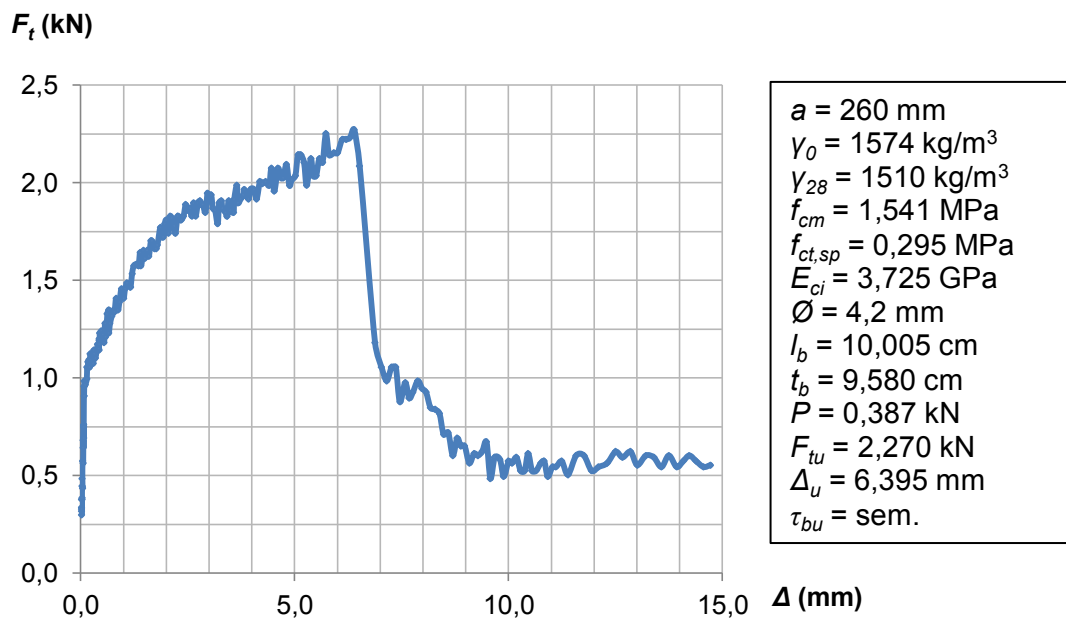
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 329 - CP T2-3: após arrancamento (modo de ruptura).

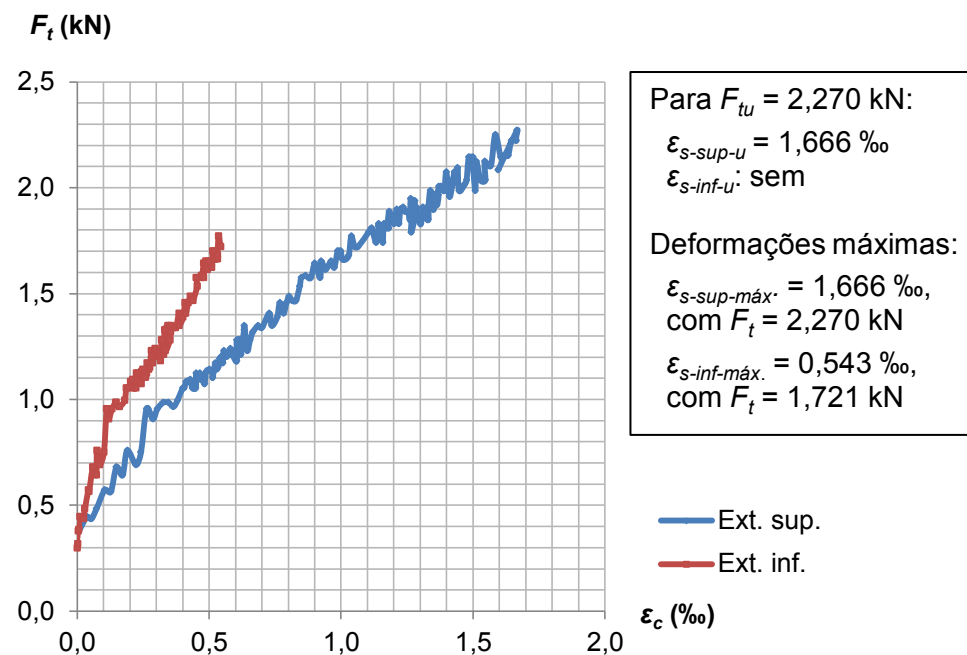


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 330 - CP T2-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 331 - CP T2-3: diagrama F_t - ϵ_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 326), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: insuficiente. Armadura fora do centro no topo do cilindro (Figura 326-e-f e Figura 327-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 327-b-d) e transversal (Figura 327-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 328) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 329) e o esmagamento do concreto (Figura 327). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 330).

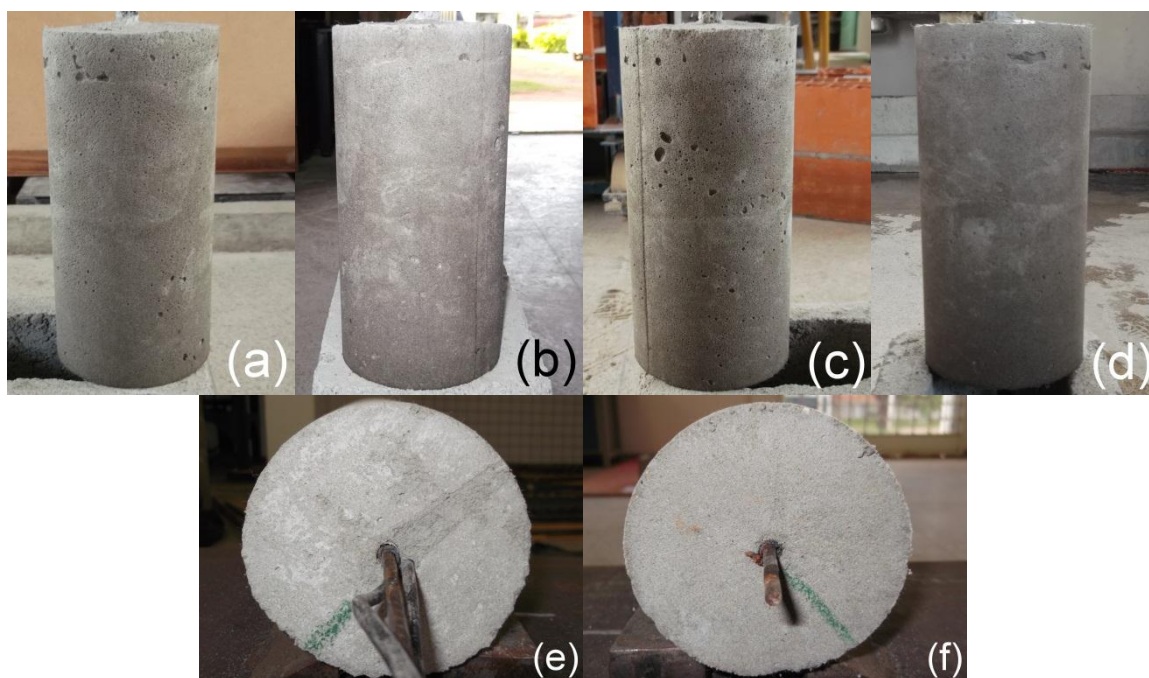
- Deformação do extensômetro superior maior que a deformação do extensômetro inferior, isso para qualquer valor de F_t . Deformação máxima do extensômetro inferior ($\epsilon_{s-inf-máx.}$) atingida com um valor de F_t (1,721 kN) menor que o valor de F_{tu} (2,270 kN). Deformação máxima do extensômetro superior ($\epsilon_{s-sup-máx.}$) atingida com o valor de F_{tu} (2,270 kN).

Conclusão do ensaio:

O valor de F_t obtido para este CP (2,270 kN) é parecido com os valores de F_{tu} obtidos para os CPs da amostra AT3 (CPs com a mesma configuração, mas sem os extensômetros). Portanto, pode-se considerar que a influência da presença dos extensômetros sobre o valor de F_{tu} foi mínima. Ensaio com o menor F_{tu} da amostra AT3-E (2,270 kN).

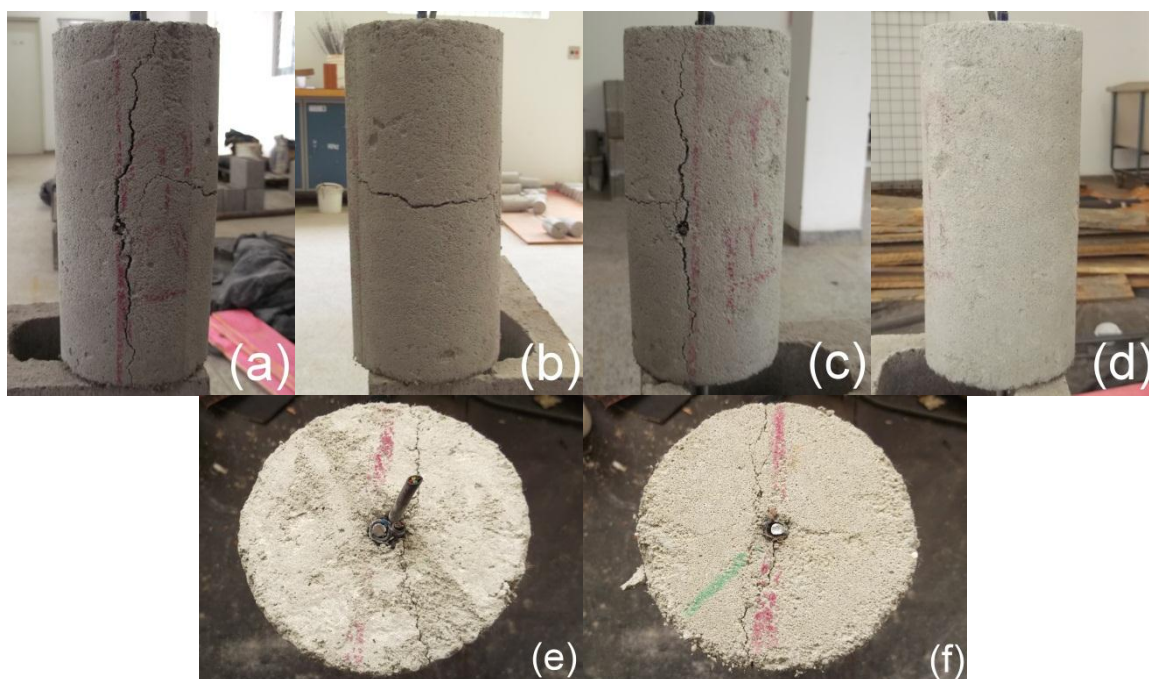
APÊNDICE AX – Laudo CP T3-3

Figura 332 - CP T3-3: antes arrancamento (parte externa).



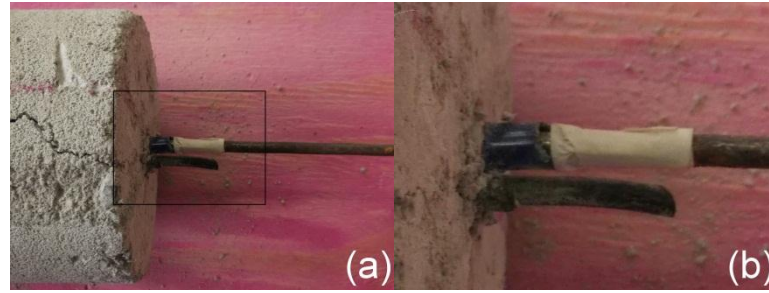
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 333 - CP T3-3: após arrancamento (parte externa).



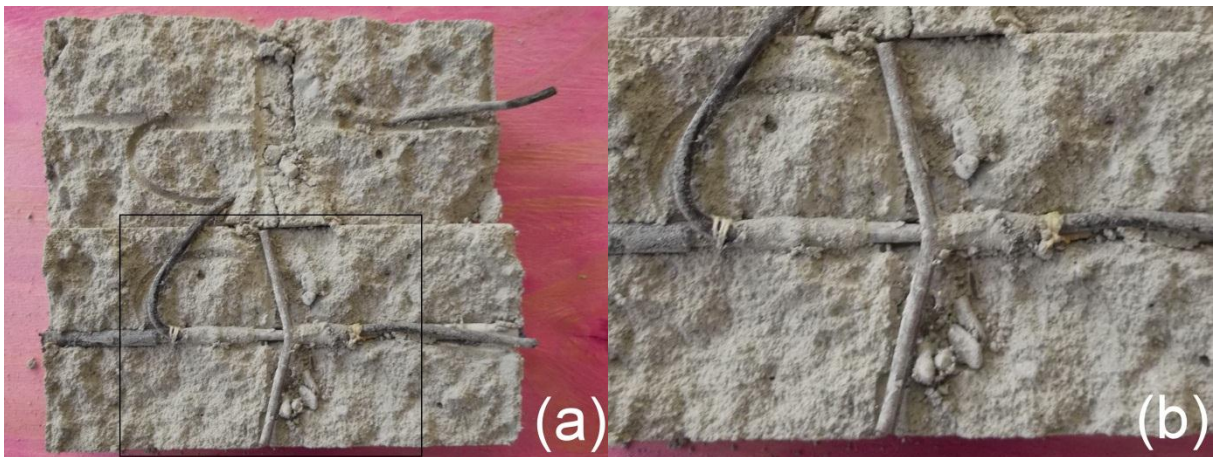
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 334 - CP T3-3: após arrancamento (parte externa).



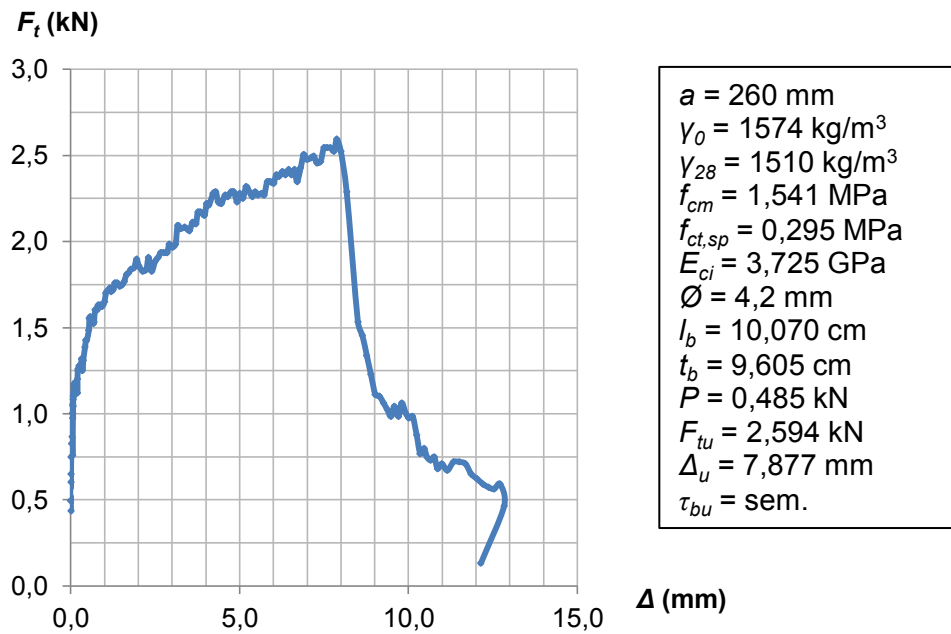
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 335 - CP T3-3: após arrancamento (parte interna).

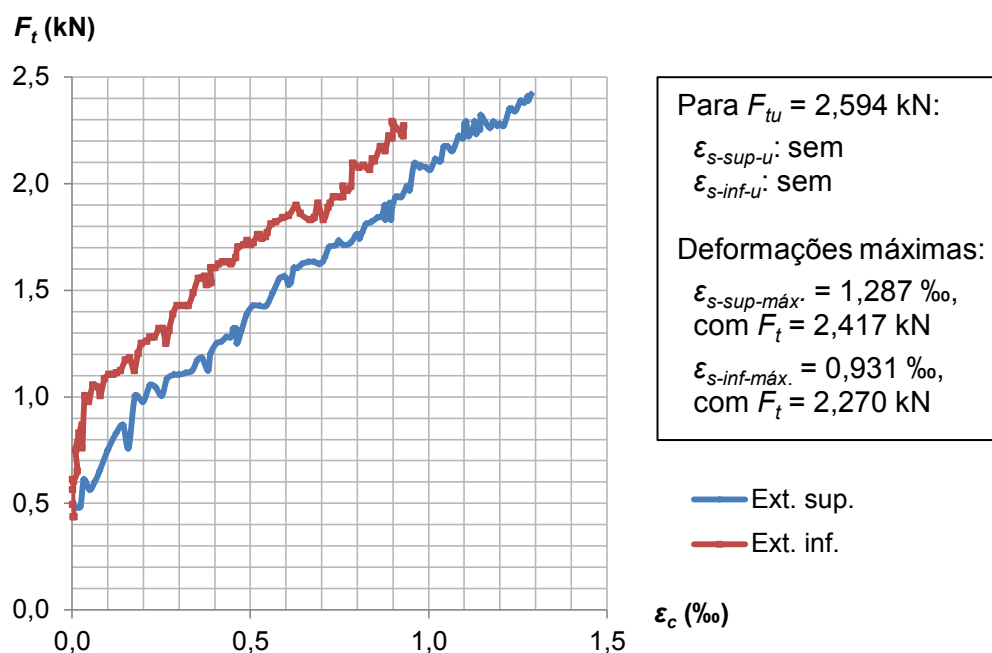


Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 336 - CP T3-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 337 - CP T3-3: diagrama F_t - ϵ_s .

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 332), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 332-e-f e Figura 333-e-f).
- Aspecto externo do cilindro após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 333-a-c) e transversal (Figura 333-b), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio. Presença de fissuras no fundo e no topo do cilindro (Figura 333-e-f).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 334) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 335) e o esmagamento do concreto (Figura 333). Diagrama F_t - Δ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 336).

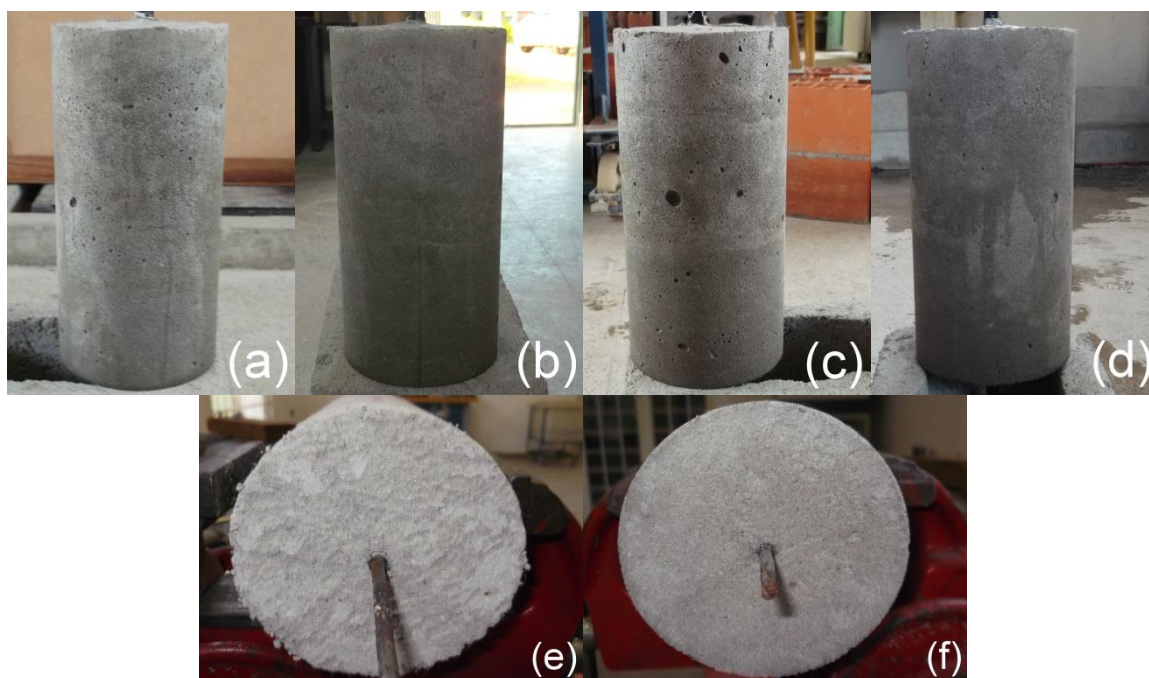
- Deformação do extensômetro superior maior que a deformação do extensômetro inferior, isso para qualquer valor de F_t . Deformação máxima dos extensômetros inferior ($\epsilon_{s-inf-m\acute{a}x.}$) e superior ($\epsilon_{s-sup-m\acute{a}x.}$) atingida com valores de F_t (respectivamente, 2,270 kN e 2,417 kN) menores que o valor de F_{tu} (2,594 kN).

Conclusão do ensaio:

O valor de F_{tu} obtido para este CP (2,594 kN) é parecido com os valores de F_{tu} obtidos para os CPs da amostra AT3 (CPs com a mesma configuração, mas sem os extensômetros). Portanto, pode-se considerar que a influência da presença dos extensômetros sobre o valor de F_{tu} foi mínima.

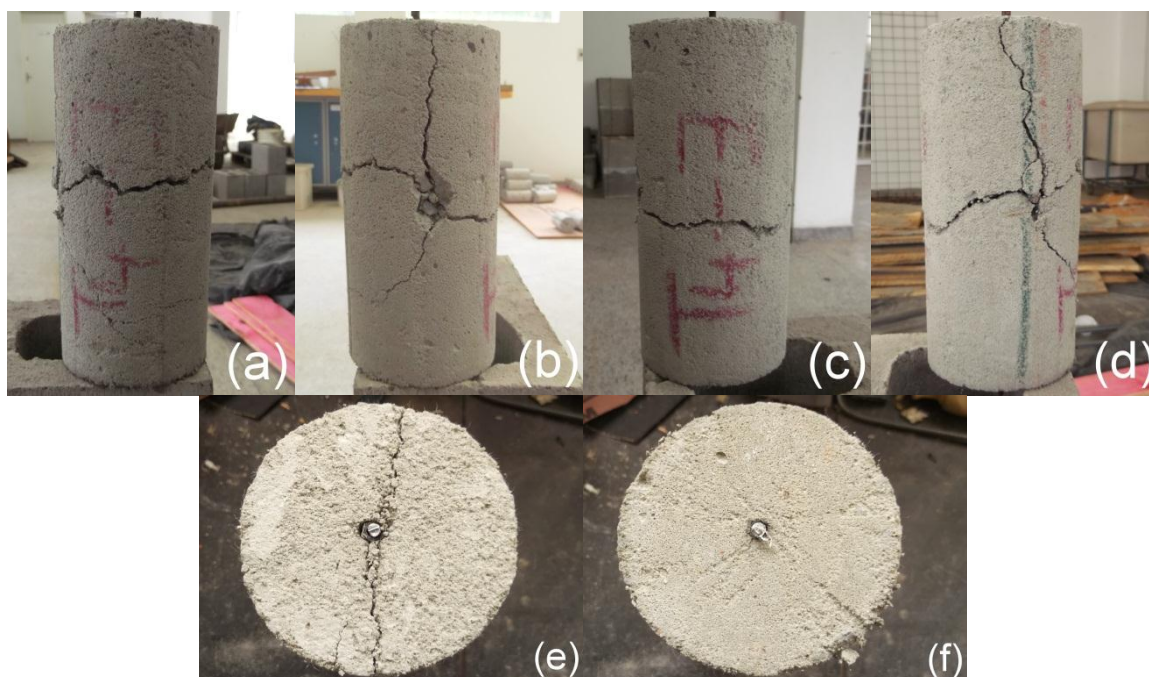
APÊNDICE AY – Laudo CP T4-3

Figura 338 - CP T4-3: antes arrancamento (parte externa).



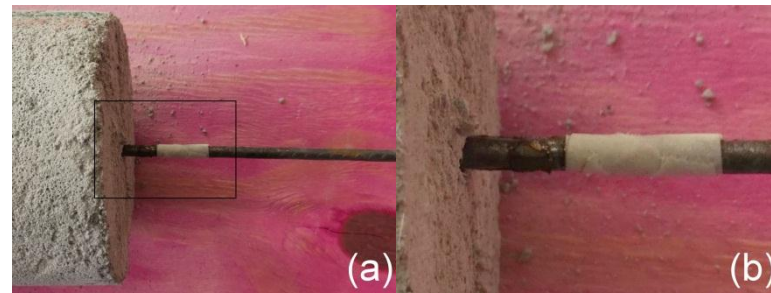
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 339 - CP T4-3: após arrancamento (parte externa).



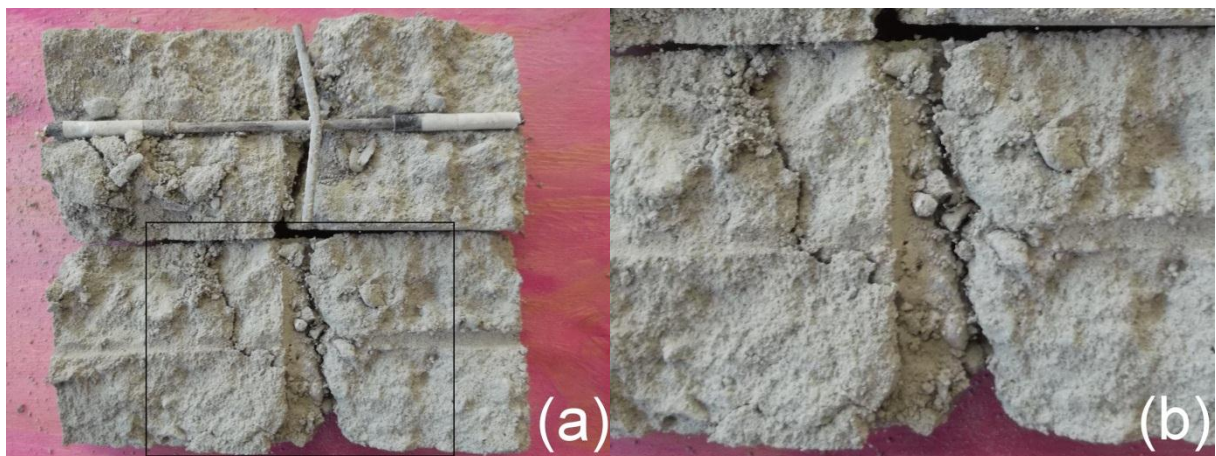
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 340 - CP T4-3: após arrancamento (modo de ruptura).



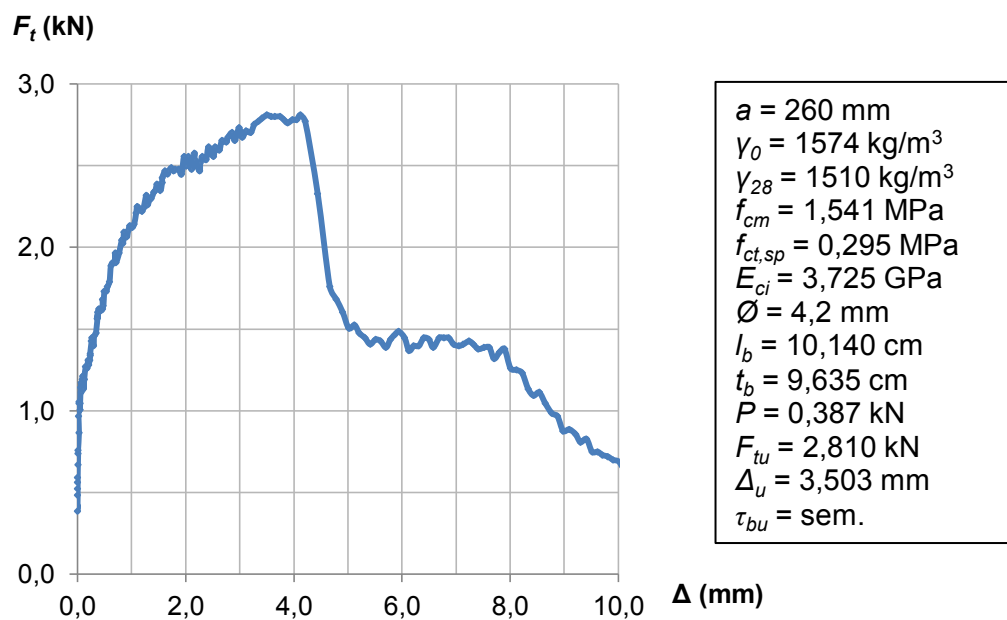
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 341 - CP T4-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 342 - CP T4-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

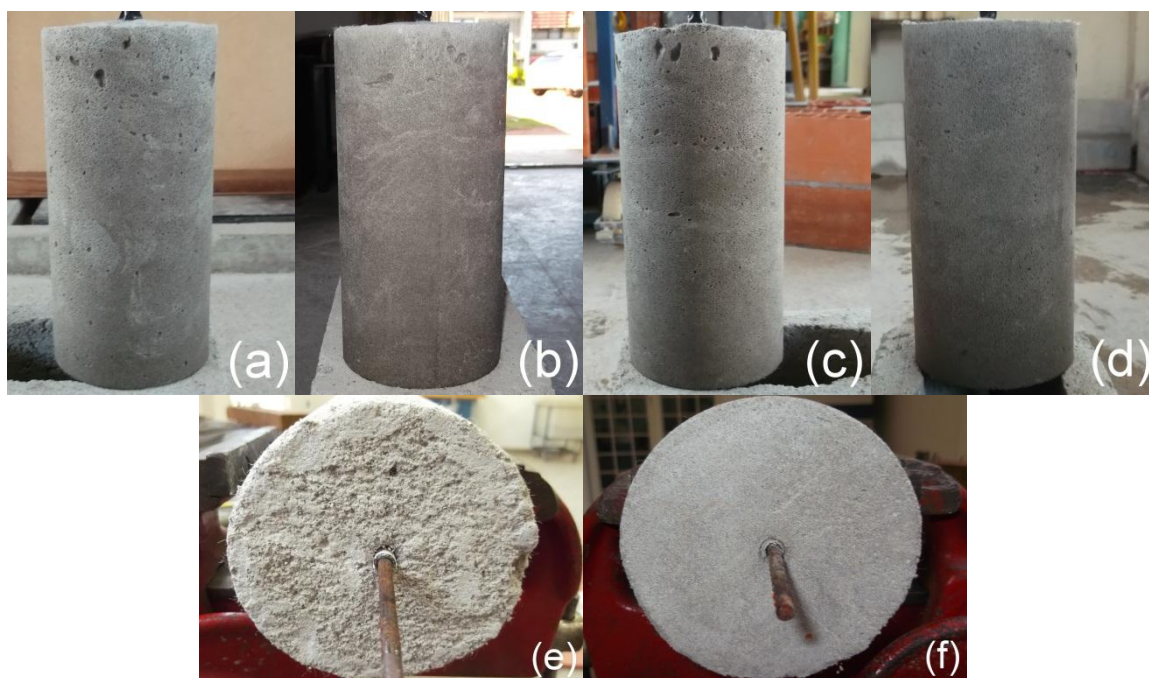
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 338-a-c), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 338-e-f e Figura 339-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 339-b-d) e transversal (Figura 339-a-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio.
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 340) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 341-a) e o esmagamento do concreto (Figura 339). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 342).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT3. Ensaio com menor F_{tu} da amostra AT3 (2,810 kN).

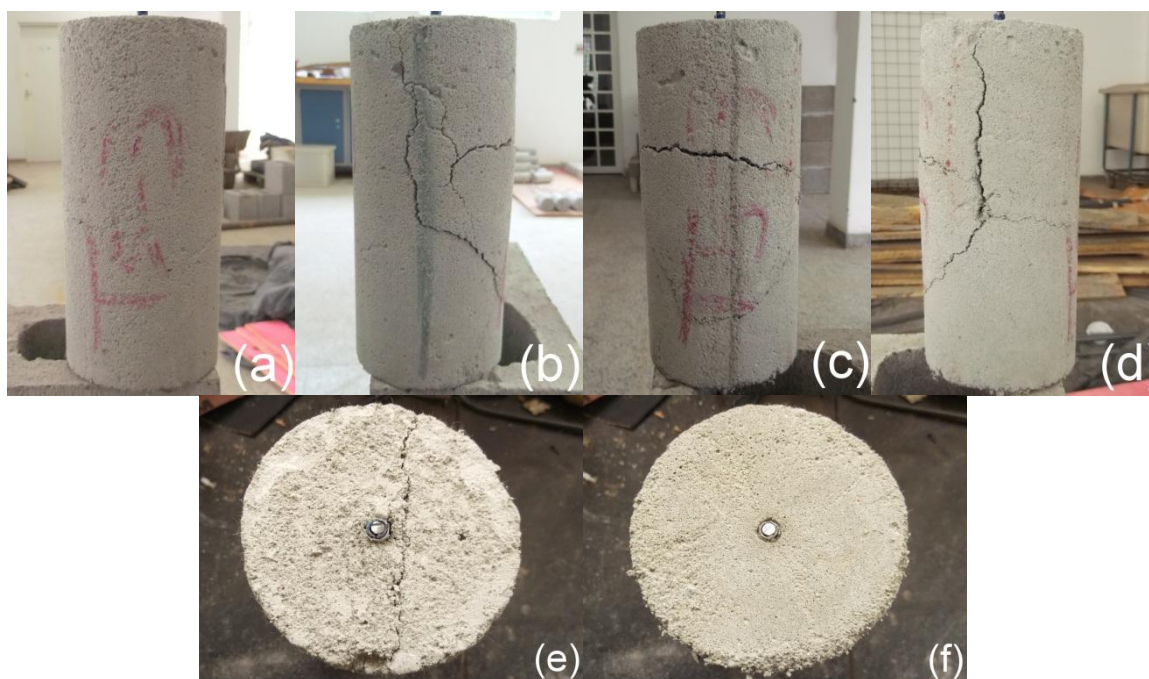
APÊNDICE AZ – Laudo CP T5-3

Figura 343 - CP T5-3: antes arrancamento (parte externa).



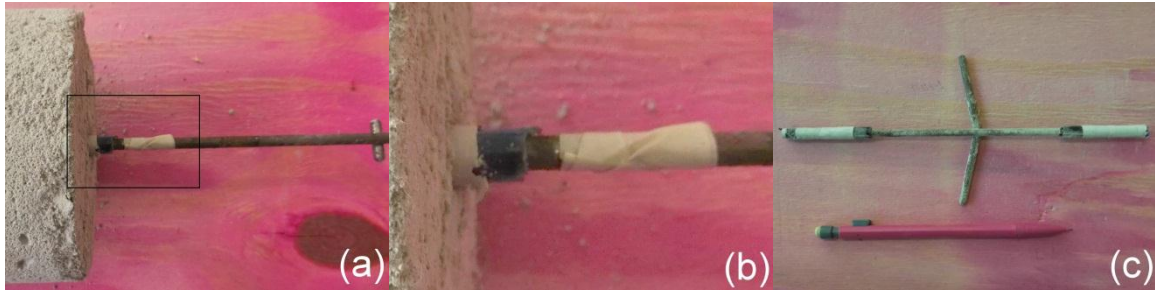
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 344 - CP T5-3: após arrancamento (parte externa).



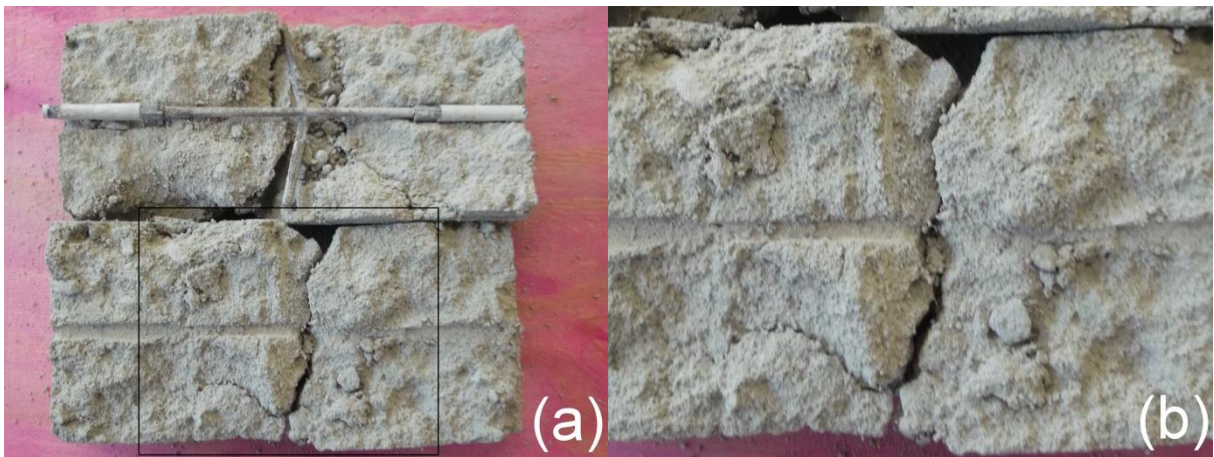
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 345 - CP T5-3: após arrancamento (modo de ruptura).



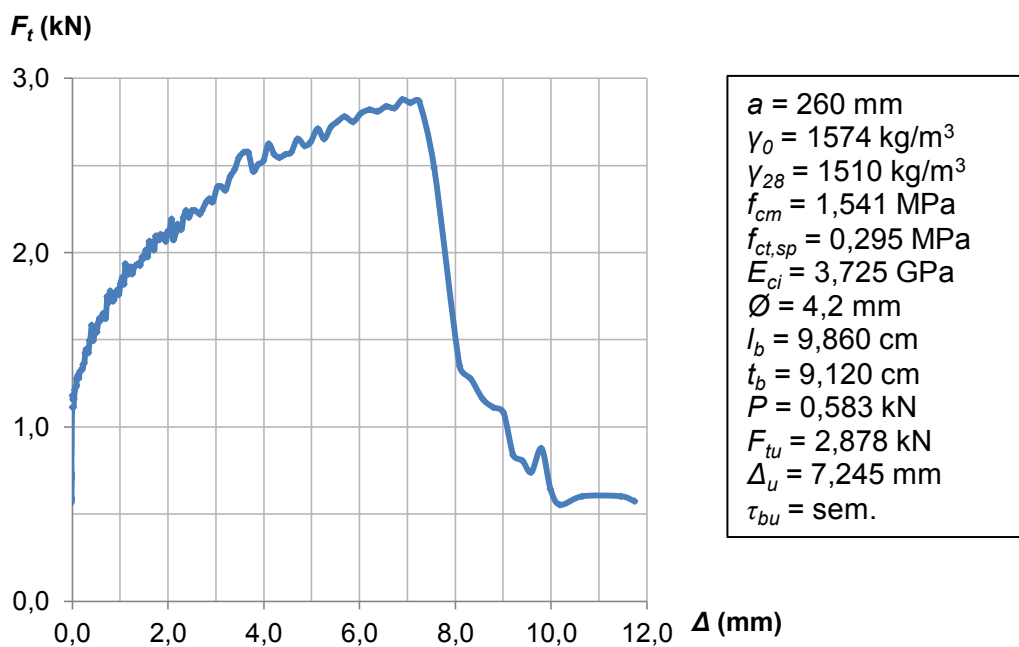
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 346 - CP T5-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 347 - CP T5-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

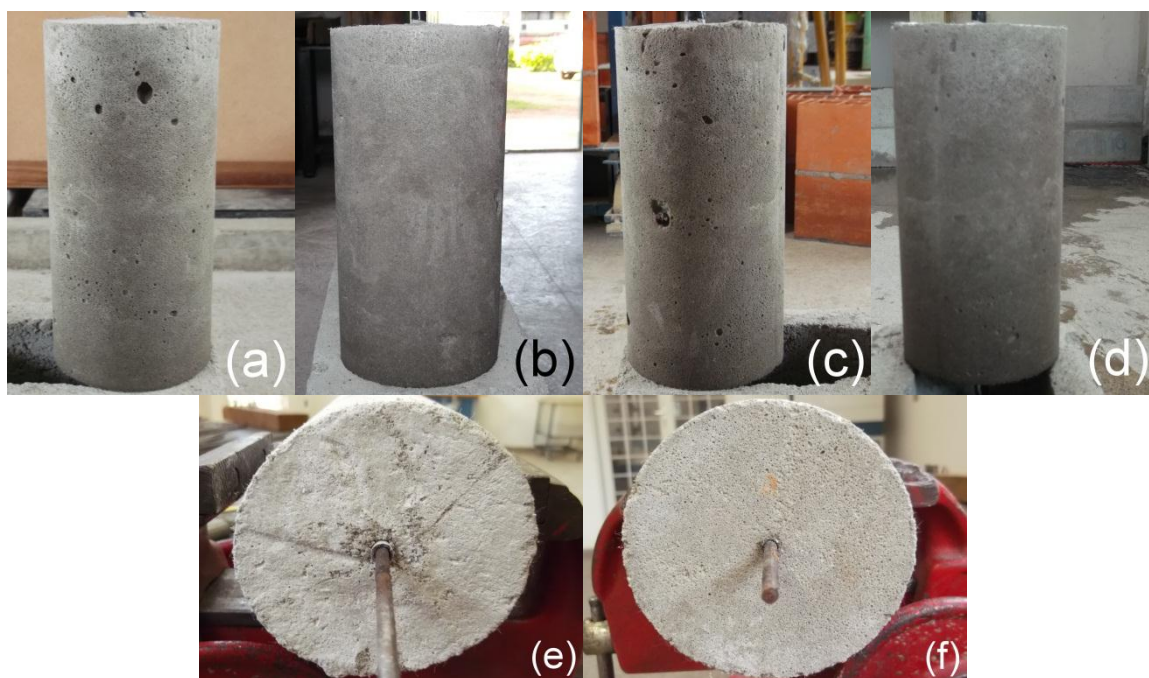
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras no topo do cilindro (Figura 343-a-c), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 343-e-f e Figura 344-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 344-b-d) e transversal (Figura 344-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio. Presença de uma fissura no topo do cilindro (Figura 344-e).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 345-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 345-c) e o esmagamento do concreto (Figura 344). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 347).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT3.

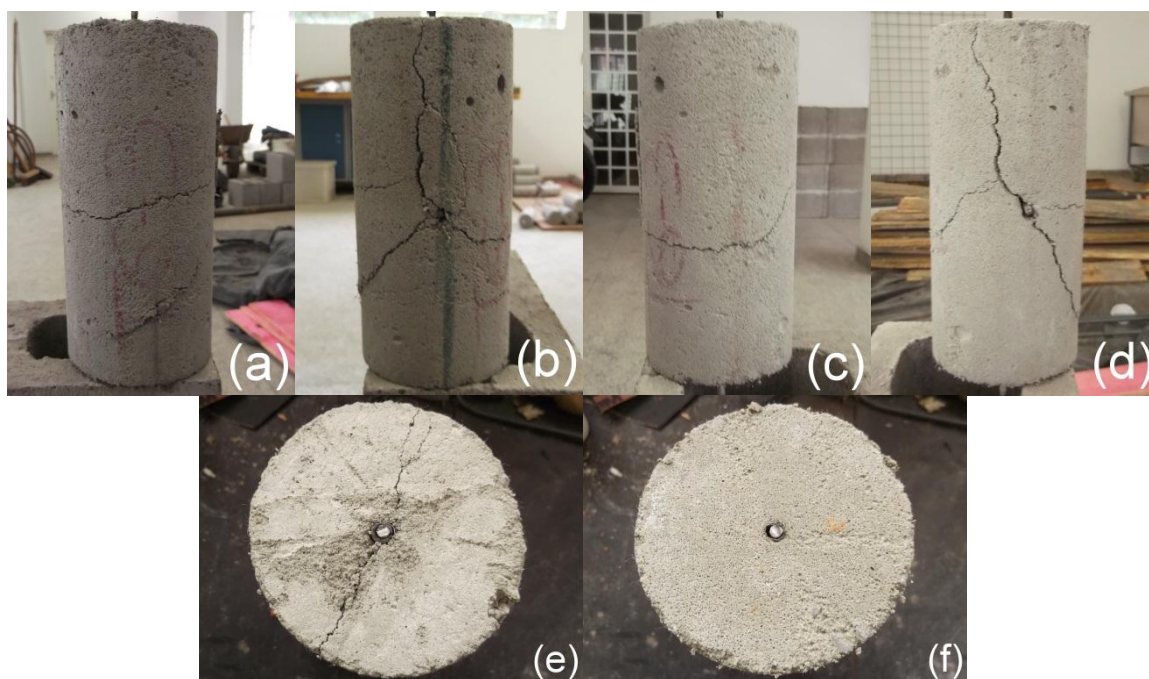
APÊNDICE BA – Laudo CP T6-3

Figura 348 - CP T6-3: antes arrancamento (parte externa).



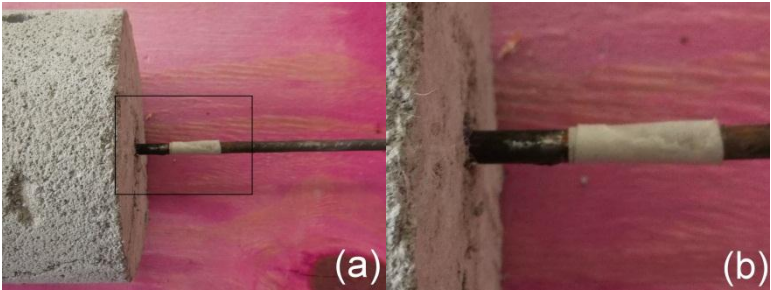
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 349 - CP T6-3: após arrancamento (parte externa).



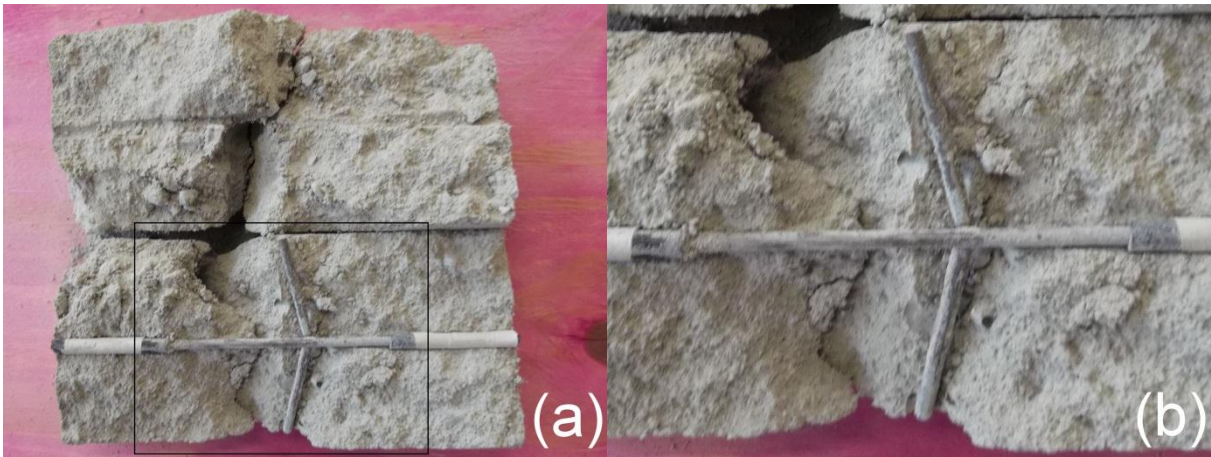
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 350 - CP T6-3: após arrancamento (modo de ruptura).



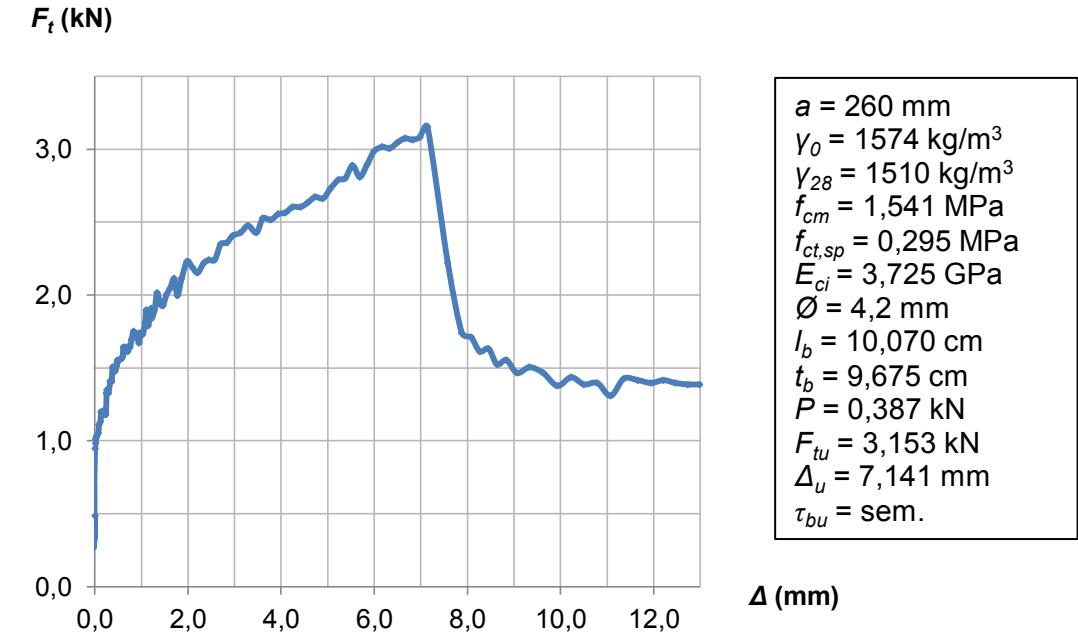
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 351 - CP T6-3: após arrancamento (modo de ruptura).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 352 - CP T6-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

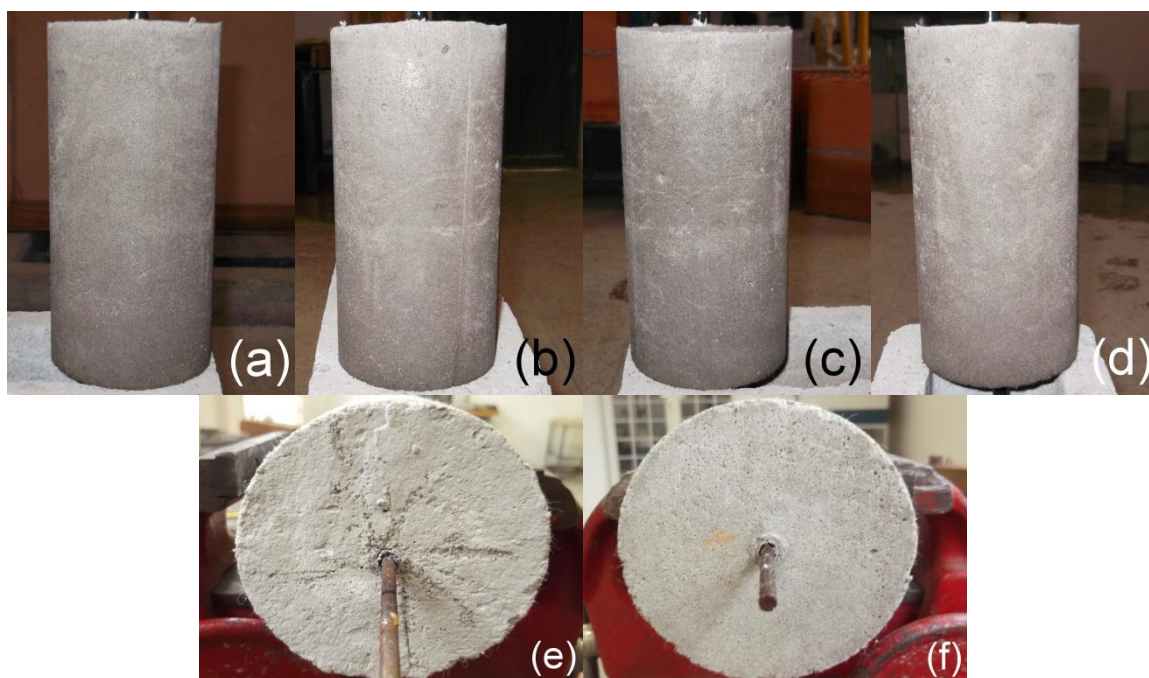
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras (Figura 348-a-c), sem influência sobre o resultado. Presença de uma bicheira no lugar da armadura transversal (Figura 348-c).
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 348-e-f e Figura 349-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 349-b-d) e transversal (Figura 349-a-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio. Presença de uma fissura no topo do cilindro (Figura 349-e).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 350-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 351) e o esmagamento do concreto (Figura 349). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 352).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT3.

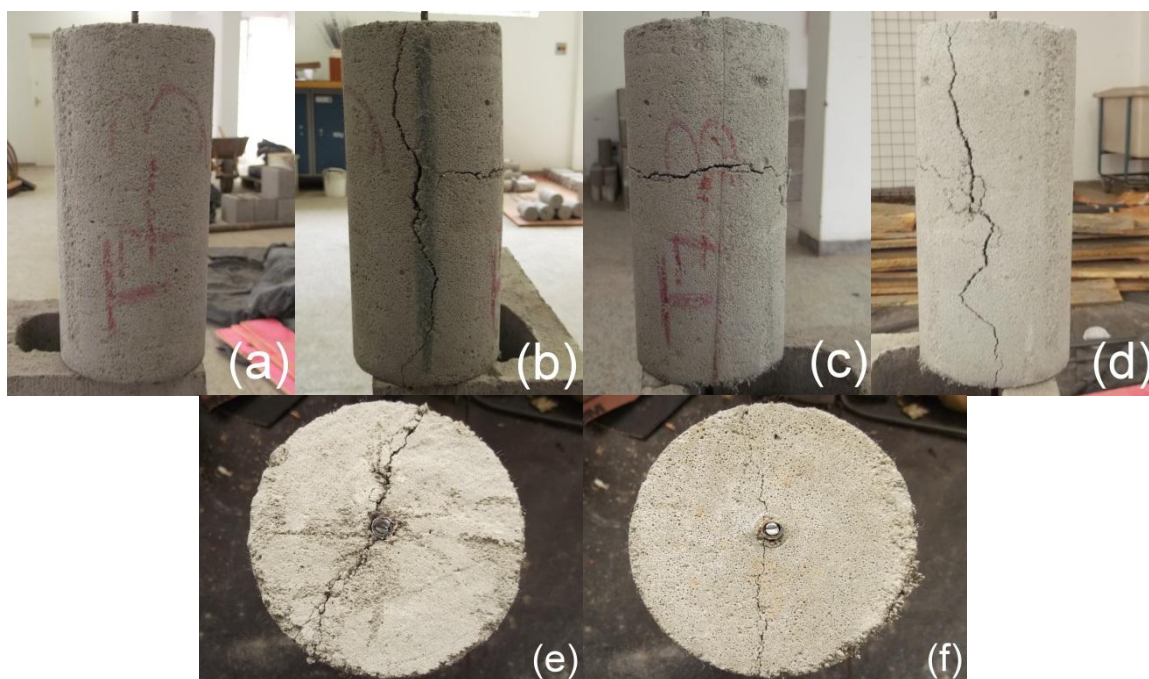
APÊNDICE BB – Laudo CP T7-3

Figura 353 - CP T7-3: antes arrancamento (parte externa).



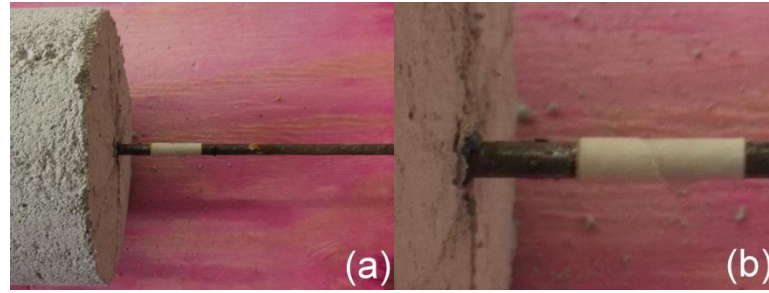
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 354 - CP T7-3: após arrancamento (parte externa).



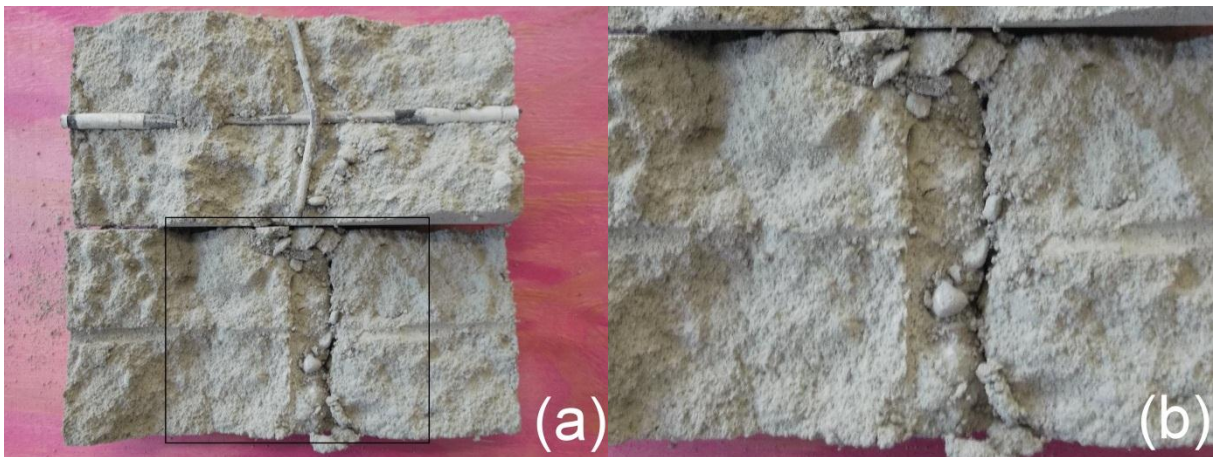
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 355 - CP T7-3: após arrancamento (modo de ruptura).



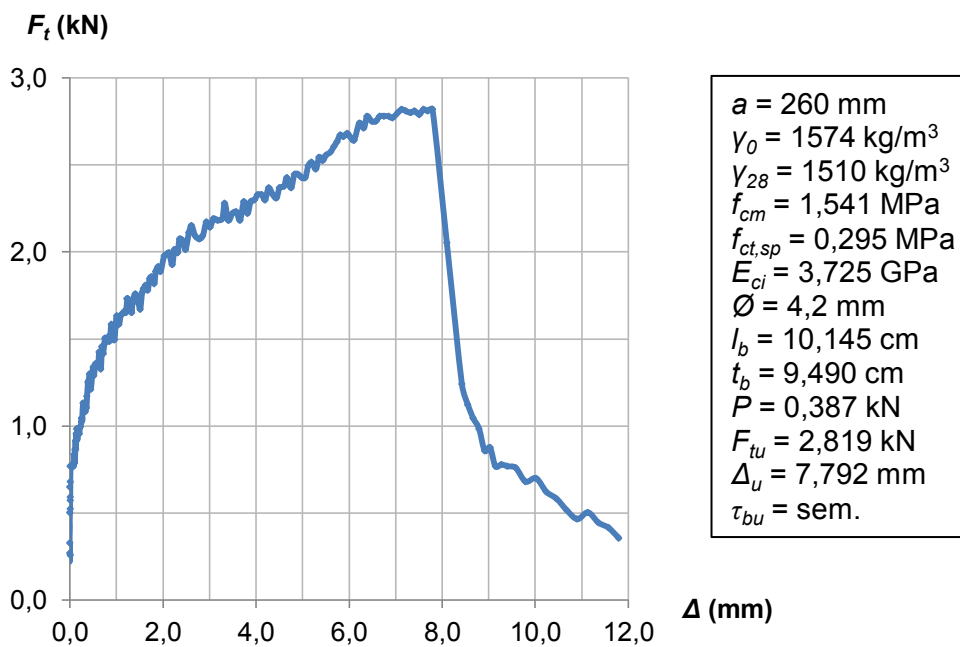
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 356 - CP T7-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 357 - CP T7-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

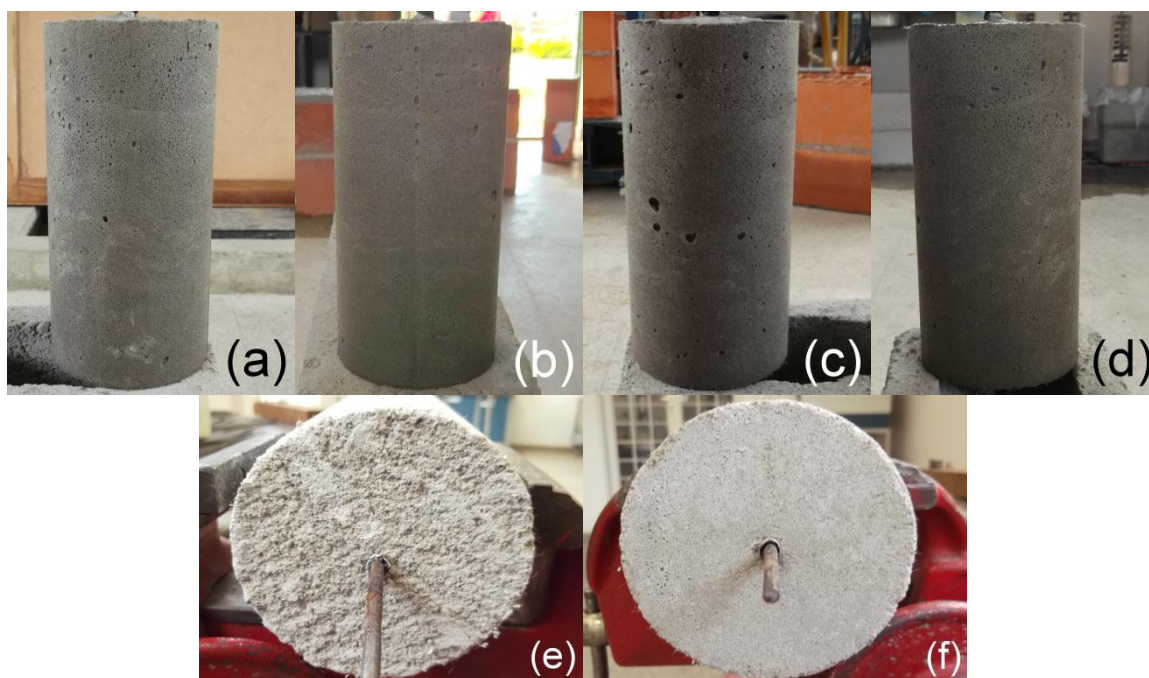
- Qualidade da moldagem: excelente (Figura 353 e Figura 354).
- Respeito da posição central da armadura: regular (Figura 353-e-f e Figura 354-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 354-b-d) e transversal (Figura 354-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio. Presença de fissuras no fundo e no topo do cilindro (Figura 354-e-f).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 355) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 356-a) e o esmagamento do concreto (Figura 354). Diagrama $F_t\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 357).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT3.

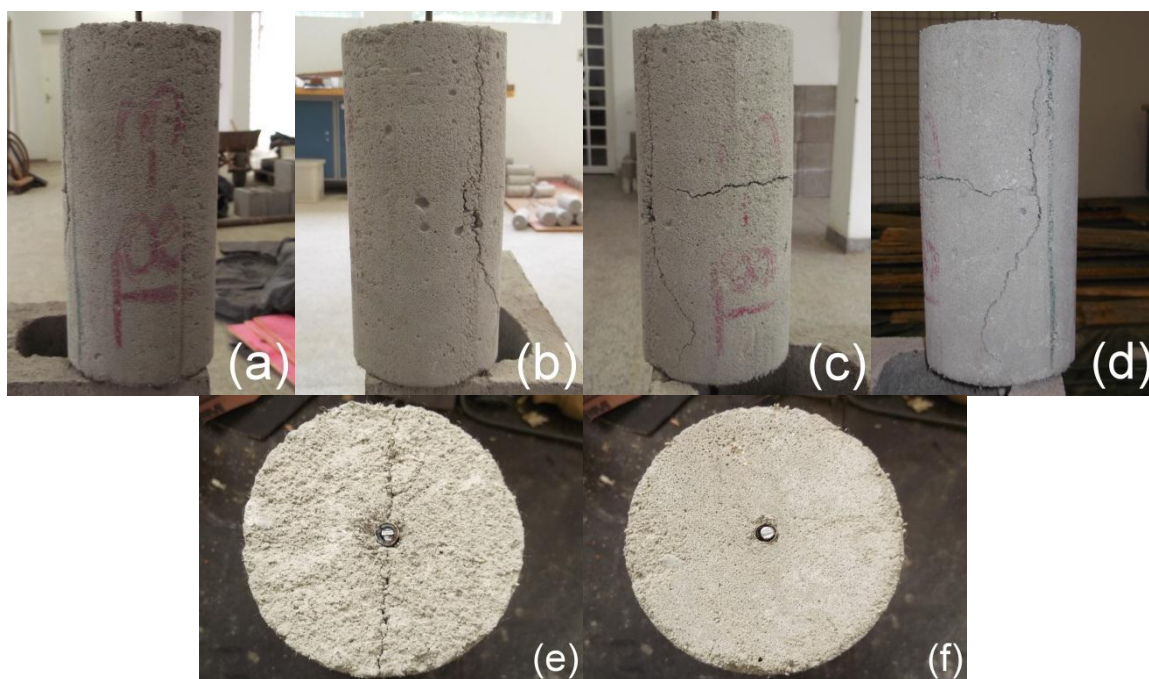
APÊNDICE BC – Laudo CP T8-3

Figura 358 - CP T8-3: antes arrancamento (parte externa).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 359 - CP T8-3: após arrancamento (parte externa).



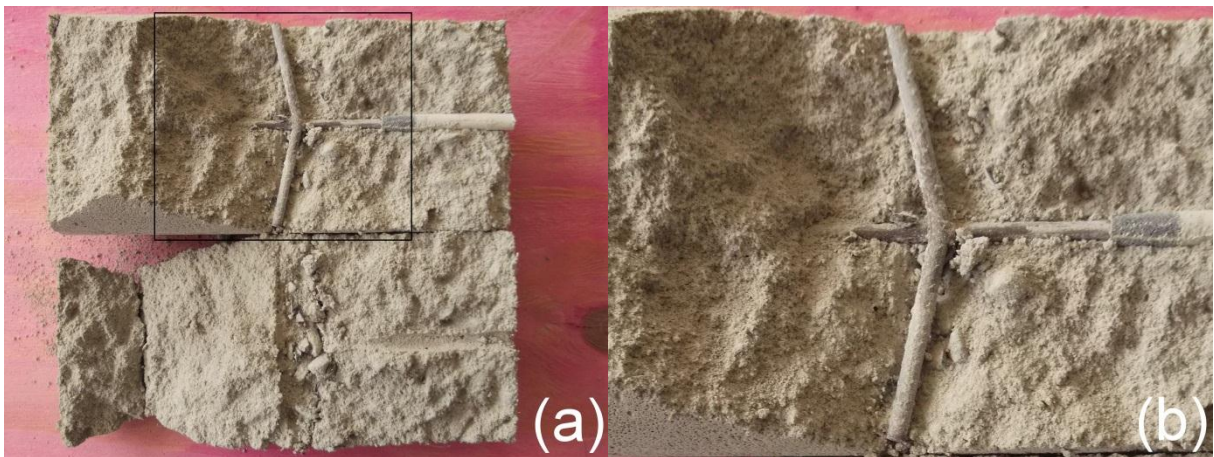
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 360 - CP T8-3: após arrancamento (modo de ruptura).



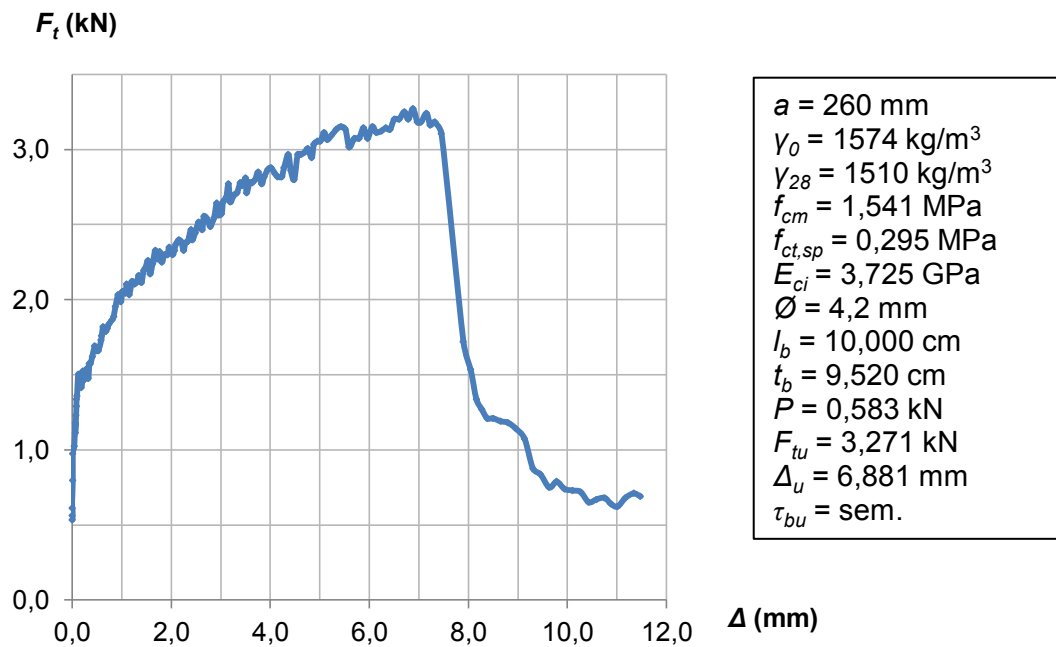
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 361 - CP T8-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 362 - CP T8-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

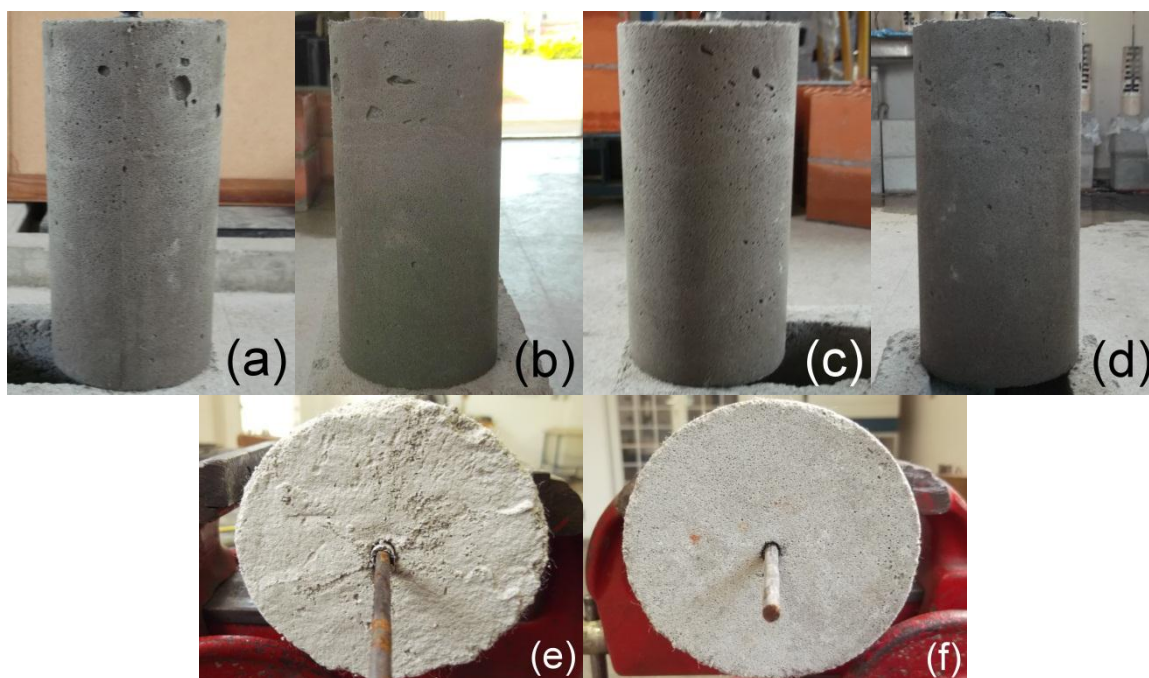
- Qualidade da moldagem: regular. Presença de pequenas bicheiras (Figura 358-c e Figura 359-b), sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 358-e-f e Figura 359-e-f).
- Aspecto externo do CP após ruptura: presença de fissuras nas direções longitudinal (Figura 359-b-d) e transversal (Figura 359-c), revelando a ruína do concreto ao longo do ensaio. Presença de fissuras no topo do cilindro (Figura 359-e).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 360-a-b) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 360-c) e o esmagamento do concreto (Figura 359). Diagrama $F_t-\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 362).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t-\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT3. Ensaio com o maior F_{tu} da amostra AT3 (3,271 kN).

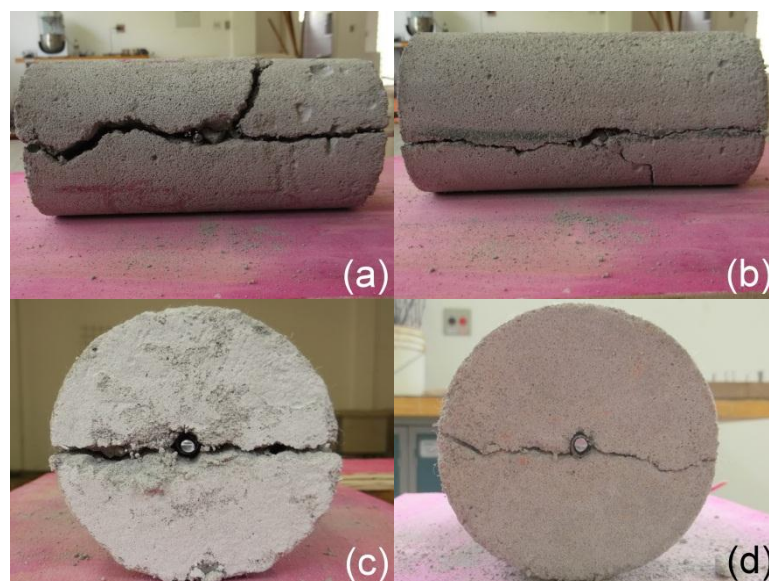
APÊNDICE BD – Laudo CP T9-3

Figura 363 - CP T9-3: antes arrancamento (parte interna).



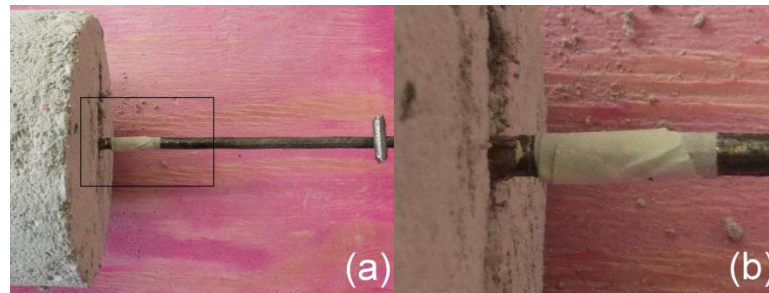
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 364 - CP T9-3: após arrancamento (parte externa).



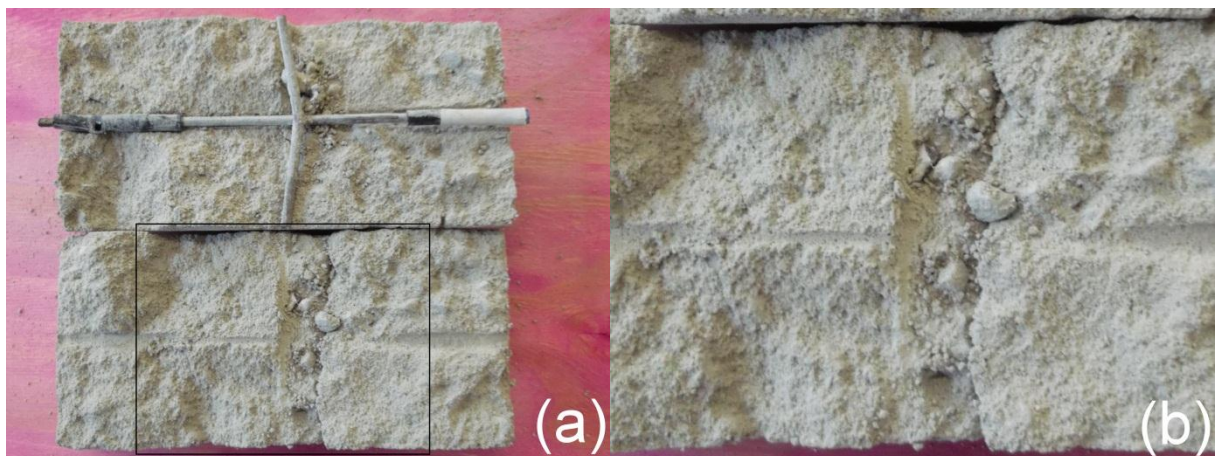
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 365 - CP T9-3: após arrancamento (modo de ruptura).



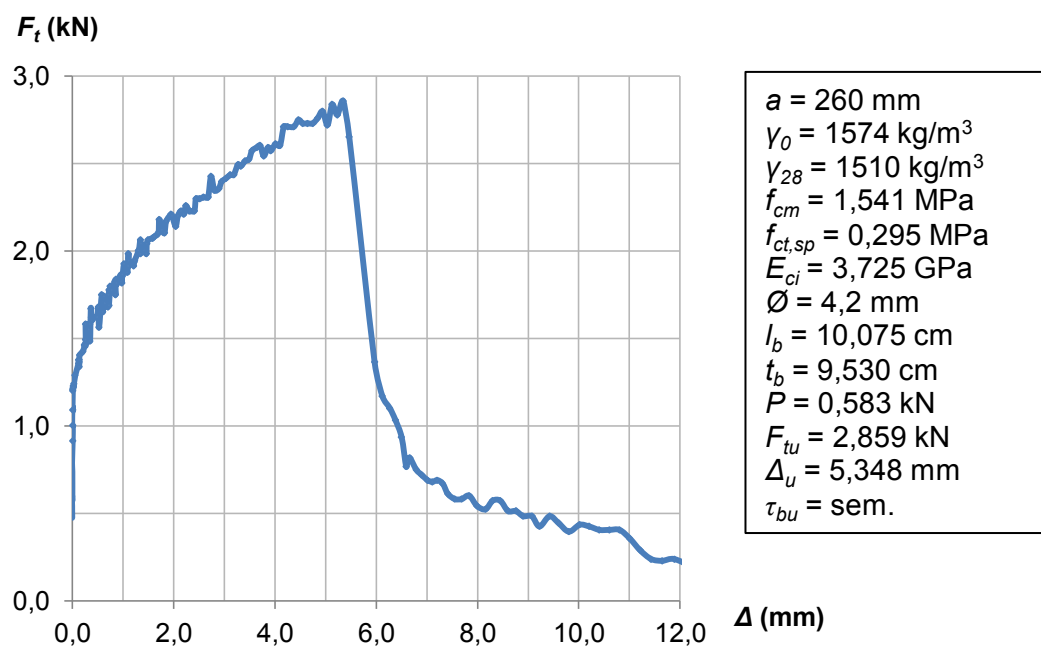
Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 366 - CP T9-3: após arrancamento (parte interna).



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Figura 367 - CP T9-3: diagrama $F_t\Delta$ e principais resultados.



Fonte: dados do próprio autor (2014).

Fatos relevantes do ensaio:

- Qualidade da moldagem: regular. Presença de algumas bicheiras na parte superior do cilindro (Figura 363), a priori sem influência sobre o resultado.
- Respeito da posição central da armadura: excelente (Figura 363-e-f e Figura 364-c-d).
- Aspecto externo do CP após ruptura: esmagamento do concreto ao longo do ensaio, abertura das fissuras até a ruína do cilindro (Figura 364).
- Modo de ruptura observado: deslizamento da armadura (Figura 365) provocando a flexão da armadura transversal (Figura 366-a) e o esmagamento do concreto (Figura 364). Diagrama $F_t\Delta$ coerente com o modo de ruptura observado, com indicação de ruptura do tipo frágil (rápido decréscimo de F_t após F_{tu} ser atingido: ver a Figura 367).

Conclusão do ensaio:

O deslizamento da armadura provoca a flexão da barra transversal e o esmagamento do concreto. Ruptura do tipo frágil conforme indicado pelo diagrama $F_t\Delta$. Resultados quantitativos e qualitativos coerentes com o resto da amostra AT3.

APÊNDICE BE – Resultados quantitativos da amostra AB1-E

Quadro 21 - Características dos materiais da amostra AB1-E.

$a = 140 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 2,069 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 2251 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 26,047 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 24,931 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 17 - Resultados quantitativos da amostra AB1-E (parte 1/2).

CP	l_b (cm)	P (kN)	F_{tu} (kN)	Δ_u (mm)	τ_{bu} (MPa)	τ_{bum} (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
B1-1	sem	0,387	1,005	1,115	-	-	-	-
B2-1	sem	0,485	1,436	0,902	-			
B3-1	sem	0,288	0,475	0,609	-			

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 18 - Resultados quantitativos da amostra AB1-E (parte 2/2).

CP	$\epsilon_{s-sup-u}$	$\epsilon_{s-inf-u}$	$\epsilon_{s-sup-máx.}$	$\epsilon_{s-inf-máx.}$
B1-1	0,189 ‰ (com $F_{tu} = 1,005 \text{ kN}$)	0,063 ‰ (com $F_{tu} = 1,005 \text{ kN}$)	0,279 ‰ (com $F_t = 0,387 \text{ kN}$)	0,329 ‰ (com $F_t = 0,426 \text{ kN}$)
B2-1	- 0,011 ‰ (com $F_{tu} = 1,436 \text{ kN}$)	-	0,129 ‰ (com $F_t = 1,132 \text{ kN}$)	-
B3-1	0,018 ‰ (com $F_{tu} = 0,475 \text{ kN}$)	-	-	-

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BF – Resultados quantitativos da amostra AB1

Quadro 22 - Características dos materiais da amostra AB1.

$a = 140 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 2,069 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 2251 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 26,047 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 24,931 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 19 - Resultados quantitativos da amostra AB1.

CP	l_b (cm)	P (kN)	F_{tu} (kN)	Δ_u (mm)	τ_{bu} (MPa)	τ_{bum} (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
B4-1	10,100	0,485	5,380	1,794	4,037	4,923	0,475	9,65
B5-1	9,940	1,073	6,841	2,016	5,216			
B6-1	10,085	1,073	6,331	1,935	4,758			
B7-1	9,925	0,779	6,900	1,927	5,269			
B8-1	9,940	1,073	6,871	1,659	5,239			
B9-1	10,035	2,054	6,645	1,822	5,019			

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BG – Resultados quantitativos da amostra AT1-E

Quadro 23 - Características dos materiais da amostra AT1-E.

$a = 140 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 2,069 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 2251 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 26,047 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 24,931 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 20 - Resultados quantitativos da amostra AT1-E (parte 1/2).

CP	l_b (cm)	t_b (cm)	P (kN)	Δ_u (mm)	F_{tu} (kN)	F_{tum} (kN)	DP (kN)	CV (%)
T1-1	10,150 [*]	9,585	0,485	2,420	9,677	9,781	0,243	2,48
T2-1	10,095 [*]	9,620	0,485	3,529	9,608			
T3-1	10,140 [*]	9,530	0,387	2,622	10,059			

*: valor de l_b medido antes da colocação dos extensômetros.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 21 - Resultados quantitativos da amostra AT1-E (parte 2/2).

CP	$\epsilon_{s-sup-u}$	$\epsilon_{s-inf-u}$	$\epsilon_{s-sup-máx.}$	$\epsilon_{s-inf-máx.}$
T1-1	-	-	-	-
T2-1	7,272 ‰ (com $F_{tu} = 9,608 \text{ kN}$)	1,110 ‰ (com $F_{tu} = 9,608 \text{ kN}$)	7,481 ‰ (com $F_t = 9,598 \text{ kN}$)	1,110 ‰ (com $F_t = 8,578 \text{ kN}$)
T3-1	5,706 ‰ (com $F_{tu} = 10,059 \text{ kN}$)	- 0,187 ‰ (com $F_{tu} = 10,059 \text{ kN}$)	5,866 ‰ (com $F_t = 10,010 \text{ kN}$)	0,842 ‰ (com $F_t = 7,930 \text{ kN}$)

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BH – Resultados quantitativos da amostra AT1

Quadro 24 - Características dos materiais da amostra AT1.

$a = 140 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 2,069 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 2251 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 26,047 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 2255 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 24,931 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 22 - Resultados quantitativos da amostra AT1.

CP	l_b (cm)	t_b (cm)	P (kN)	Δ_u (mm)	F_{tu} (kN)	F_{tum} (kN)	DP (kN)	CV (%)
T4-1	10,075	9,525	0,583	1,888	9,843	10,141	0,225	2,22
T5-1	10,105	9,475	0,779	1,237	10,128			
T6-1	10,065	9,480	0,681	2,428	9,951			
T7-1	10,370	9,610	0,779	19,895	10,481			
T8-1	10,065*	9,625	0,387	23,047	10,206			
T9-1	10,090	9,440	0,387	22,928	10,236			

*: valor de l_b medido antes do ensaio (ruptura do cilindro na hora da abertura para verificação de l_b).

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BI – Resultados quantitativos da amostra AB2

Quadro 25 - Características dos materiais da amostra AB2.

$a = 215 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 0,600 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 1642 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 6,993 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 2,563 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 23 - Resultados quantitativos da amostra AB2.

CP	l_b (cm)	P (kN)	F_{tu} (kN)	Δ_u (mm)	τ_{bu} (MPa)	τ_{bum} (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
B1-2	9,990	0,288	0,288	sem	0,219	0,379	0,240	63,42
B2-2	10,000	0,485	0,906	0,389	0,687			
B3-2	9,950	0,092	0,426	0,242	0,324			
B4-2	10,040	0,092	0,857	1,249	0,647			
B5-2	10,070	0,485	0,857	1,375	0,645			
B6-2	10,020	0,092	0,436	0,249	0,329			
B7-2	10,055	0,092	0,092	sem	0,070			
B8-2	10,050	0,092	0,553	0,145	0,417			
B9-2	10,000	0,092	0,092	sem	0,070			

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BJ – Resultados quantitativos da amostra AT2

Quadro 26 - Características dos materiais da amostra AT2.

$a = 215 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 0,600 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 1642 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 6,993 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 1565 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 2,563 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 24 - Resultados quantitativos da amostra AT2.

CP	l_b (cm)	t_b (cm)	P (kN)	Δ_u (mm)	F_{tu} (kN)	F_{tum} (kN)	DP (kN)	CV (%)
T1-2	10,110 *	9,475	0,779	4,978	5,252	5,409	0,353	6,53
T2-2	10,020 *	9,630	0,877	7,142	5,027			
T3-2	10,140 *	9,670	0,288	7,011	5,527			
T4-2	10,095 *	9,575	0,583	6,209	5,537			
T5-2	10,075 *	9,580	0,583	6,704	5,517			
T6-2	10,155 *	9,350	0,387	7,927	5,390			
T7-2	9,910	9,670	0,387	4,311	4,830			
T8-2	10,010 *	9,500	0,288	6,785	6,067			
T9-2	10,155 *	9,635	0,288	6,370	5,537			

*: valor de l_b medido antes do ensaio (ruptura do cilindro na hora da abertura ou esboroamento do concreto dentro do cilindro).

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BK – Resultados quantitativos da amostra AB3-E

Quadro 27 - Características dos materiais da amostra AB3-E.

$a = 260 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 0,295 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 1574 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 3,725 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 1,541 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 25 - Resultados quantitativos da amostra AB3-E (parte 1/2).

CP	l_b (cm)	P (kN)	F_{tu} (kN)	Δ_u (mm)	τ_{bu} (MPa)	τ_{bum} (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
B1-3	-	0,092	0,092	-	-	-	-	-
B2-3	-	0,387	0,387	-	-			
B3-3	-	0,387	0,387	-	-			

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 26 - Resultados quantitativos da amostra AB3-E (parte 2/2).

CP	$\epsilon_{s-sup-u}$	$\epsilon_{s-inf-u}$	$\epsilon_{s-sup-máx.}$	$\epsilon_{s-inf-máx.}$
B1-3	-	-	-	-
B2-3	-	-	-	-
B3-3	-	-	-	-

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BL – Resultados quantitativos da amostra AB3

Quadro 28 - Características dos materiais da amostra AB3.

$a = 260 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 0,295 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 1574 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 3,725 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 1,541 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 27 - Resultados quantitativos da amostra AB3.

CP	l_b (cm)	P (kN)	F_{tu} (kN)	Δ_u (mm)	τ_{bu} (MPa)	τ_{bum} (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
B4-3	9,805	0,092	0,092	-	0,071	0,107	0,091	85,07
B5-3	10,025	0,092	0,092	-	0,070			
B6-3	10,000	0,092	0,092	-	0,070			
B7-3	10,110*	0,092	0,092	-	0,069			
B8-3	9,950	0,092	0,092	-	0,070			
B9-3	9,975	0,387	0,387	-	0,294			

*: valor de l_b medido antes do ensaio (esboroamento do concreto após abertura do cilindro).

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BM – Resultados quantitativos da amostra AT3-E

Quadro 29 - Características dos materiais da amostra AT3-E.

$a = 260 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 0,295 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 1574 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 3,725 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 1,541 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 28 - Resultados quantitativos da amostra AT3-E (parte 1/2).

CP	l_b (cm)	t_b (cm)	P (kN)	Δ_u (mm)	F_{tu} (kN)	F_{tum} (kN)	DP (kN)	CV (%)
T1-3	10,100 *	9,610	0,975	10,340	2,829	2,564	0,281	10,95
T2-3	10,005 *	9,580	0,387	6,395	2,270			
T3-3	10,070 *	9,605	0,485	7,877	2,594			

*: valor de l_b medido antes da colocação dos extensômetros.

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 29 - Resultados quantitativos da amostra AT3-E (parte 2/2).

CP	$\epsilon_{s-sup-u}$	$\epsilon_{s-inf-u}$	$\epsilon_{s-sup-máx.}$	$\epsilon_{s-inf-máx.}$
T1-3	1,685 ‰ (com $F_{tu} = 2,829 \text{ kN}$)	-	1,685 ‰ (com $F_t = 2,829 \text{ kN}$)	0,728 ‰ (com $F_t = 2,241 \text{ kN}$)
T2-3	1,666 ‰ (com $F_{tu} = 2,270 \text{ kN}$)	-	1,666 ‰ (com $F_t = 2,270 \text{ kN}$)	0,543 ‰ (com $F_t = 1,721 \text{ kN}$)
T3-3	-	-	1,287 ‰ (com $F_t = 2,417 \text{ kN}$)	0,931 ‰ (com $F_t = 2,270 \text{ kN}$)

Fonte: dados do próprio autor (2014).

APÊNDICE BN – Resultados quantitativos da amostra AT3

Quadro 30 - Características dos materiais da amostra AT3.

$a = 260 \text{ mm}$	$f_{ct,sp} = 0,295 \text{ MPa}$
$\gamma_0 = 1574 \text{ kg/m}^3$	$E_{ci} = 3,725 \text{ GPa}$
$\gamma_{28} = 1510 \text{ kg/m}^3$	$\varnothing = 4,2 \text{ mm}$
$f_{cm} = 1,541 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$

Fonte: dados do próprio autor (2014).

Tabela 30 - Resultados quantitativos da amostra AT3.

CP	l_b (cm)	t_b (cm)	P (kN)	Δ_u (mm)	F_{tu} (kN)	F_{tum} (kN)	DP (kN)	CV (%)
T4-3	10,140*	9,635	0,387	3,503	2,810	2,965	0,197	6,63
T5-3	9,860	9,120	0,583	7,245	2,878			
T6-3	10,070*	9,675	0,387	7,141	3,153			
T7-3	10,145*	9,490	0,387	7,792	2,819			
T8-3	10,000*	9,520	0,583	6,881	3,271			
T9-3	10,075	9,530	0,583	5,348	2,859			

*: valor de l_b medido antes do ensaio (ruptura do cilindro na hora da abertura).

Fonte: dados do próprio autor (2014).