Edifício Wilton Paes de Almeida

Propriedades tecnológicas do concreto e da armadura utilizados na estrutura de concreto armado do edifício Wilton Paes de Almeida, que sofreu incêndio e colapso no dia 1º de maio de 2018, sito a Rua Antônio de Godoy, 581, Largo do Paissandu, São Paulo, SP.

Rev. 01, corrigida e ampliada, que anula a versão anterior de 03 de agosto de 2018.

Supervisão:
Prof. Paulo Helene
Diretor Técnico do IBRACON

Autores:
Douglas Couto
Jéssika Pacheco
Matheus Moreira

AGOSTO 2018

Natureza do Trabalho: Relatório Técnico.
Propriedades tecnológicas do concreto e da armadura utilizados na estrutura de concreto armado do edifício Wilton Paes de Almeida, que sofreu incêndio e colapso no dia 1º de maio de 2018, sito a Rua Antônio de Godoy, 581, Largo do Paissandu, São Paulo, SP.

Interessado: **Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP)**

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....3

2. DESCRIÇÃO DO ACONTECIMENTO.....4

3. PROPRIEDADES do CONCRETO ARMADO.....7

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....43

ANEXOS

Anexo A→ *Ofício elaborado pelo IBRACON ao Secretário de prefeituras regionais da Prefeitura Municipal de São Paulo, Sr. Marcos Penido.*

Anexo B→ *Termo de Cooperação para o estudo do comportamento dos materiais da estrutura de concreto armado do Edifício Wilton Paes de Almeida, firmado entre o IBRACON e a SPObras da PMSP.*

Anexo C→ *E-mail de autorização para a remoção das amostras, enviado pelo perito Sr. Edgar Rezende.*

Anexo D→*Relatórios de ensaios nºs 117957 e 117958, elaborados pela Associação Brasileira de Cimento Portland.*

Anexo E→*Relatório de ensaios elaborado pela CAIQ Serviços de Análises Metalográficas Ltda./ArcelorMittal.*

1. INTRODUÇÃO

A partir de uma iniciativa do IBRACON, representado pelo Diretor Presidente Julio Timerman e o Diretor Técnico Prof. Paulo Helene, foi realizada esta investigação e estudos, visando contribuir para a caracterização tecnológica dos materiais remanescentes do colapso precoce da estrutura de concreto armado do Edifício Wilton Paes de Almeida, sito a R. Antônio de Godoy, 581, Largo do Paissandu, São Paulo, SP, que sofreu incêndio e colapso na madrugada do dia 1º de maio de 2018.

Para a consecução desse objetivo, houve a necessidade de contar com a participação altruísta de várias Instituições Privadas e Públicas e, inclusive, de pessoas físicas (profissionais reconhecidos), que entendendo a motivação maior, não hesitaram em dar seu apoio voluntário e competente a este desafio lançado pelo IBRACON e que estão registradas e nominadas neste Parecer.

Para lograr a retirada de amostras (pedaços) da estrutura, houve o apoio da Prefeitura Municipal de São Paulo *(Anexo A)*, cujo Presidente da SPObras, Sr. Mauricio Brun Bucker, intermediado pelo Prof. Vitor Levy Castex Aly, Secretário Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (SIURB), firmou juntamente com o Diretor Presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, o Termo de Cooperação para análise dos escombros da edificação sinistrada (*Anexo B*).

Ainda, o acesso aos escombros foi também acordado com a Superintendência da Polícia Técnico-Científica, através dos peritos Mônica Bernardi Urias e Edgar Rezende Marques (*Anexo C*), sendo que este último acompanhou *in loco* a retirada das amostras para transporte e depósito nas instalações da UPM.

Para guarda das amostras retiradas dos escombros e para as operações de ensaio, contou-se com a participação espontânea da Universidade Presbiteriana Mackenzie UPM, que ofereceu o espaço nos Laboratórios de Estruturas e Materiais de Construção da Escola de Engenharia, tendo o Prof. Simão Priszkulnik como interlocutor principal.

De modo a conhecer as propriedades tecnológicas dos materiais concreto e aço, assim como a geometria e armadura do trecho de pilar coletado dos escombros foi desenvolvido um plano de inspeção e ensaios, formulado pela equipe do IBRACON e levado a cabo com a colaboração voluntária de profissionais, entidades e empresas registradas e nominadas neste Parecer.

2. DESCRIÇÃO DO ACONTECIMENTO

"Um incêndio levou ao desabamento de um prédio de 24 andares invadido no centro de São Paulo, provocou pânico em moradores e vizinhos e expos a falta de controle de órgãos públicos sobre a segurança de imóveis ocupados por sem-teto" (Folha, 2018)[1].

Figura 1. Edifício Wilton Paes de Almeida.

Na madrugada do primeiro dia do mês de maio de 2018, um incêndio levou o edifício Wilton Paes de Almeida (Fig. 1) ao desabamento. O incêndio teve início por volta das 01h30, e as chamas começaram por um provável curto circuito no quinto andar. Em pouco espaço de tempo, devido às características construtivas do prédio, o fogo se alastrou rapidamente pelos outros andares (Fig. 2). Por volta das 02h50, toda a edificação desmoronou sobre si, causando a morte de 07 pessoas (Folha, 2018)[1]. Além do edifício Wilton Paes de Almeida, mais 04 propriedades foram danificadas e interditadas pela Defesa Civil (Fig. 3). Entre elas, a Igreja Evangélica Luterana de São Paulo, fundada em 1908, conhecida como o primeiro templo no estilo gótico a ser construído na cidade (CONPRESP, 1992)[2].

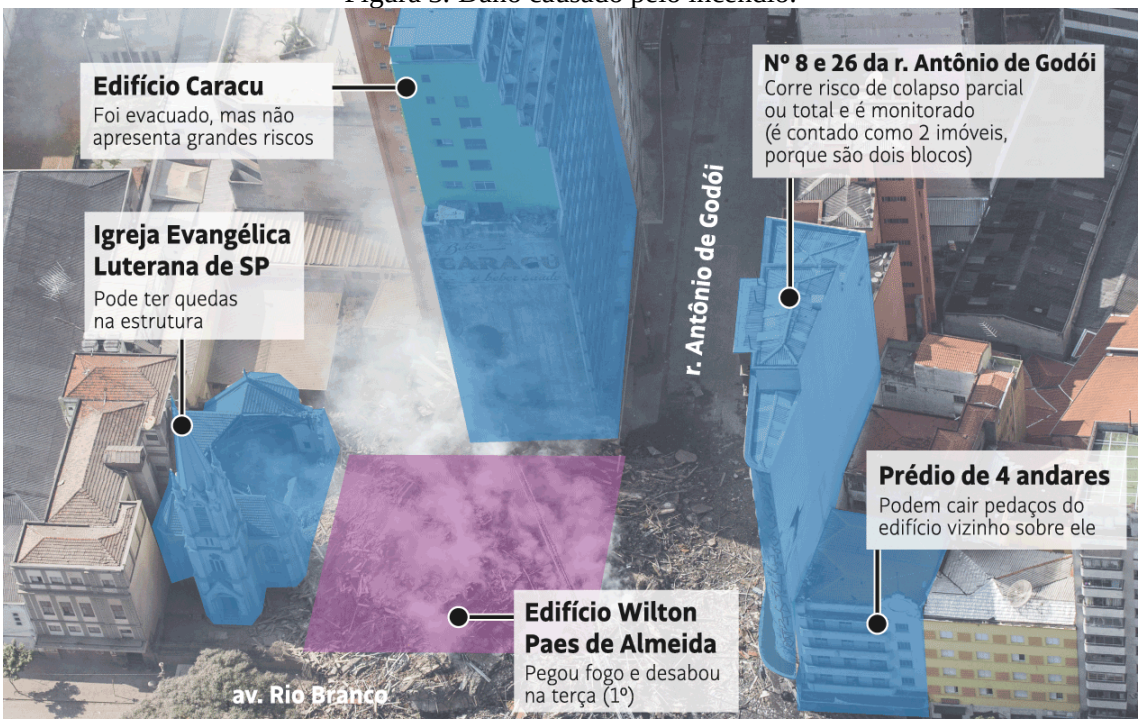
---

[1] https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/05/incendio-de-grandes-proporcoes-atinge-um-edificio-no-largo-do-paissandu.shtml

[2] CONPRESP. (1992). Resolução CONPRESP nº. 37/92. *Tombamento*, (p. 15). São Paulo.

Figura 2. Incêndio visto da Av. Rio Branco.

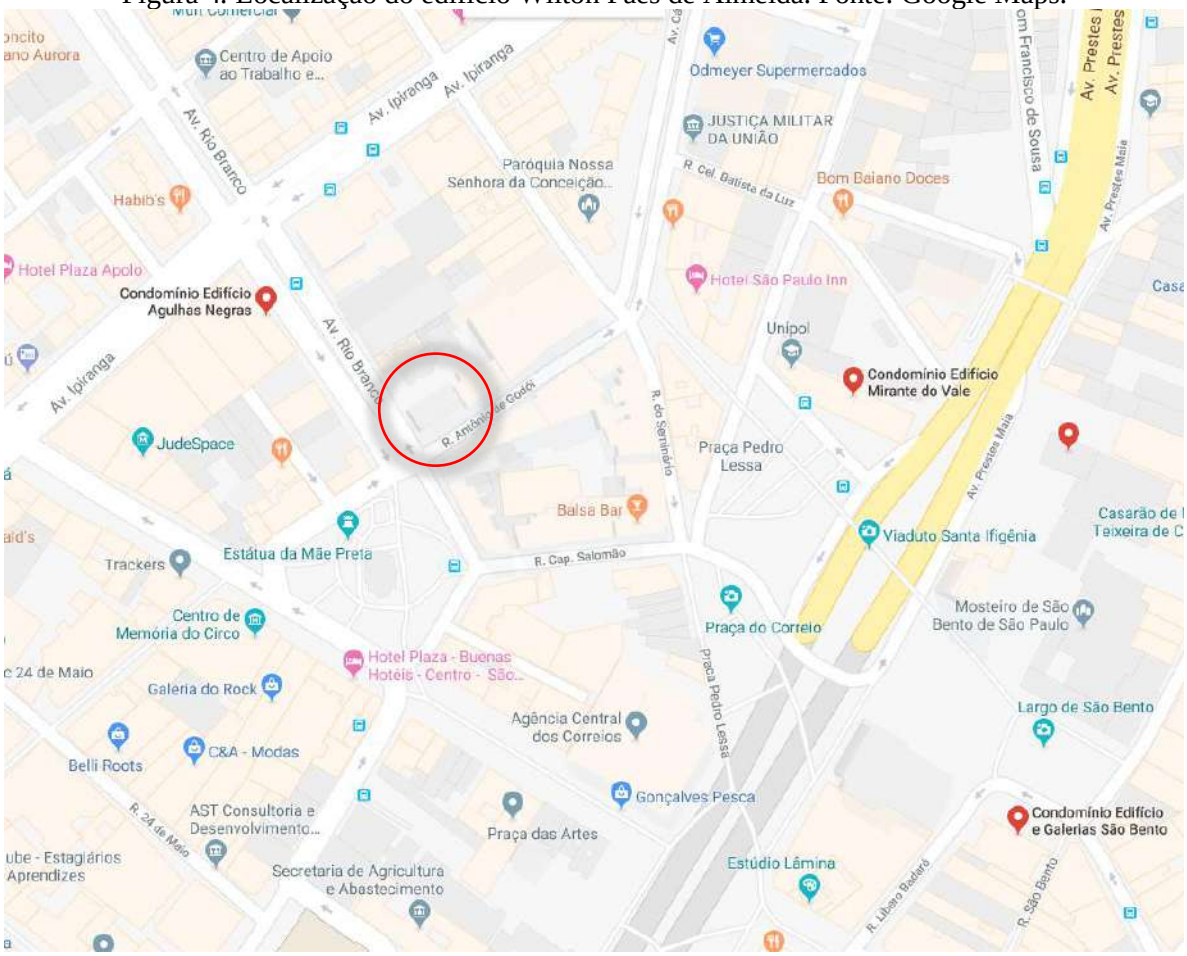
Figura 3. Dano causado pelo incêndio.



O edifício Wilton Paes de Almeida estava localizado no encontro da Avenida Rio Branco com a Rua Antônio de Godoy, 581 no Largo do Paissandu na cidade de São Paulo.

Endereço localizado em frente à igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos, próximo de outras construções emblemáticas da Capital, como a Galeria do Rock, o Bar Brahma, Praça das Artes, Viaduto Santa Ifigênia, Teatro Municipal, entre outras. vide Fig. 4.

Figura 4. Localização do edifício Wilton Paes de Almeida. Fonte: Google Maps.



3. PROPRIEDADES do CONCRETO ARMADO

3.1. Coleta das amostras

A coleta das amostras foi realizada no sábado, dia 05/05/2018. O acesso ao local controlado pelo Corpo de Bombeiros e a remoção das amostras foi acordado entre o IBRACON e a SPObras. Contou também com o acompanhamento dos Srs. Perito Edgar Rezende Marques, Prof. Paulo Helene, Dr. Carlos Britez e Matheus Moreira. Foram selecionadas para a coleta duas grandes amostras da superestrutura colapsada do edifício: um trecho de laje e um trecho de pilar (Figs. 5 e 6).

Nesta ocasião, foi identificada a necessidade de remover as barras de aço excedentes na amostra do pilar, onde se obteve o auxílio voluntário e primoroso dos funcionários da SPObras que, um dia antes da remoção das amostras, efetuaram a devida remoção das barras excedentes (Fig. 7).

Para o transporte das amostras até os laboratórios da Escola de Engenharia da UPM, contou-se com apoio da empresa Demolidora Santos Filho, que voluntariamente cedeu pessoal especializado e um caminhão do tipo *Munck* para esta finalidade (Fig. 8).

Figura 5. Amostra de laje escolhida.

Figura 6. Amostra de pilar escolhida.

Figura 7. Remoção das barras de aço excedentes.

Figura 8. Transporte da amostra do Pilar

3.2. Plano de Ensaios

Foi elaborado pelo Prof. Paulo Helene e pelo Dr. Carlos Britez o seguinte plano de ensaios:

1) Atividades e ensaios específicos às amostras de concreto:
   a) Esclerometria
   b) Levantamento geométrico
   c) Extração de corpos de prova
   d) Caracterização mineralógica do agregado
   e) Apreciação petrográfica de minerais naturais
   f) Resistência à compressão
   g) Resistência à tração
   h) Ultrassom
   i) Módulo de elasticidade

j) Ensaio de absorção de água
k) Índice de vazios
l) Massa específica
m) Reconstituição de traço
n) Difratometria de raios x
o) Termodiferencial e Termogravimetria

2) Atividades e ensaios específicos às amostras de aço:
a) Tipologia do aço empregado
b) Composição química
c) Tração
d) Dobramento
e) Desbitolamento
f) Alongamento
g) Dureza de Vickers
h) Metalografia

3.3. Resultados

Os resultados aqui apresentados podem ser consultados em seus respectivos relatórios originais, dispostos no *Anexo D* deste Relatório.

3.3.1. Concreto

Esclerometria

Ensaio não destrutivo para a avaliação da dureza superficial do concreto com vistas a uma avaliação, ainda que grosseira, da resistência do concreto e da influência negativa superficial das altas temperaturas.

O ensaio de "Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão" foi realizado conforme a norma ABNT NBR 7584:2013 nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção da UPM.

Foram realizados 224 impactos em 14 áreas de ensaio diferentes, metade delas nas superfícies expostas ao fogo, e a outra metade nas superfícies cortadas (núcleo), denominadas face exposta e núcleo, respectivamente. No núcleo não houve ação deletéria de altas temperaturas. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos no ensaio de esclerometria.

n°	índice individual de reflexão (impacto) em %				1ª média aritmética com 16 impactos	valor médio ± 10%	índice esclerométrico 2ª média aritmética	local
1	41,5	38,5	13,5	11,0	23,7	26,1	25,5	Núcleo
	35,0	29,5	12,0	9,0				
	32,5	25,5	17,5	18,0		21,3		
	32,5	15,5	12,5	35,5				
2	46,0	29,0	43,0	34,5	36,4	40,1	36,8	Núcleo
	22,0	37,0	44,0	30,0				
	38,5	45,5	41,0	37,0		32,8		
	37,0	41,5	28,5	28,5				
3	29,0	44,0	27,0	29,5	41,1	45,2	41,5	Núcleo
	33,5	46,5	34,0	27,5				
	46,0	48,5	39,0	50,0		37,0		
	46,5	47,5	53,0	56,0				
4	41,0	41,0	27,0	28,5	41,9	46,1	42,4	Núcleo
	40,5	45,0	47,0	38,5				
	45,5	54,5	44,5	29,0		37,7		
	46,0	40,0	46,5	55,5				
5	36,5	42,5	47,5	43,5	38,0	41,8	38,4	Núcleo
	40,5	37,7	41,5	31,0				
	44,5	29,5	37,0	30,0		34,2		
	34,0	30,5	37,0	45,0				

6	44,0	42,5	47,5	43,5	42,5	46,7	42,1	Núcleo
	51,5	48,0	40,0	41,0				
	36,0	21,5	37,0	34,0		38,2		
	49,0	41,5	52,0	50,5				
7	40,0	39,0	43,0	44,0	36,9	40,6	38,4	Núcleo
	40,5	45,0	47,0	38,5				
	23,5	29,5	26,5	29,0		33,2		
	45,0	38,5	34,0	27,0				
8	42,5	38,0	28,5	20,5	27,6	30,4	26,8	Face Externa
	24,5	27,0	25,5	27,0				
	27,5	17,5	33,0	35,0		24,8		
	25,5	32,0	7,0	30,5				
9	29,5	22,5	16,0	10,5	24,3	26,7	23,5	Face Externa
	39,0	23,0	23,5	25,0				
	30,5	35,5	21,5	23,5		21,9		
	31,5	21,0	17,5	19,0				
10	19,0	27,5	25,5	34,0	25,6	28,2	25,8	Face Externa
	26,5	26,5	23,0	26,5				
	23,0	24,5	29,0	25,0		23,1		
	20,0	30,0	25,0	25,0				
11	34,0	45,0	46,0	43,0	40,3	44,3	40,9	Face Externa
	41,5	46,0	45,5	43,0				
	40,5	45,5	47,5	40,5		36,3		
	27,5	35,0	27,5	37,0				

12	44,0	40,5	34,0	21,0	31,2	34,3	32,0	Face Externa
	45,5	36,0	25,5	30,0				
	39,5	22,0	23,5	38,5		28,1		
	27,0	8,0	37,5	27,0				
13	26,0	27,0	41,0	35,0	33,7	37,0	34,1	Face Externa
	31,0	39,5	41,5	28,5				
	31,5	38,0	37,0	22,5		30,3		
	37,5	38,0	36,0	28,5				
14	33,5	19,0	30,0	25,5	23,5	25,9	24,8	Face Externa
	24,0	19,5	31,5	42,5				
	10,0	9,0	16,5	34,0		21,2		
	18,5	17,5	10,0	35,0				

Conforme é possível observar, houve uma significativa redução nos valores dos índices de reflexão obtidos das faces externas em relação aos valores obtidos do núcleo. Nas faces que foram atingidas pelas chamas, foi obtido um valor médio do índice de reflexão de 24%, enquanto que as medições realizadas no núcleo da amostra obtiveram um valor médio do índice de reflexão de 30%.

Extração de testemunhos

Além dos ensaios de resistência à compressão uniaxial e tração diametral, diversas análises químicas e físicas dependiam substancialmente da disponibilidade de amostras em proporções adequadas para a realização dos mesmos; assim, a extração de exemplares para a realização dos ensaios foi fundamental.

Após o corte diamantado das amostras e o ensaio esclerométrico, deram-se início aos procedimentos para a extração de corpos de prova ou testemunhos nas dependências da UPM, pelo laboratorista Lázaro de Castro, para a correta destinação a cada ensaio.

Os corpos de prova, ou melhor, testemunhos, foram extraídos ortogonalmente às faces cortadas e viradas para cima, conforme apresentado na Fig. 9, ou seja, foram extraídos na direção vertical acompanhando a direção de concretagem dos pilares (gravidade).

Figura 9. Extração dos testemunhos.

Durante a extração dos exemplares e movimentação das peças, foi notada uma série de fissuras no trecho de pilar amostrado. Essas fissuras foram possivelmente causadas por mau adensamento do concreto no momento da construção do edifício (Fig. 10) e também pelos esforços dinâmicos decorrentes da queda da superestrutura durante o colapso do edifício (Fig. 11).

Figura 10. Fissuras visíveis durante a extração.

Figura 11. Testemunho fragmentado devido às fissuras internas, impossibilitando a realização de ensaios mecânicos.

No total, foram realizadas 16 extrações, das quais apenas 06 (seis) puderam ser caracterizadas como testemunhos aproveitáveis, em decorrência do grande número de fissuras internas.

Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado no laboratório da *Associação Brasileira de Cimento Portland*, seguindo o procedimento das normas ABNT NBR 5739 e ABNT NBR 7680, supervisionado pela Geol. MSc. Ana Lívia Silveira, com o acompanhamento do Dr. Carlos Britez e do aluno Matheus Moreira.

Devido às limitações da extração e o pequeno número de corpos de prova (testemunhos), este foi escolhido cuidadosamente, sendo considerado o melhor exemplar disponível para este ensaio.

As dimensões do corpo de prova (testemunho) ensaiado e seu resultado estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado obtido no ensaio de resistência à compressão.

dimensão do testemunho (mm)		relação altura/ diâmetro	massa específica (kg/m³)	carga (N)	fator de correção	resistência à compressão (MPa)	
diâmetro	altura					direta do ensaio	corrigida
102,0	**141,6**	**1,39**	**2331**	**185000**	**0,96**	**22,6**	**21,8**

Figura 12. Testemunho posicionado na prensa em momento prévio ao ensaio de resistência à compressão.

Também foram posicionadas duas folhas de papel-carbono para averiguar o contato das mesas superior e inferior da prensa com os topos dos testemunhos (Figs. 13 e 14).

Figura 13. Papel-carbono superior.

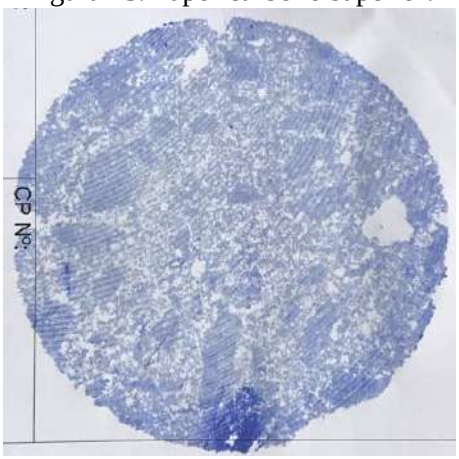
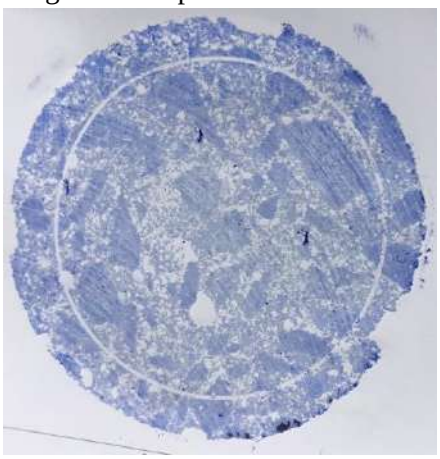


Figura 14. Papel-carbono inferior.



Resistência à Tração

O ensaio de resistência à tração foi realizado no laboratório da *Associação Brasileira de Cimento Portland*, seguindo o procedimento sugerido na norma ABNT NBR 7222, supervisionado pela Geol. MSc. Ana Lívia Silveira, com o acompanhamento do Dr. Carlos Britez e do aluno Matheus Moreira. Novamente, devido às limitações da extração e o pequeno número de testemunhos, este foi escolhido cuidadosamente, sendo considerado o melhor exemplar disponível para este ensaio.

As dimensões do testemunho ensaiado e seu resultado estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado obtido no ensaio de resistência à tração.

dimensão do testemunho (mm)		relação altura/ diâmetro	massa específica (kg/m³)	carga (N)	resistência à tração (MPa)
diâmetro	altura				
102,0	**153,8**	**1,39**	**2260**	**50900**	**2,07**

Módulo de elasticidade

Os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico foram realizados em função do número de testemunhos disponíveis. Não foi possível obter testemunhos adequados ao ensaio de módulo de elasticidade estático ou convencional.

O ensaio de determinação da velocidade ultrassônica foi realizado para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico, no laboratório da *PhD Engenharia*, seguindo o procedimento sugerido na norma ABNT NBR 8802, supervisionado pela Engª. Jéssika Pacheco. Devido às limitações da extração e o pequeno número de testemunhos, foi realizado o ensaio de ultrassom em apenas 03 (três) exemplares, em decorrência dos demais

possuírem diâmetro menor do que o dos transdutores. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados obtidos no ensaio de ultrassom

n° do testemunho	velocidade ultrassônica (m/s)	módulo de elasticidade dinâmico calculado (GPa)
08	**3663**	**27,5**
09	**3788**	**29,4**
10	**3669**	**27,6**

O cálculo do valor do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado através da equação 1.

$$\boldsymbol{Vp} = \sqrt[2]{\frac{\boldsymbol{E(1-v)}}{\boldsymbol{\rho(1-2v)(1+v)}}} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:

Vp é a velocidade de onda longitudinal;
E é o módulo de elasticidade dinâmico;
$\boldsymbol{v}$ é o coeficiente de Poisson, considerado igual a 0,2 e
ρ é a massa específica do concreto (valor obtido em ensaio: 2280 kg/m³)

Por sua vez, o ensaio de Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico por Estímulo de Impacto foi também realizado no laboratório da *PhD Engenharia*, seguindo o procedimento da norma ASTM C215 realizado pela Engª. Jéssika Pacheco e acompanhado pelo aluno Matheus Moreira. Devido às limitações da extração, e ao pequeno número de corpos de prova (testemunhos), o ensaio por estímulo de impacto foi realizado em 01 (um) exemplar. O resultado obtido está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado obtido no ensaio por estímulo de impacto.

n. do testemunho	$E_{longitudinal}$ **(GPa)**	$E_{transversal}$ **(GPa)**
08	**19,8**	**12,3**

Com base na dissertação de mestrado do MSc. Eng. Pedro Bilesky[3], pode-se estimar o módulo de elasticidade estático, convencional, variando numa ampla faixa de 10GPa a 26GPa, sendo mais razoável considerar um módulo de elasticidade variando de 20GPa a 26GPa. Esta hipótese se justifica porque o valor de 10GPa foi estimado a partir do módulo

[3] Bilesky, Pedro Carlos. Contribuição aos estudos do módulo de elasticidade do concreto. Dissertação. IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2016. 298 p.

de impacto que foi realizado em apenas 1 testemunho e portanto menos representativo que o módulo dinâmico obtido de 3 testemunhos.

Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio de determinação do índice de absorção de água, índice de vazios e massa específica foram realizados no laboratório da *Associação Brasileira de Cimento Portland*, seguindo o procedimento na norma ABNT NBR 9778, supervisionados pela Geol. MSc. Ana Lívia Silveira. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados obtidos para o índice de absorção de água, índice de vazios e massa específica.

ensaios	**amostra**		
	pilar	**laje**	**escombros**
absorção após imersão e fervura (%)	6,52	6,68	8,02
índice de vazios após saturação e fervura (%)	14,75	15,21	17,75
massa específica da amostra seca (g/cm³)	**2,26**	**2,28**	**2,21**
massa específica após saturação e fervura (g/cm³)	2,41	2,43	2,39
massa específica real (g/cm³)	2,65	2,69	2,69

Reconstituição de traço

O ensaio para a reconstituição de traço foi realizado no laboratório da *Associação Brasileira de Cimento Portland*, seguindo o procedimento da norma interna ABCP PO-GT 3016, supervisionado pela Geol. MSc. Ana Lívia Silveira. Para os cálculos de proporcionamento em massa foi adotado o valor de Óxidos de Cálcio igual a 60%. Não foi levada em conta a eventual presença de materiais calcários ligados aos agregados graúdos e miúdos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados obtidos na reconstituição de traço.

amostra	composição	
	cimento	agregados
Pilar	**1**	**5,9**
Laje	**1**	**6,2**

Com base no traço em partes de massa e na massa específica, calculou-se o consumo de cimento empregado no preparo do concreto. Partiu-se do pressuposto de que faz parte da constituição deste concreto um teor de água de hidratação correspondente a 0,3 em relação

ao cimento anidro. Assim, a partir da equação 2, é possível estimar o consumo de cimento em **314 kg/m³** para a amostra do pilar, e em **304 kg/m³** para a amostra da laje.

$$C = \frac{M}{1+P+A+a/c} \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde:
C é o consumo de cimento;
M é a massa específica da amostra seca;
P é o agregado maior que 4,8mm;
A é o agregado menor ou igual a 4,8mm e
a/c é a relação água/cimento em massa

Difratometria de raios x

O ensaio de difratometria de raios x foi realizado no laboratório da *Associação Brasileira de Cimento Portland*, seguindo o procedimento da norma interna ABCP PO-GT 5042, supervisionado pela Geol. MSc. Ana Lívia Silveira. Este ensaio objetivou a identificação das fases cristalinas que compõe as amostras dos escombros, que foram destorroadas em almofariz e a porção moída e destorroada foi analisada no Difratômetro de raios X. Os resultados dessa análise podem ser consultados na Tab. 8.

Tabela 8. Resultados do ensaio de difratometria de raios X.

Minerais	Quimismo Aproximado	Distância interplanar principal (Å)	Frequência relativa					
			a	b	c	d	e	f
Feldspato	$(Na_{0,5-0,3}, Ca_{0,5-0,7})Al(Al_{0,5-0,7}, Si_{0,5-0,3})Si_2O_8$	3,20	*	*	*	**	-	**
Mica	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	9,99	**	*	**	**	**	***
Quartzo	SiO_2	3,33	****	**	***	****	**	***
Calcita	$CaCO_3$	3,03	**	*	*	*	*	*
Portlandita	$Ca(OH)_2$	4,90	***	****	****	**	****	****

Simbologia
- = não detectado
tr = traços
* = presente
** = pouco frequente
*** = frequente
**** = muito frequente

Nota: A avaliação semiquantitativa (expressa em número de asteriscos) das fases está fundamentada na altura dos picos de difração, cuja intensidade é função do teor, da simetria e do grau de cristalinidade do constituinte

Termodiferencial e Termogravimetria

Os ensaios de Termodiferencial e Termogravimetria foram realizados no laboratório da *Associação Brasileira de Cimento Portland*, seguindo o procedimento da norma interna

ABCP PO-GT 5042, supervisionado pela Geol. MSc. Ana Lívia Silveira. Estas análises objetivam reconhecer, através de termogramas, a presença de picos referentes aos hidratados de cimento, ao hidróxido de cálcio e ao carbonato de cálcio, constituintes da pasta hidratada, além daqueles relativos ao quartzo presente no agregado miúdo. Isto posto, os resultados obtidos podem ser consultados na Tab. 9.

Tabela 9. Resultados dos ensaios de Termodiferencial e Termogravimetria.

Identificação da amostra		Perda de Massa (%)					
		40-200°C (Perda de água livre e/ou adsorvida e decomposição dos silicatos hidratados)	200-400°C (Decomposição dos aluminatos hidratados)	400-500°C [Decomposição do $Ca(OH)_2$]	500-800°C (Descarbonatação do $CaCO_3$)	$Ca(OH)_2$	$CaCO_3$
214424	topo	4,59	2,03	1,32	10,34	5,4	23,5
	meio	7,54	4,86	3,85	2,90	15,8	6,6
	base	8,14	4,81	4,16	2,97	17,1	6,8
214425	topo	4,35	2,79	1,46	11,53	6,0	26,2
	meio	8,38	5,45	4,18	4,31	17,1	9,8
	base	6,42	4,00	2,84	3,81	11,7	8,7

3.3.2. Armadura

Para os ensaios com as barras de aço, diferentemente da limitação das amostras de concreto, as amostras eram abundantes. Os ensaios, sem custo para o IBRACON, foram realizados nas dependências dos laboratórios da *ArcelorMittal*, em Juiz de Fora, MG e contaram com o acompanhamento e supervisão dos Srs. Antônio Paulo Pereira, Luis Adauto Moraes Mazarin, Thamyris Torsani Pimentel, José Luiz de Morais Andrade, Eduardo Antônio de Araújo Franca e João Ricardo Cambraia de Souza Brissac. O relatório de ensaios elaborado está disponibilizado no Anexo E.

Tipologia do Aço empregado

O aço empregado na armadura do Edifício Wilton Paes de Almeida era de dois tipos, e foram nomeados de entalhado e liso, em função da sua geometria. Conforme demostrado na Tab. 10 e Fig. 15, as amostras numeradas de 1 a 6 foram classificadas como entalhadas, enquanto que as demais foram classificadas como lisas.

Tabela 10. Classificação das amostras de aço.

n°	bitola (mm)	descrição	observação
1	22	armadura longitudinal do pilar	entalhado
2	22	armadura longitudinal do pilar	entalhado
3	20	armadura longitudinal do pilar	entalhado
4	20	armadura longitudinal do pilar	entalhado
5	16	armadura longitudinal do pilar	entalhado
6	16	armadura longitudinal do pilar	entalhado
7	10	armadura transversal	liso
8	10	armadura transversal	liso
9	10	armadura transversal	liso
10	8	armadura complementar	liso

Figura 15. Classificação das amostras de aço.

No caso especial do aço classificado como entalhado, é desconhecido o seu processo de fabricação, onde as depressões apresentadas de maneira uniformemente ordenadas variam sua angulação em 90°, conforme se observa na Fig. 16. Acredita-se que essa barra passou por um processo de “prensamento” no sentido das depressões. As medições e análises realizadas para as barras entalhadas estão apresentadas na Tabela 11.

Figura 16. Tipologia da barra entalhada.

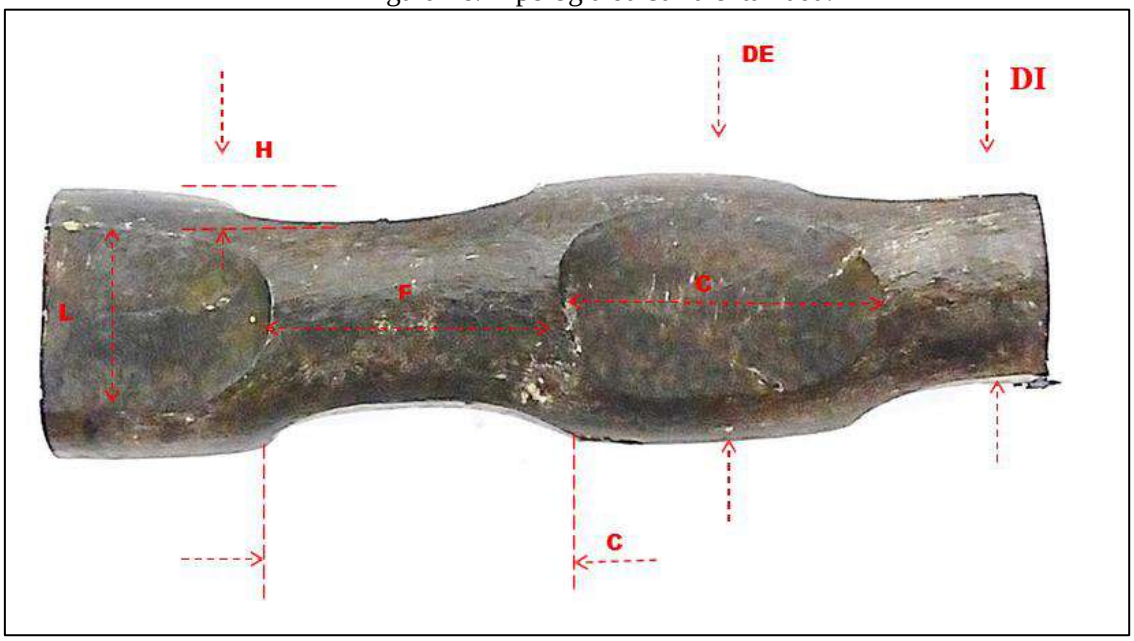


Tabela 11. Medições e análises realizadas para as barras entalhadas.

Bitola (mm)	Diâmetro Externo (entalhe) DE (mm)		Diâmetro Interno (entalhe) DI (mm)		Profundidade Entalhe (H) (mm)		Entalhe (comprimento/ largura) (mm)	Espaçamento entre entalhes E (mm)
	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	A	B		
22	23,89	24,05	17,01	16,61	3,4	3,7	27,5 / 14,7	25,6
	25,01	24.91	16,92	16,96	4,0	4,0	27,2 / 15,2	25,3
20	20,92	21.56	14,62	14,02	3,2	3,8	25,2 / 13,1	27,8
	20,62	20,77	14,55	14,41	3,0	3,2	22,4 / 11,2	29,3
16	17,82	18,48	11,58	12,24	3,1	3,1	22,7 / 10,7	31,1
	18,47	18,21	12,2	12,13	3,1	3,0	21,3 / 10,3	30,7

As mesmas medições e análises foram realizadas para as barras lisas, e os valores encontram-se na Tab. 12.

Tabela 12. Medições e análises realizadas para as barras lisas.

Bitola (mm)	Amostra	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Máximo	Ovalização
10	7	9.67	9.86	0.19
	8	8.96	9.83	0.87
	9	9.59	9.75	0.16
8	10	7.18	8.23	1.05

Espectrometria de emissão ótica

Para o completo conhecimento da composição química das amostras de aço, estas foram submetidas à Análise Química em Espectrômetro de Emissão Ótica (ARLW), e os resultados obtidos estão expostos na Tab. 13. Ainda, compararam-se também as amostras do edifício com os atuais parâmetros para cada elemento químico presente, e os limites estipulados pela ABNT NBR 8965.

Tabela 13. Resultados obtidos na ARLW.

Bitola (mm)	**Amostra**	**C**	**Mn**	**Si**	**P**	**S**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Sn**	**Mo**	**N**	**Ceq**
22	1	0.29	0.91	0.41	0.029	0.051	0.02	0.01	0.02	0.10	0.01	0.0032	0.47
	2	0.28	0.91	0.41	0.028	0.049	0.02	0.01	0.02	0.10	0.01	0.0037	0.46
20	3	0.25	0.72	0.36	0.035	0.043	0.02	0.01	0.01	0.13	0.01	0.0048	0.39
	4	0.26	0.73	0.39	0.036	0.049	0.02	0.01	0.01	0.15	0.01	0.0048	0.40
16	5	0.26	0.66	0.36	0.014	0.049	0.03	0.01	0.02	0.17	0.01	0.0059	0.39
	6	0.26	0.66	0.38	0.013	0.052	0.03	0.01	0.02	0.17	0.01	0.0046	0.40
10	7	0.16	0.36	0.02	0.027	0.039	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.22
	8	0.11	0.48	0.33	0.026	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0059	0.21
	9	0.09	0.56	0.35	0.031	0.012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0061	0.20
8	10	0.12	0.45	0.11	**0.143**	**0.071**	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.0067	0.20
16 atual	sem tratamento	0.33	0.82	0.25	0.015	0.020	0.11	0.09	0.04	0.01	0.01	0.0069	0.51
20 atual	com tratamento	0.27	0.94	0.18	0.031	0.018	0.13	0.08	0.04	0.01	0.01	0.0070	0.46
ABNT NBR 8965/85		**0.38 máx.**	**1.56 máx.**	**0.55 máx.**	**0.058 máx.**	**0.058 máx.**	**-**						**0.59 máx.**

Tração

Todas as amostras foram ensaiadas para avaliar a sua resistência à tração (Fig. 17), e os valores obtidos estão expostos na Tabela 14:

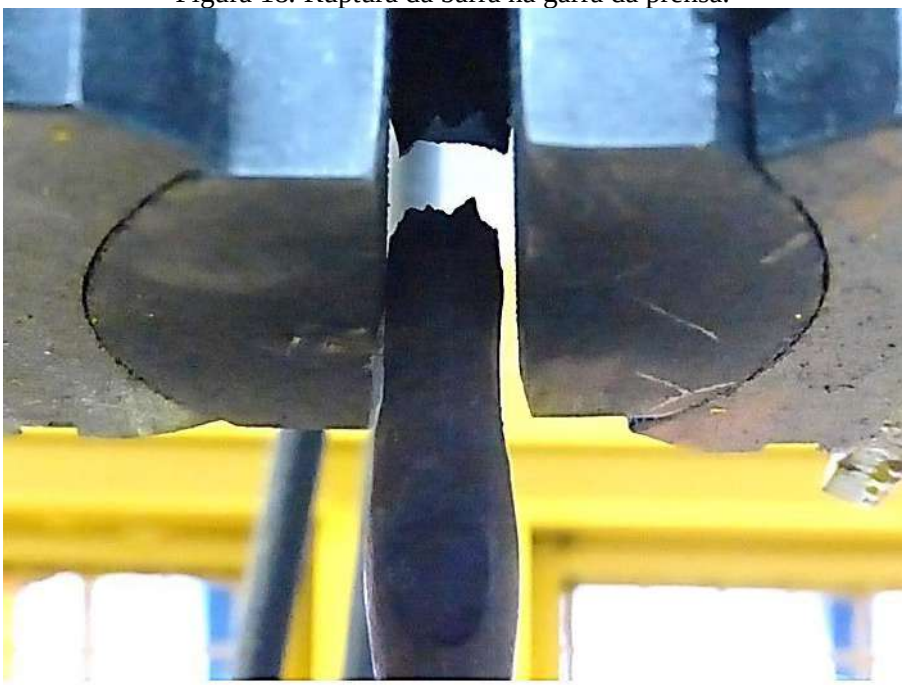
Tabela 14. Resultados obtidos no ensaio de resistência à tração.

barra	diâmetro (mm)	massa linear (kg/m)	f_{st} (MPa)	f_{yk} (MPa)	f_{st}/f_{yk}	alongamento (%)	ruptura
Entalhada	22	**2.876**	**750**	**620**	**1.21**	**6.8**	Dúctil
		2.929	**760**	**640**	**1.20**	**5.5**	Dúctil
Entalhada	20	**2.160**	**720**	**620**	**1.17**	**3.0**	Dúctil
		2.146	**720**	**600**	**1.19**	**6.0**	Dúctil
Entalhada	16	**1.545**	**730**	**610**	**1.21**	**6.9**	Dúctil
		1.532	**730**	**550**	**1.32**	**6.3**	Dúctil
Lisa	10	**0.560**	**490**	**370**	**1.32**	**28.0**	Dúctil
		0.546	**470**	**320**	**1.45**	**35.0**	Dúctil
		0.574	**490**	**350**	**1.39**	**27.0**	Dúctil
Lisa	8	**0.354**	**550**	**440**	**1.23**	**18.8**	Dúctil

Os ensaios nas amostras numeradas de 1 a 6 tiveram sua ruptura nas garras do equipamento (Fig. 18), portanto devem-se desconsiderar os seus valores de alongamento.

Figura 17. Ensaio de resistência à tração.

Figura 18. Ruptura da barra na garra da prensa.



Foi realizado o comparativo com as especificações da norma ABNT NBR 7480 e nenhum resultado atendeu integralmente à ABNT NBR 7480.

Dobramento

Foram realizados os ensaios de dobramento considerando-se as normas EB-3 de 1939 e a ABNT NBR 7480:2007. As amostras de nº 1 a 6 (barras entalhadas) apresentaram quebras no dobramento em pino 2 e não atendem aos requisitos da norma EB-3 1939, porém não quebraram quando dobradas em pino 3, e assim atenderiam a norma NBR 7480/07 num critério mais rigoroso, visto que a norma pede dobramento em pino 6. As amostras de nº 7 a 10 (barras lisas) não apresentaram quebras e assim atendem aos requisitos da norma EB-3 1939. Os resultados obtidos estão expostos na Tab. 16 e 17.

Tabela 16. Resultados obtidos no ensaio de dobramento.

Amostra	**Bitola (mm)**	**Pinos Dobramento**	
		EB-3 1939	**NBR 7480/07 pino 3**
1 e 2	22	Quebra	Ok
3 e 4	20	Quebra	Ok
S e 6	16	Quebra	Ok
7 a 9	10	Ok	Ok
10	8	Ok	Ok

Tabela 17. Detalhe dos resultados obtidos no ensaio de dobramento.

Diâmetro	16mm	20mm	22mm
Pino 2X			
Pino 3X			

Metalografia

As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos na metalografia nas barras de aço com 22mm de diâmetro.

Figura 19. Seção transversal, 2x ampliada.

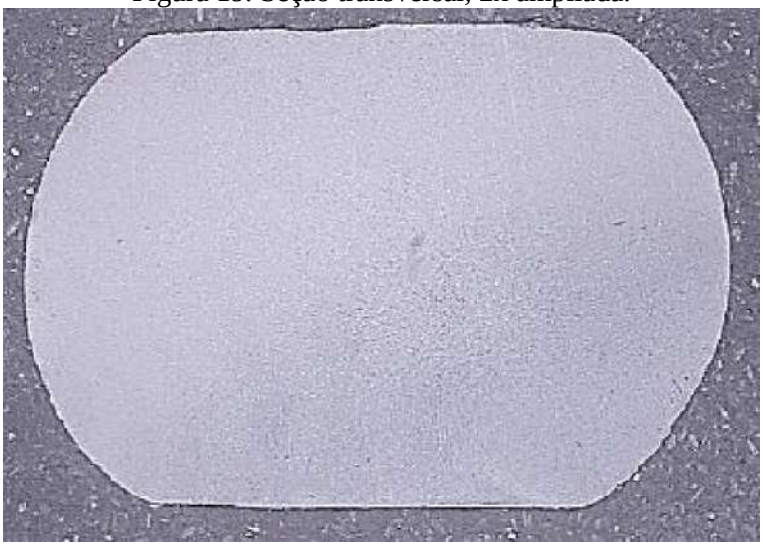
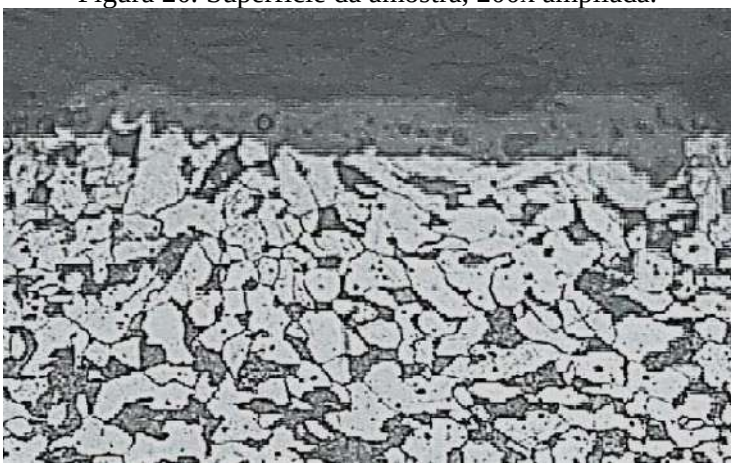
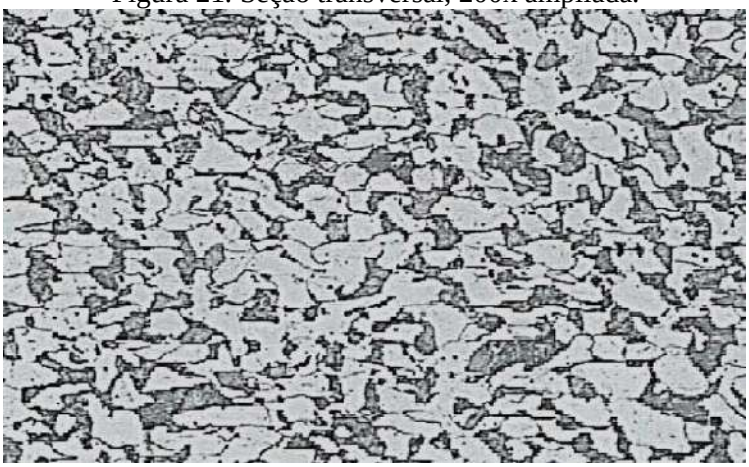


Figura 20. Superfície da amostra, 200x ampliada.



Superfície composta de grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio. Presença de óxido FeO (carepa).

Figura 21. Seção transversal, 200x ampliada.



Estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, grãos irregulares tamanho 8 - 9 ASTM Ell2.

Figura 22. Seção longitudinal, 2x ampliada.

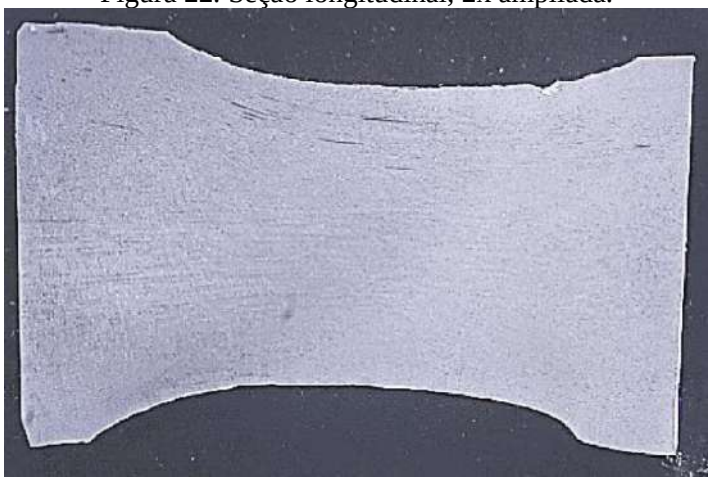
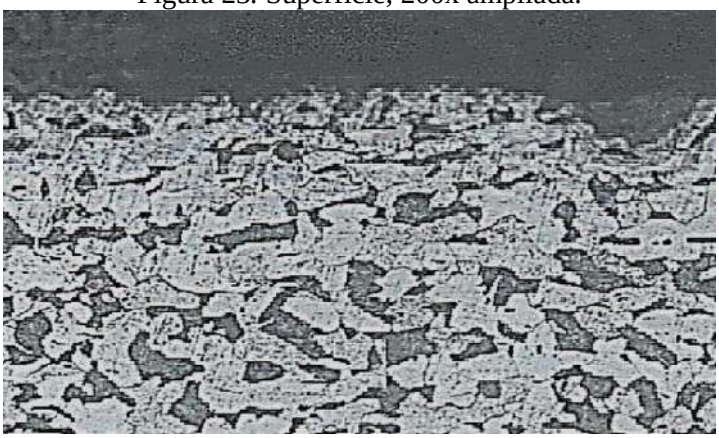
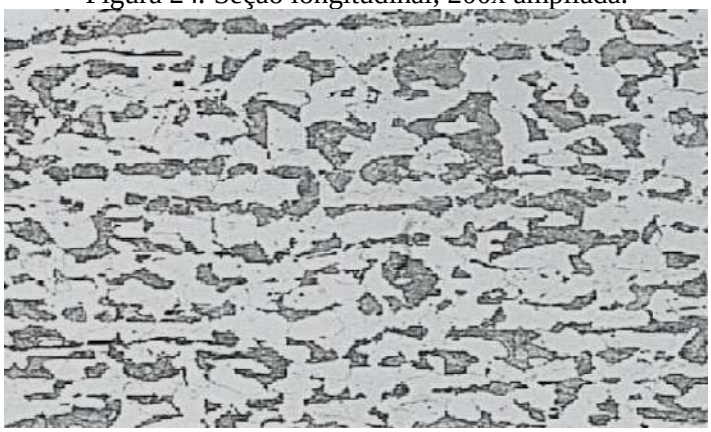


Figura 23. Superfície, 200x ampliada.



Superfície composta de grãos regulares sem vestígios de deformação a frio.

Figura 24. Seção longitudinal, 200x ampliada.



Detalhe da superfície ao fundo do entalhe, notando-se nitidamente grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio, sinalizando que os entalhes foram realizados com as amostras em alta temperatura; ainda, na superfície, observa-se a presença de óxido (carepa).

Por outro lado, pode-se notar que, à medida que se desloca da superfície para o núcleo, ocorre um leve crescimento de grãos. Estrutura composta de perlita e ferrita de textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).
Seção transversal - Ataque nital 2% e 200X ampliação.

As Figuras a seguir apresentam os resultados obtidos na metalografia nas barras de aço com 20mm de diâmetro.

Figura 25. Seções transversal e longitudinal, 20mm.

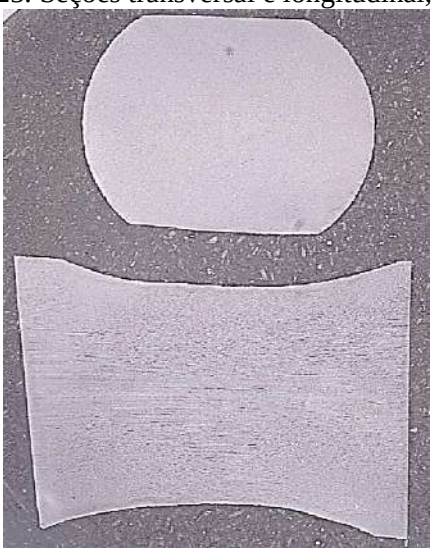
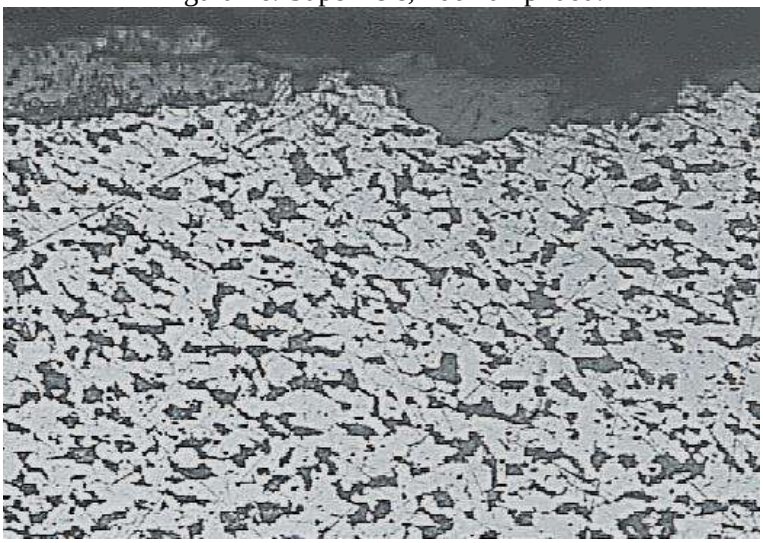
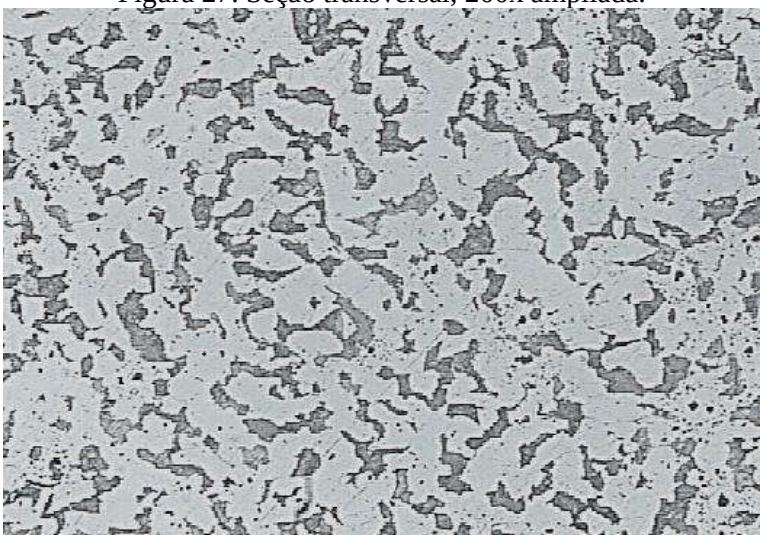


Figura 26. Superfície, 200x ampliada.



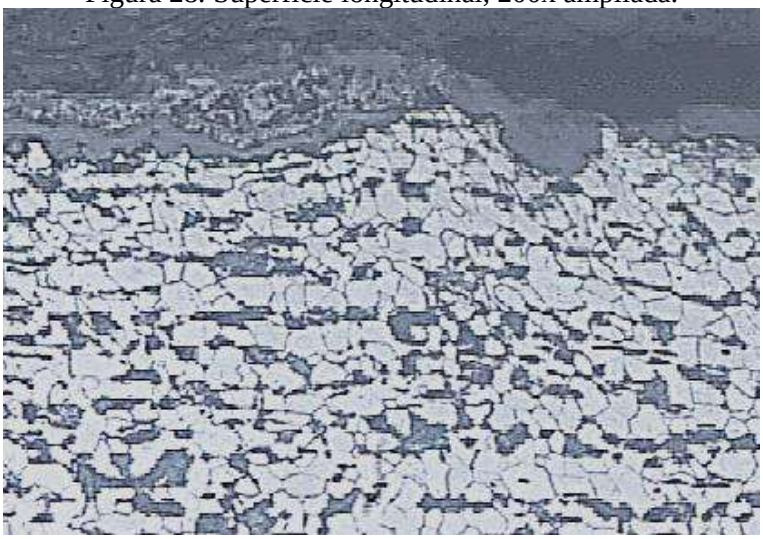
Superfície composta de grãos irregulares tamanho 9 - 10 ASTM E112, sem vestígios de deformação a frio. Nota-se presença de óxidos FeO (carepa).

Figura 27. Seção transversal, 200x ampliada.



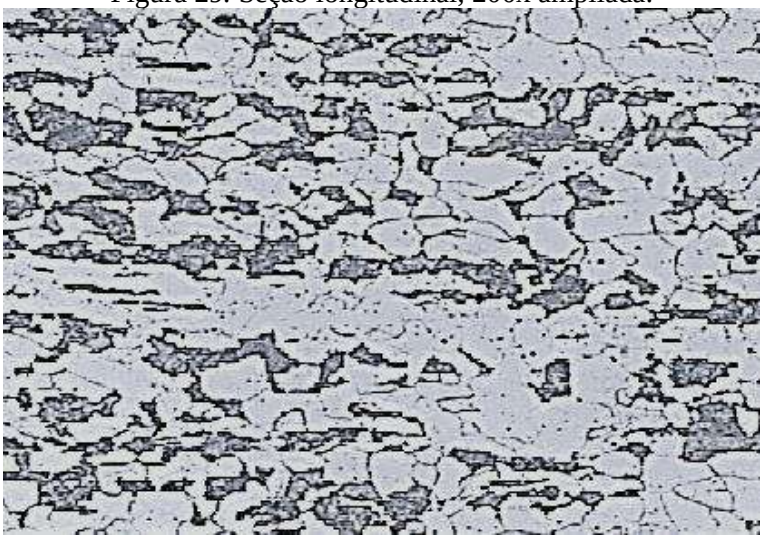
Estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, grãos irregulares tamanho 8 - 9 ASTM E112.

Figura 28. Superfície longitudinal, 200x ampliada.



Superfície composta de grãos regulares tamanho 9-10 ASTM E112 sem vestígios de deformação a frio.

Figura 29. Seção longitudinal, 200x ampliada.



Textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).

Detalhe da superfície ao fundo do entalhe com grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio, sinalizando que os entalhes foram realizados em alta temperatura; observa-se na superfície a presença de óxido (carepa).

Adicionalmente, nota-se que à medida que se desloca da superfície para o núcleo, ocorre leve crescimento de grãos. Estrutura composta de perlita e ferrita de textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).

Seção transversal - Ataque nital 2% e 200X ampliação.

As Figuras a seguir apresentam os resultados obtidos na metalografia nas barras de aço com 16mm de diâmetro.

Figura 30. Seções longitudinal e transversal, 2x ampliado

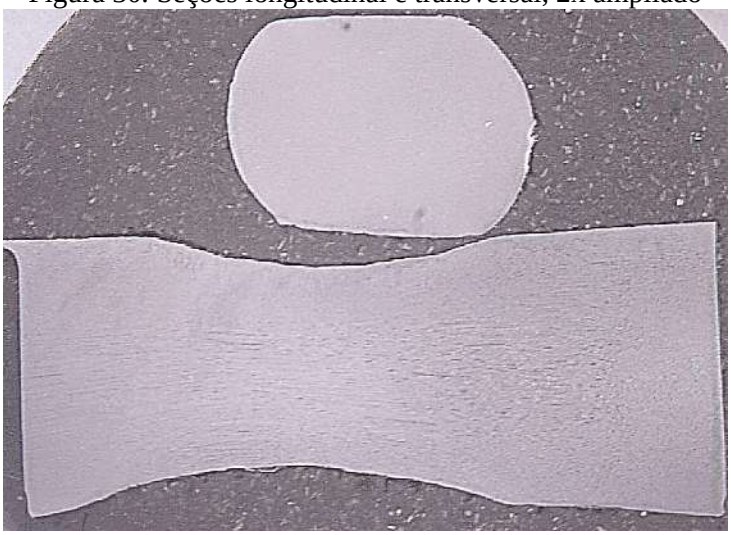
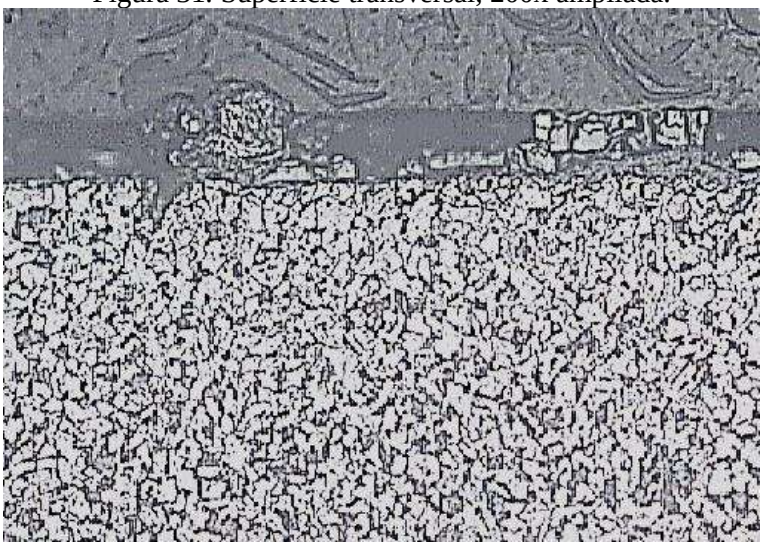
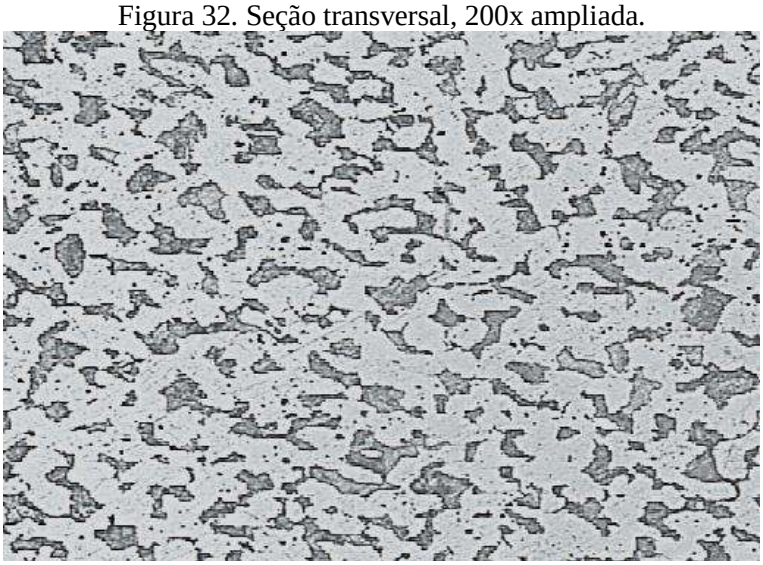


Figura 31. Superfície transversal, 200x ampliada.



Superfície composta de grãos irregulares 9 – 1- ASTM E112, sem vestígios de deformação a frio.

Figura 32. Seção transversal, 200x ampliada.



Estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, grãos irregulares tamanho l0 ASTM Ell2.

Figura 33. Superfície longitudinal, 200x ampliada.

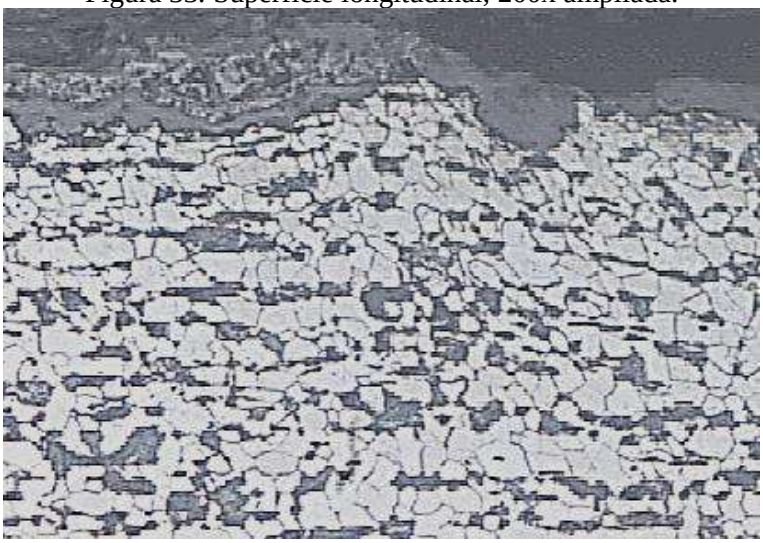
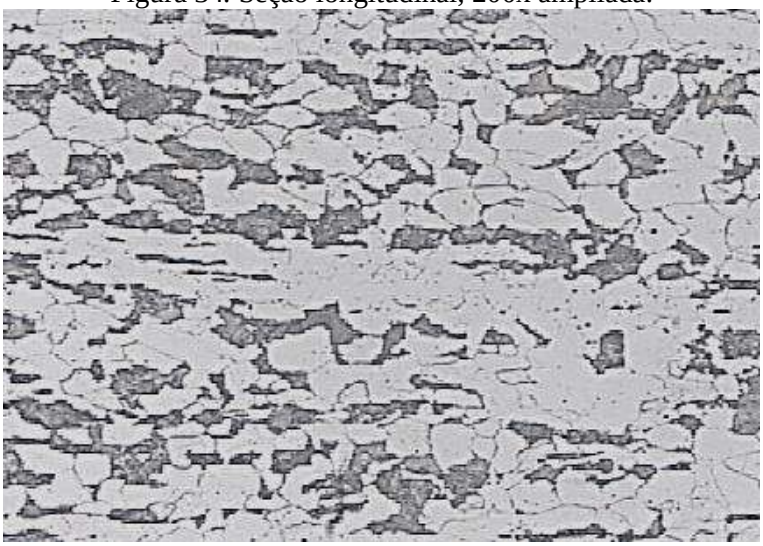


Figura 34. Seção longitudinal, 200x ampliada.



Textura alinhada com faixas de ferrita, ricas em fósforo (ghost-lines).

Detalhe da superfície ao fundo do entalhe com grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio, sinalizando que os entalhes foram realizados em alta temperatura ainda; observa-se na superfície a presença de óxido (carepa). Adicionalmente, nota-se que à medida que se desloca da superfície para o núcleo, ocorre leve crescimento de grãos. Estrutura composta de perlita e ferrita de textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).

Seção transversal - Ataque nital 2% e 200X ampliação.

As Figuras a seguir apresentam os resultados obtidos na metalografia nas barras de aço com 10mm de diâmetro.

Figura 35. Seções transversal e longitudinal, 2x ampliada.

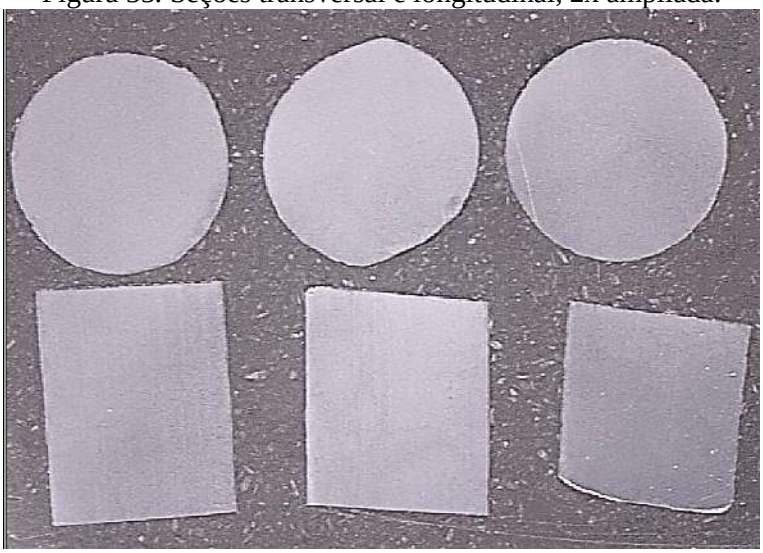
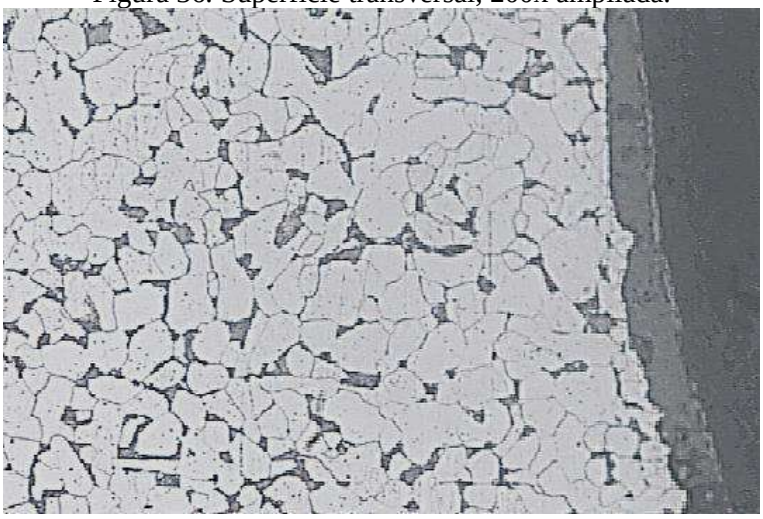
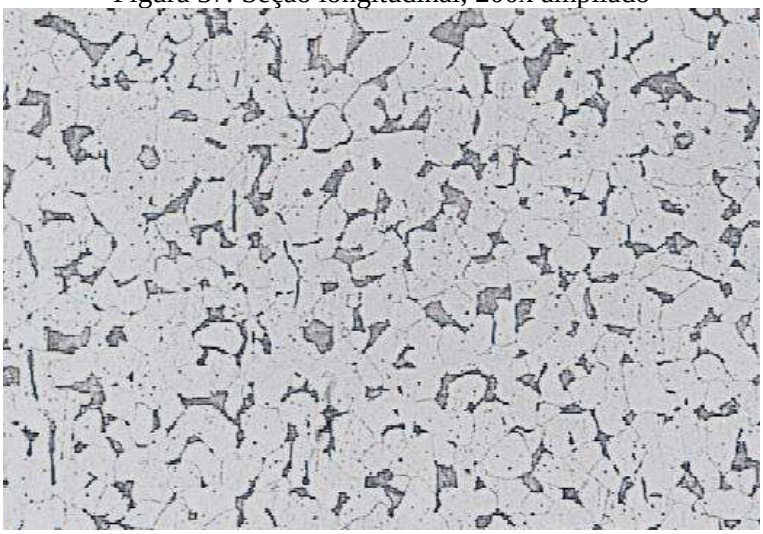


Figura 36. Superfície transversal, 200x ampliada.



Superfície com estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, sem vestígios de deformação a frio.

Figura 37. Seção longitudinal, 200x ampliado



Núcleo com estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, tamanho de grão 8 - 9 ASTM E112.

As Figuras a seguir apresentam os resultados obtidos na metalografia nas barras de aço com 8mm de diâmetro.

Figura 38. Seções transversal e longitudinal, 2,5x ampliada.

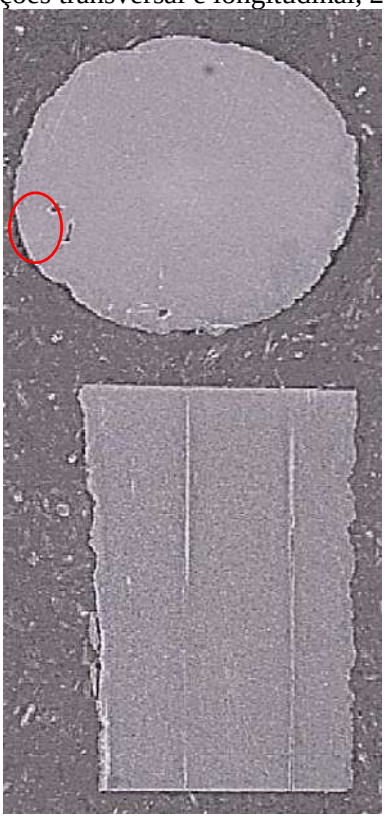
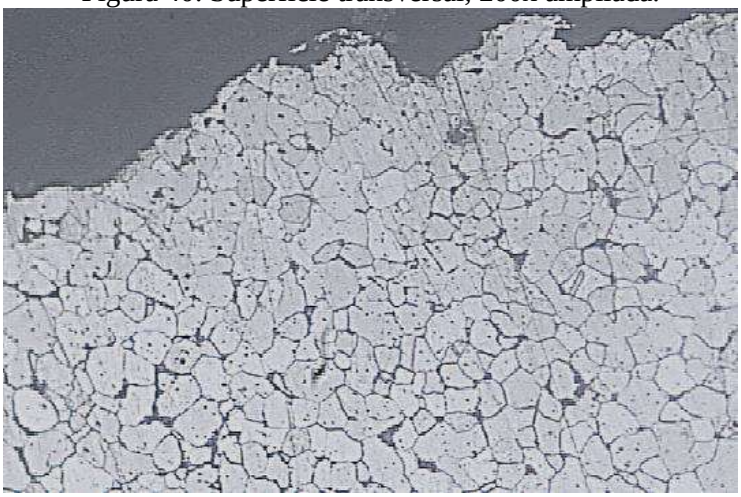


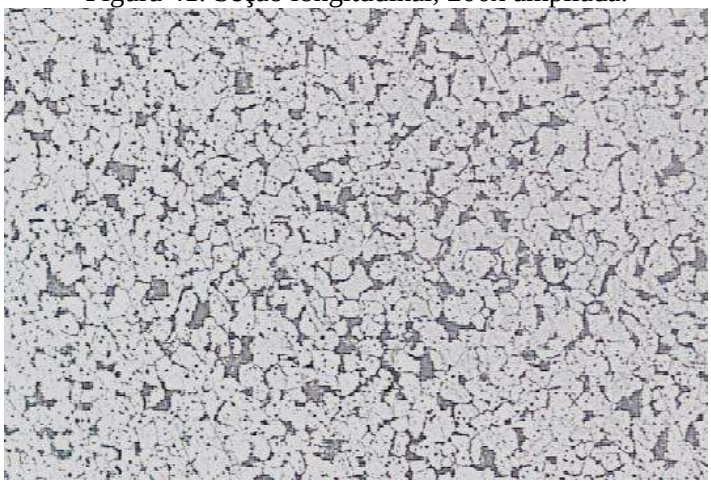
Figura 39. Macro-Inclusão exógena do detalhe.

Figura 40. Superfície transversal, 200x ampliada.



Superfície com estrutura normalizada de perlita e ferrita sem vestígios de deformação a frio.

Figura 41. Seção longitudinal, 200x ampliada.



3.3.3. Geometria e armadura do pilar

Levantamento geométrico do pilar

Após o corte diamantado, ficou evidente a disposição da armadura dentro do pilar, e então foi possível realizar o levantamento geométrico do trecho de pilar amostrado.

Para o entendimento da geometria e posição da armadura, foi fundamental o envolvimento e apoio do docente da *Escola de Engenharia* da *Universidade Presbiteriana Mackenzie*, Prof. Dr. Alfonso Pappalardo Jr.

O trecho de pilar amostrado estava armado com 58 barras de aço longitudinais com 22mm de diâmetro (Fig. 42).

Figura 42. Configuração da armadura.

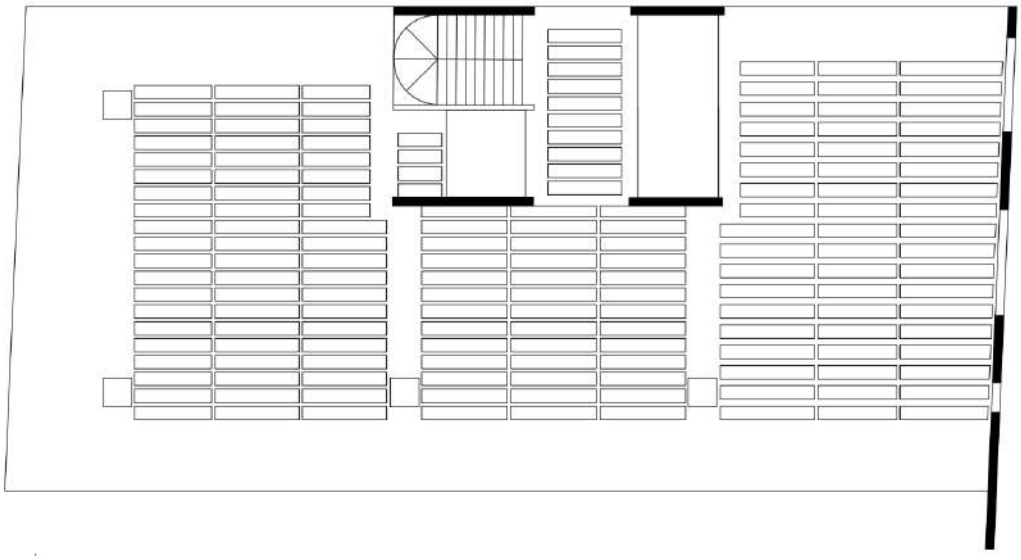
Com o conhecimento da seção, disposição das barras de aço e seus respectivos diâmetros médios, foi possível estimar a taxa de armadura longitudinal em aproximadamente 3%, o que é convencional para edificações com múltiplos pavimentos.

O cobrimento das armaduras, importante verificação ao critério de durabilidade e de resistência ao fogo, variavam de 0 a 2 cm na amostra coletada, o que, mais uma vez, evidenciava uma falta de controle e cuidado na época de execução do edifício.

3.3.4. Esquema de lajes do edifício

As lajes do edifício eram nervuradas e foram moldadas *in loco* (Fig. 43). Dos pilares até o limite onde era instalada a pele de vidro, a laje era em balanço, com seção cheia que reduzia em função da distância do pilar.

Figura 43. Esquema da Laje-grelha



3.4. Resumo dos resultados

Esclerometria
Valor médio do índice de reflexão elástica da face exposta ao fogo: **24%**
Valor médio do índice de reflexão elástica do núcleo: **30%**

Extração de testemunhos de concreto
Foram realizadas **16** perfurações.
Apenas **06** corpos de prova foram aproveitados.

Resistência do concreto à compressão
Resistencia à compressão uniaxial de **21,8 MPa**.

Resistência do concreto à tração
Resistência à tração de **2,1MPa**.

Ultrassom
Valor médio da velocidade de onda ultrassônica de **3707 m/s**.

Módulo de elasticidade por ultrassom
Valor médio para o módulo de elasticidade dinâmico longitudinal calculado de **28 GPa.**

Módulo de elasticidade por estímulo de impacto
Módulo de elasticidade dinâmico longitudinal por estímulo de impacto de **20 GPa**.

Módulo de elasticidade dinâmico flexional ou transversal por estímulo de impacto de **12 GPa**.

Absorção de água
Absorção de água médio após imersão e fervura de **4,2%.**

Índice de vazios
Índice de vazios médio após imersão e fervura de **15,1%.**

Massa específica
Massa específica média da amostra seca de **2250 kg/m³.**

Reconstituição de traço
Proporção em massa média de agregados em função do cimento de **1:6,05**
Consumo de cimento médio de **309 kg/m³.**

Difratometria de raios x

Minerais	Quimismo Aproximado	Distância interplanar principal (Å)	Frequência relativa					
			a	b	c	d	e	f
Feldspato	$(Na_{0,5-0,3}, Ca_{0,5-0,7})Al(Al_{0,5-0,7}, Si_{0,5-0,3})Si_2O_8$	3,20	*	*	*	**	-	**
Mica	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	9,99	**	*	**	**	**	***
Quartzo	SiO_2	3,33	****	**	***	****	**	***
Calcita	$CaCO_3$	3,03	**	*	*	*	*	*
Portlandita	$Ca(OH)_2$	4,90	***	****	****	**	****	****

Simbologia
- = não detectado
tr = traços
* = presente
** = pouco frequente
*** = frequente
**** = muito frequente

Nota: A avaliação semiquantitativa (expressa em número de asteriscos) das fases está fundamentada na altura dos picos de difração, cuja intensidade é função do teor, da simetria e do grau de cristalinidade do constituinte

Termodiferencial e Termogravimetria

Identificação da amostra		Perda de Massa (%)					
		40-200°C (Perda de água livre e/ou adsorvida e decomposição dos silicatos hidratados)	200-400°C (Decomposição dos aluminatos hidratados)	400-500°C [Decomposição do $Ca(OH)_2$]	500-800°C (Descarbonatação do $CaCO_3$)	$Ca(OH)_2$	$CaCO_3$
214424	topo	4,59	2,03	1,32	10,34	5,4	23,5
	meio	7,54	4,86	3,85	2,90	15,8	6,6
	base	8,14	4,81	4,16	2,97	17,1	6,8
214425	topo	4,35	2,79	1,46	11,53	6,0	26,2
	meio	8,38	5,45	4,18	4,31	17,1	9,8
	base	6,42	4,00	2,84	3,81	11,7	8,7

Tipologia do aço empregado

Barras longitudinais entalhadas com bitolas de 22, 20, e 16 mm.
Barras transversais lisas com bitola de 10 mm.
Barras complementares lisas com bitola de 8 mm.

Composição química do aço

Valores em porcentagem média para cada bitola.

Bitola	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn	Mg	N	C_{eq}
22	0,285	0,910	0,410	0,029	0,050	0,020	0,010	0,020	0,100	0,010	0,003	0,465
20	0,255	0,725	0,375	0,036	0,046	0,020	0,010	0,010	0,140	0,010	0,005	0,395
16	0,260	0,660	0,370	0,014	0,051	0,030	0,010	0,020	0,170	0,010	0,005	0,395
10	0,100	0,520	0,340	0,029	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,205
8	0,120	0,450	0,110	0,140	0,070	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,010	0,200

Resistência do aço à tração

Valores médios para cada bitola.

Bitola	massa linear	f_{yk}	Alongamento
(mm)	(kg/m)	(MPa)	%
22	2.902,5	630	6,2
20	2.153,0	610	4,5
16	1.538,5	580	6,6
10	0,6	347	30,0
8	0,5	393	24,4

Dobramento

amostra	bitola (mm)	pinos dobramento	
		EB-3 1939	**NBR 7480/07 pino 3**
1 e 2	22	Quebra	Ok
3 e 4	20	Quebra	Ok
5 e 6	16	Quebra	Ok
7 a 9	10	Ok	Ok
10	8	Ok	Ok

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos e ensaios presentes neste Relatório Técnico são específicos às amostras descritas neste relatório, provenientes da estrutura de concreto armado do edifício Wilton Paes de Almeida, que sofreu incêndio e colapso no dia 1º de maio de 2018, sito a Rua Antônio de Godoy, 581, Largo do Paissandu, São Paulo, SP, em função do plano de amostragem parcial e dos resultados obtidos nos ensaios realizados (*Anexos D e E*).

O IBRACON reconhece e agradece às seguintes empresas e entidades envolvidas nos ensaios e nos projetos, as quais colaboraram direta e/ou indiretamente para a realização deste relatório técnico: ArcelorMittal, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais (CPTI), Demolidora Santos Filho, Engefuro, PhD Engenharia, Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP), São Paulo Obras (SPObras), São Paulo Urbanismo (SPU), Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (SIURB), Superintendência da Polícia Técnico-Científica (SPTC), Secretaria do Patrimônio da União SPU, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM); bem como aos profissionais envolvidos por seu trabalho voluntário: Prof. Dr. Alfonso Pappalardo Júnior, Geolª. MSc. Ana Lívia Zeituhe de P. Silveira, Sr. Antonio Paulo Pereira, Geol. Arnaldo Forti Battagin, Eng. Dr. Bernardo Tutikian, Dr. Carlos Britez, Sr. Cesar Augusto dos Santos, Eng. Douglas Couto, Perito Edgar Rezende Marques, Sr. Eduardo Antonio de Araujo Franca, Sr. Francisco Pereira Souza, Sr. Gustavo de Andrade Silva, Engª. Jéssika Pacheco, Eng. Jefferson Dias de Souza Junior, Sr. José Luiz de Morais Andrade, Eng. José Luiz Varela, Sr. Lázaro de Castro, Eng. Leandro Coelho, Sr. Luiz Adauto Moraes Mazarin, Engª. Dr. Magda Aparecida Salgueiro Duro, Sr. Matheus Moreira, Sr. Mauricio Brun Bucker, Perita Mônica Bernardi Urias, Sr. Nelson Candido Rosa, Prof. Paulo Helene, Eng. Me. Pedro Bilesky, Eng. Dr. Rogério Cattelan Antocheves de Lima, Sr. Ronald M. Nascimento, Eng. Dr. Sérgio Lex, Prof. Me. Simão Priszkulnik, Sra. Thamyris Torsani Pimentel, Prof. Vitor Levy Castex Aly, Sr. Waldir Aparecido dos Santos e Sr. Waldir Aparecido dos Santos Filho.

São Paulo, 13 de Agosto de 2018.

Prof. Paulo Helene
Diretor Técnico
IBRACON.
11-95045-5562
paulo.helene@concretophd.com.br

ANEXO A: *Ofício elaborado pelo IBRACON ao Secretário de prefeituras regionais da Prefeitura Municipal de São Paulo, Sr. Marcos Penido.*

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO
FUNDADO EM 23/06/1972
IBRACON

Ofício 010-18

São Paulo, 03 de maio de 2018.

OFÍCIO

AO DD. SR. MARCOS PENIDO
SECRETÁRIO DE PREFEITURAS REGIONAIS DA PMSP

JULIO TIMERMAN, na qualidade de Diretor Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON e **PAULO HELENE**, na qualidade de Diretor Técnico do mesmo Instituto, vimos por este solicitar respeitosamente que nos trabalhos de remoção dos escombros provenientes do colapso do Edifício Wilton Paes de Almeida, ocorrido no último dia 01, sejam separadas amostras, a saber

1. Trecho da ordem de 1m a 2m de pilar de seção H;
2. Trecho da ordem de 1m a 2m de viga;
3. Trecho da ordem de 1m² de laje.

Estas amostras serão retiradas sob custas e responsabilidades do IBRACON e conduzidas a um laboratório de ensaio. Esta coleta tem por objetivo obter informações sobre a resistência do concreto e do aço utilizados na obra.

Respeitosamente,

Recebido 03/05 Silvana 15:30

Julio Timerman
Diretor Presidente
Cel.: (11) 99911-8874

Paulo Helene
Diretor Técnico
Cel.: (11) 95045-5562

C/C: DD. PROF. VITOR LEVY CASTEX ALY
SECRETÁRIO MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS (SIURB)

ANEXO B: *Termo de Cooperação para o estudo do comportamento dos materiais da estrutura de concreto armado do Edifício Wilton Paes de Almeida, firmado entre o IBRACON e a SPObras da PMSP.*

TERMO DE COOPERAÇÃO

SÃO PAULO OBRAS – SPObras, situada na Rua Av. São João nº 473, 21º andar, São Paulo/SP, inscrita no CNPJ sob o nº 11. 958.828/0001-73, representada neste ato por seu Presidente **Sr. MAURICIO BRUN BUCKER**, brasileiro, casado, engenheiro civil, portador da cédula de identidade RG nº 13033192, e do CPF/MF nº 043.075.868-59, doravante denominada **SPObras**, e o **INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO – IBRACON**, situado na Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro nº 68, Jd. Olímpia, São Paulo/SP, inscrito no CNPJ sob o nº 43.367.754/0001-97, neste ato representado por seu Diretor Presidente **Sr. JÚLIO TIMERMAM**, doravante denominado **IBRACON**,

CONSIDERANDO:

- O incêndio ocorrido no dia 01 de maio de 2018, no Prédio Wilton Paes de Almeida – Av. Rio Branco esquina com a Rua Antônio de Godói, que causou o seu desmoronamento;

- A necessidade de realização de estudos laboratoriais do concreto do referido Prédio, retirados do local do incêndio no dia 04 de maio de 2018, para diagnosticar as causas do incêndio e desmoronamento do Prédio;

RESOLVEM as Partes firmar o presente Termo de Cooperação com os parâmetros a seguir estabelecidos:

CLÁUSULA PRIMEIRA – DO OBJETIVO

O presente Termo de Cooperação é firmado com o intuito viabilizar o estudo do comportamento dos materiais na edificação sinistrada – Prédio Wilton Paes de Almeida – Av. Rio Branco esquina com a Rua Antônio de Godói, cuja análise cabe ao **IBRACON**.

CLÁUSULA SEGUNDA – DOS ESTUDOS LABORATORIAIS

Para os fins deste Termo, fica assegurado ao IBRACON, mediante comunicação prévia à SPObras, o acesso ao local do sinistro para retirada dos

materiais necessários à realização dos estudos laboratoriais dos escombros do Prédio Wilton Paes de Almeida – Av. Rio Branco esquina com a Rua Antônio de Godói.

Fica garantida à SPObras acesso a todos os dados, informações e resultados dos estudos laboratoriais realizados pelo IBRACON nos materiais da edificação sinistrada.

CLÁUSULA TERCEIRA – DO RESULTADO DOS ESTUDOS LABORATORIAS

Fica assegurado à **SPObras** o acesso irrestrito aos estudos e análises dos ensaios laboratoriais realizados pela **IBRANCON**.

O **IBRACON** se compromete a não divulgar os resultados dos estudos e análises dos ensaios laboratoriais para qualquer meio de comunicação, sem a prévia e expressa anuência da **SPObras**.

A utilização dos resultados dos estudos e análises dos ensaios laboratoriais pelo **IBRACON**, para fins didáticos, apresentação em palestra, cursos, publicações e Workshops que tratam sobre o comportamento de edificações de concreto submetidas a incêndios, poderá ser feita mediante prévia autorização da **SPObras**.

CLÁUSULA QUARTA – DA REQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES

Eventual requisição de informações feita por autoridade judiciária ou administrativa competente, dirigida diretamente ao **IBRACON**, deverá ser comunicada à **SPObras** pelo **IBRACON**.

CLÁUSULA QUINTA – DA VIGÊNCIA

O presente Termo tem caráter irrevogável e irretratável e começa a vigorar na data da sua assinatura, permanecendo-o enquanto estiver sendo realizados os estudos laboratoriais do concreto retirado dos escombros do Prédio Wilton Paes de Almeida – Av. Rio Branco esquina com a Rua Antônio de Godói,

permanecendo o sigilo das informações pertinentes pelo período de 06 (seis) meses.

CLÁUSULA SEXTA – DOS RECURSOS

Este instrumento não prevê repasse de recurso entre os Partícipes

Os estudos e análise dos ensaios laboratoriais realizados pelo **IBRACON** são voluntários, não cabendo qualquer tipo de remuneração como contrapartida por tais atividades.

CLÁUSULA SÉTIMA – DO FORO

As dúvidas e controvérsias porventura surgidas em razão da assinatura deste Termo, que não possam ser dirimidas administrativamente, serão apreciadas e julgadas no Foro da Capital, em uma de suas Varas da Fazenda Pública.

E por estarem de pleno acordo com as cláusulas e condições expressas neste Termo, as Partes o firmam em 02 (duas) vias, de igual teor e forma, na presença das testemunhas, que também o subscrevem.

São Paulo, 10 de maio de 2018.

Pela SPObras:

MAURÍCIO BRUN BUCKER

Pelo IBRACON:

JÚLIO TIMERMAM

Testemunhas:

a) Arlene Regnier de Lima Ferreira
RG: 13405569

b) Maurício Centurione
RG: 3.390.002

ANEXO C: *E-mail de autorização para a remoção das amostras, enviado pelo perito Sr. Edgar Rezende.*

Re: Re: Minuta de Justificativa Técnica

1 mensagem

Edgar Rezende Marques <ermarques81@gmail.com> 23 de maio de 2018 19:01
Para: SPTC-ATS Monica Bernardi Urias <monica.mbu@policiacientifica.sp.gov.br>
Cc: "Paulo.Helene" <paulo.helene@concretophd.com.br>

Prezados,

Eu li a minuta de justificativa técnica do Professor Paulo Helene escreveu e quero acrescentar que eu também compartilho desse pensamento, acredito que seja primordial uma análise minuciosa na estrutura do edifício *Wilton Paes de Almeida*.

Para entendermos melhor a edificação e compartimentação do prédio, solicitei via ofício alguns documentos, inclusive o projeto executivo, para a autoridade policial competente e requisitante do laudo pericial. Espero ansiosamente por um retorno o mais breve possível.

Inicialmente estou focando as minhas atenções no levantamento do local de crime para elucidação da possível causa do incêndio, mas que está invariavelmente inconclusiva devido ao local estar completamente prejudicado por conta do consequente desabamento, restando apenas algumas hipóteses a serem levantadas. Acredito que devido à diversos fatores que serão elencados em momento oportuno, as chamas propagaram muito rapidamente e tomaram conta de toda a edificação em questão de minutos, resultando na fragilização do concreto armado dos pilares e lajes com o consequente desabamento do prédio.

Também acredito que os resultados dos exames e ensaios realizados nos corpos de prova que foram coletados pela equipe do professor Paulo Helene irão nos ajudar bastante no sentido do entendimento da dinâmica e causas do desabamento. Nesse sentido, dou total apoio quanto a realização de mais ensaios e coleta no subsolo do edifício. Para tanto, podemos providenciar uma solicitação pleiteando o acesso visual e físico para uma inspeção técnica aos dois subsolos e às fundações do edifício. Para tanto, gostaria da ajuda da Dra. Mônica nesse sentido, já que inicialmente eu não sei como proceder nessa situação e também tenho dúvidas quanto ao destinatário para o qual eu deva oficiar essa solicitação.

Eu sugeri para Dra. Mônica e para o Sr. Mateus para que agendássemos uma reunião/encontro o mais breve possível para que pudéssemos discutir alguns pontos e alinharmos nossa ideias.

Deixo o convite em especial para o Professor Paulo Helene, ficaremos lisonjeados e gratos com a sua participação.

Estou a disposição para qualquer esclarecimento.

Atenciosamente

Edgar RM

Em 23 de maio de 2018 17:33, SPTC-ATS Monica Bernardi Urias <monica.mbu@policiacientifica.sp.gov.br> escreveu:

> Boa tarde, Edgar
>
> Eu defendo a ideia do prof. Helene, gostaria da sua opinião, e se achar providencial, encaminhar uma solicitação à parte para que providencie a remoção dos escombros para inspeção do subsolo ela pericia.
>
> ATT
> Monica Bernardi Urias
> ATS - Gabinete SPTC
>
> ----- Encaminhado por SPTC-ATS Monica Bernardi Urias/ATS/SPTC em 23/05/2018 05:20 PM -----
>
> > Para: SPTC-ATS Monica Bernardi Urias <monica.mbu@policiacientifica.sp.gov.br>
> > De: "Paulo.Helene" <paulo.helene@concretophd.com.br>
> > Data: 22/05/2018 09:59 AM
> > cc: "Matheus Moreira .PhD Engenharia" <matheus.moreira@concretophd.com.br>, Julio Timerman <julio@engeti.eng.br>, Jefferson Abece <jdsprojetos@uol.com.br>, Simão Priszkulnik <sprisz@gmail.com>
> > Assunto: Re: Minuta de Justificativa Técnica

(Ver arquivo anexado: FolhadeSaoPaulo11.05.2018.pdf)

Prezada Monica

Bom dia!
Tomo a liberdade de anexar um artigo publicado na Folha de São Paulo que pode ajudar a compreender e justificar a importância de um diagnóstico.
O artigo cita milhares de edifícios construídos até década de 70 que podem ter comportamento e problemas similares frente a incêndio.
Sigo à disposição.
Muito obrigado
Abraços de

PhD Engenharia

Prof. Paulo Helene
Diretor
tel.: 55-11-9-5045-5562 ou tel.: 11-2501-4822
Rua Visconde de Ouro Preto 201 São Paulo SP 01303-060
paulo.helene@concretophd.com.br
www.concretophd.com.br & www.phd.eng.br

"Esta mensagem e qualquer arquivo nela contido são confidenciais e estão protegidos pelo sigilo de correspondência.
The information transmitted in this e-mail message is intended only for the person or entity to which it is addressed and may contain confidential information. Any retransmission, dissemination or other use of, or taking of any action in reliance upon, this information by person or entity other than the intended recipient, if not clearly authorized by the sender, is prohibited. If you have received this communication in error, please notify the sender immediately by e-mail and delete the message from any computer."

Em 22 de maio de 2018 03:09, Paulo.Helene <paulo.helene@concretophd.com.br> escreveu:

> Prezada Enga. Monica
>
> Bom dia.
> Conforme conversamos preparei esta minuta de justificativa técnica que poderia ser utilizada num pedido, por exemplo, ao proprietário da obra (SPU do Ministério do Planejamento).
>
> *" Justificativa técnica*
> *O colapso prematuro em apenas cerca de 80 minutos do edifício Wilton Paes de Almeida, surpreendeu a engenharia de estruturas de concreto.*
> *Incêndios anteriores como o do Edifício Andraus, Joelma e Grande Avenida, todos em São Paulo e construídos na mesma década de 60, resistiram a mais de 4h de fogo, sem colapsar e encontram-se atualmente em uso normal.*
> *Trata-se de um fato muito grave, tanto do ponto de vista da evacuação dos edifícios pelos usuários, quanto do ponto de vista da segurança dos bombeiros nas suas atividades de resgate e combate ao fogo, além da segurança da vizinhança que não pode ser atingida pelos destroços, ou seja, prédios não podem colapsar tão rapidamente frente a um incêndio.*
> *Entender as razões técnicas desse comportamento estrutural não esperado é fundamental para a correta tomada de medidas de segurança, de manutenção e até de adequação de centenas ou milhares de edifícios em São Paulo e outros centros urbanos, em condições similares.*
> *Cabe uma análise estrutural detalhada que permita um diagnóstico confiável do mecanismo de colapso dessa estrutura.*
> *Para tal são convenientes e necessários, dispor-se dos projetos executivos ou de "as built" desse edifício, tanto do ponto de vista arquitetônico quanto estrutural.*

Infelizmente, até o momento, esses projetos executivos não foram encontrados, ou seja, somente algumas referências em revistas e teses estão disponíveis.
Nessas referências e relatos há descrição e croquis da arquitetura provável do edifício, mas são imprecisos, assim como os relatos que falam em estrutura mista de pilares metálicos e lajes de concreto, quando a realidade dos escombros mostrou que eram pilares e lajes de concreto armado.
Pleiteia-se o acesso visual e físico para uma inspeção técnica aos dois subsolos e às fundações para obtenção de medidas fundamentais a essa análise de segurança estrutural.
É preciso medir a geometria exata dos pilares e caixas de escada e elevadores, a taxa de armadura, o tipo de fundações, as propriedades do concreto e do aço utilizado, ou seja, somente o acesso a esses subsolos e fundações, em parte ainda preservados, é que vai permitir uma "reconstrução" do partido estrutural efetivo desse edifício.
Por essas razões técnicas solicita-se prontas providências do Ministério do Planejamento (?) no sentido de limpar o local e viabilizar essas inspeções.
O resultado dessa análise terá como benefício imediato a maior segurança a usuários, às atividades dos bombeiros assim como à vizinhança nos centros urbanos do país, em relação aos milhares de edifícios existentes.
O conhecimento do mecanismo de ruptura precoce também vai permitir aperfeiçoar as Instruções do Corpo de Bombeiros e as normas técnicas de projeto e construção de novos edifícios de concreto armado no país."

Espero que esta minuta possa ajudar nessa árdua missão de procurar entender esse colapso tão nefasto, tão trágico e não esperado, que deve ser evitado, de todas as formas, que se repita no futuro.
Sigo à disposição.
Abraços de

PhD Engenharia

Prof. Paulo Helene
Diretor
tel.: 55-11-9-5045-5562 ou tel.: 11-2501-4822
Rua Visconde de Ouro Preto 201 São Paulo SP 01303-060
paulo.helene@concretophd.com.br
www.concretophd.com.br & www.phd.eng.br

"Esta mensagem e qualquer arquivo nela contido são confidenciais e estão protegidos pelo sigilo de correspondência.
The information transmitted in this e-mail message is intended only for the person or entity to which it is addressed and may contain confidential information. Any retransmission, dissemination or other use of, or taking of any action in reliance upon, this information by person or entity other than the intended recipient, if not clearly authorized by the sender, is prohibited. If you have received this communication in error, please notify the sender immediately by e-mail and delete the message from any computer."

--
Edgar R. Marques
(11)97649-9800

ANEXO D: *Relatórios de ensaios nºs 117957 e 117958, elaborados pela Associação Brasileira de Cimento Portland.*

Associação Brasileira de Cimento Portland

ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 117957

Interessado: Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon

Endereço: Rua Julieta Espírito Santo Pinheiro, 68 - CEP 05542-120 – São Paulo/SP

Referência: Orçamento 79876

Amostra nº: 214.339 e 214.340 **Data de entrada**: 11.06.2018

Material declarado: Testemunho de concreto

Período de realização dos ensaios: 12.06.2018 a 20.06.2018

Objetivo: Reconstituição do traço de concreto com consumo de cimento e determinação da resistência à compressão

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta o resultado do ensaio de reconstituição do traço com a determinação do consumo de cimento duas amostras de testemunho de concreto e determinação da resistência à compressão em uma amostra enviada pessoalmente pelo Engº Carlos Britez no dia 29/06/2018. Essas amostras referem-se ao concreto do Edifício Wilton Paes de Almeida, que sofreu colapso após incêndio no dia 01/05/2018. As amostras extraídas e enviadas pelo Interessado receberam a seguinte identificação:

ABCP	Interessado
214.339	Amostras de testemunho de concreto Pilar (4 fragmentos)
214.340	Amostra de testemunho de concreto da Estrutura (1 fragmento)
-	Amostra de testemunho de concreto enviado pelo Engº Carlos Britez no dia 29/06/2018

2. MÉTODO DE ENSAIO E DOCUMENTO REFERENCIADO

PO-GT-3016 rev. 02	Reconstituição do traço de concreto
ABNT NBR 9778/09	Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica
ABNT NBR 5739/18	Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
ABNT NBR 6118/14	Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
ABNT NBR 7680/15	Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

3. RESULTADOS

3.1. Reconstituição do traço

As amostras de concreto foram submetidas ao tratamento térmico e químico, seguindo procedimento adotado pelo laboratório da ABCP (PO-GT 3016), e obtiveram-se os resultados apresentados na *Tabela 1*.

Para os cálculos de proporcionamento em massa foi adotado o valor de Óxido de Cálcio, igual a 60,0%. Não foi levada em conta a eventual presença de materiais calcários ligados aos agregados graúdos e miúdos.

TABELA 1- Reconstituição do traço em partes de massa

Identificação da amostra	Composição	
	Cimento	Agregados
Pilar	**1**	**5,9**
Estrutura	**1**	**6,2**

3.2. Consumo de cimento

Com base no traço em partes de massa e na massa específica, calculou-se o consumo de cimento empregado no preparo do concreto referente às amostras de concreto. Partiu-se da premissa de que faz parte do concreto um teor de água de hidratação correspondente a 0,3 em relação ao cimento anidro (relação água/cimento).

A *Tabela 2* apresenta os resultados de determinação da absorção, índice de vazios e massa específica e a *Tabela 3* o consumo de cimento das amostras de concreto.

TABELA 2 – Determinação da absorção, índice de vazios e massa específica – NBR 9778

Ensaios	Amostra		
	Pilar	Estrutura	Concreto Carlos Britez
Absorção após imersão e fervura (%)	6,52	6,68	8,02
Índice de vazios após saturação e fervura (%)	14,75	15,21	17,75
Massa específica da amostra seca (g/cm^3)	**2,26**	**2,28**	**2,21**
Massa específica da amostra após saturação e fervura (g/cm^3)	2,41	2,43	2,39
Massa específica real (g/cm^3)	2,65	2,69	2,69

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Para o cálculo do consumo de cimento empregou-se a seguinte equação:

Consumo de cimento = $\frac{M}{1 + P + A + a/c}$.

onde:

M = Massa específica da amostra seca
P = Agregado maior que 4,8 mm
A = Agregado menor ou igual a 4,8 mm
a/c = fração de água retida pela hidratação em relação ao cimento anidro

TABELA 3 - Resultado do Consumo de Cimento

Identificação da amostra	Consumo obtido (kg/m^3)
Pilar	**314**
Estrutura	**304**

3.3. Resistência à compressão simples

As extremidades do testemunho foram aparadas com serra de disco diamantada, formando-se planos paralelos entre si e perpendiculares ao eixo do testemunho. Em seguida os topos foram retificados. A amostra foi preparada e ensaiada no mesmo dia que chegou ao laboratório da ABCP. Os resultados obtidos são apresentados na *Tabela 4:*

TABELA 4 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão

Amostra	Identificação Interessado	Dimensões dos testemunhos (mm)		Relação altura/ diâmetro	Densida-de (kg/m³)	Carga (N)	Fator de correção	Resistência à Compressão (MPa)	
		Diâme-tro	Altura					Sem correção	Corrigi-da
*	Enviada em 29/06/18	102,0	141,6	1,39	2331	185000	1,02	22,6	**23,1**

Notas:
(1) Os testemunhos foram extraídos e enviados pelo interessado.
(2) Não foi declarado o f_{ck} do concreto.
(3) Para fins de comparação com o f_{ck}, conforme o que estabelece a ABNT NBR 6118 no item 12.4 "*Admite-se no caso testemunho extraído da estrutura, dividir o valor do γ_c por 1,10*". Essa consideração deve ter o aval do projetista.

*Testemunho de concreto enviado pelo Engº Carlos Britez, o mesmo acompanhou o ensaio.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio nº 117957

São Paulo, 13 de julho de 2018.

Geól. Ana Lívia Zeitune de P. Silveira
Supervisora de Mineralogia
CREA nº 5061047639

Geól. Arnaldo Forti Battagin
Chefe do Laboratório
CREA nº 0600586647

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Associação Brasileira de Cimento Portland

ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 117958

Interessado: Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon

Endereço: Rua Julieta Espírito Santo Pinheiro, 68 - CEP 05542-120 – São Paulo/SP

Referência: Orçamento 79876

Amostra nº: 214.424 e 214.425 **Data de entrada**: 14.06.2018

Material declarado: Testemunho de concreto

Período de realização dos ensaios: 12.06.2018 a 20.06.2018

Objetivo: Avaliação da profundidade de dano provocado por incêndio ao concreto, através de análises térmicas, químicas e mineralógicas

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados das análises térmicas, químicas e mineralógicas em amostras de testemunho de concreto extraídas do Edifício Wilton Paes de Almeida, que sofreu colapso após incêndio no dia 01/05/2018.

O objetivo foi determinar a profundidade dos danos provocados por incêndio. As amostras extraídas e enviadas pelo Interessado receberam a seguinte identificação:

ABCP	Interessado
214.424a	Amostras de testemunho de concreto – Amostra 1 – Núcleo - Topo
214.424b	Amostras de testemunho de concreto – Amostra 1 – Núcleo - Meio
214.424c	Amostras de testemunho de concreto – Amostra 1 – Núcleo - Base
214.425d	Amostras de testemunho de concreto – Amostra 2 – Intermediário - Topo
214.425e	Amostras de testemunho de concreto – Amostra 2 – Intermediário - Meio
214.425f	Amostras de testemunho de concreto – Amostra 2 – Intermediário - Base

2. MÉTODO DE ENSAIO E DOCUMENTO REFERENCIADO

PO-GT-5012 - Análises Termodiferencial e Termogravimétrica

PO-GT-5042 - Procedimento de Análise por Difratometria de Raios X

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

A reação do cimento com a água leva à formação de produtos hidratados, entre os quais se encontram silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, hidróxido de cálcio, além de etringita e as fases de sulfoaluminato cálcicos hidratadas mais estáveis. Em uma pasta de cimento hidratada é possível identificar, ainda a presença de carbonato de cálcio, correspondente ao calcário adicionado ao cimento, ou decorrente da carbonatação do concreto. Esses produtos são sensíveis ao aumento da temperatura, decompondo-se, cada um com uma faixa típica de estabilidade.

De fato, sob condições de aumento de temperatura, a partir de 80^0C, embora visualmente não se observe nenhuma alteração na estrutura do concreto, em escala microscópica começa o fenômeno de desidratação das acículas de etringita cristalizada que, por volta de 100^0C, se transforma em etringita amorfa.

Por volta de 200^0C, com a perda da fase líquida dos poros, começam a ser identificadas feições superficiais de microfissuração, que, no elemento estrutural, fica visível a olho nu por volta de 300^0C. Nessa temperatura ocorre a decomposição dos aluminatos hidratados da pasta.

Entre 480^0C e 550^0C, ocorre a desidroxilação da portlandita, que se transforma em cal livre, e a fissuração no elemento estrutural deixa de ser superficial para se tornar mais profunda. Por volta de 570^0C, verifica-se o início da fissuração dos agregados quartzosos, pois ocorre o fenômeno de transformação alotrópica do quartzo α em quartzo β, que embora reversível, leva a um aumento de volume de 0,8%, com forte repercussão nas propriedades físicas do agregado.

Por volta de 800^0C, é que se inicia a descarbonatação dos agregados calcários, explicando o melhor comportamento ao fogo dos concretos com esse tipo litológico de agregado em relação aos agregados de composição granítica (NEVILLE, 1997).

Uma forte porosidade pela perda completa do CO_2 do agregado calcário somente ocorre a partir de 1000^0C. Já, os principais minerais do granito (quartzo, feldspato e mica) se comportam de maneira diferenciada frente ao aumento de temperatura, perdendo a coesão entre 800^0C e 1000^0C, sofrendo forte retração, que leva à fissuração generalizada do agregado.

A partir de 1100^0C, a pasta de cimento começa a se tornar vitrificada pelo aparecimento das ligações cerâmicas em detrimento das ligações hidráulicas. Como consequência, há formação de wollastonita (silicato de cálcio), a partir do C-S-H original, e de anidrita (sulfato de cálcio anidro), a partir da etringita original. Pela perda das propriedades hidráulicas, ocorrem esfarelamento e desagregação total do concreto do elemento estrutural.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Neville (1997) descreve queda acentuada da resistência à compressão do concreto quando submetido a temperaturas superiores a 300°C, o mesmo acontecendo com o módulo de elasticidade e a resistência à tração na flexão. Ainda de acordo com este autor (Neville 1997), o aumento de temperatura sobre o concreto é acompanhado por mudança de sua coloração, que passa a rosado ou vermelho, após exposição a temperaturas entre 300°C e 600°C, cinza entre 600°C e 900°C e laranja amarelado entre 900°C e 1000°C e colorações além do rosado já sugerem comprometimento da qualidade do concreto.

Uma amostra de concreto não é afetada de maneira homogênea sob as condições de incêndio, sendo verificado que a superfície da estrutura com face voltada ao fogo é a mais atingida e, a depender das condições, tempo e temperatura do incêndio, os danos no interior são menores ou mesmo insignificantes do ponto de vista da microestrutura.

Diante do exposto fica claro que a partir da identificação da presença ou ausência de certo compostos mineralógicos torna-se possível avaliar a temperatura atingida por um elemento estrutural de concreto, em diferentes profundidades, num episódio de incêndio.

4. RESULTADOS

4.1. Difratometria de Raios X

A análise por difração de raios X (DRX) objetivou a identificação das fases cristalinas que compõem as amostras. As amostras foram destorroadas em almofariz e a porção moída e destorroada foi analisada no Difratômetro de raios X.

Para a identificação dos constituintes mineralógicos das amostras, uma parte do material foi colocada em um suporte metálico de orifício plano, sendo submetido a uma leve compressão e levado ao difratômetro de raios X para análise pelo Método do Pó não-orientado (Amostra Integral). Com base nos difratogramas das Figuras 1 a 6, realizados com a amostra integral, caracterizaram-se os compostos mineralógicos cristalizados constantes no *Quadro 1.*

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

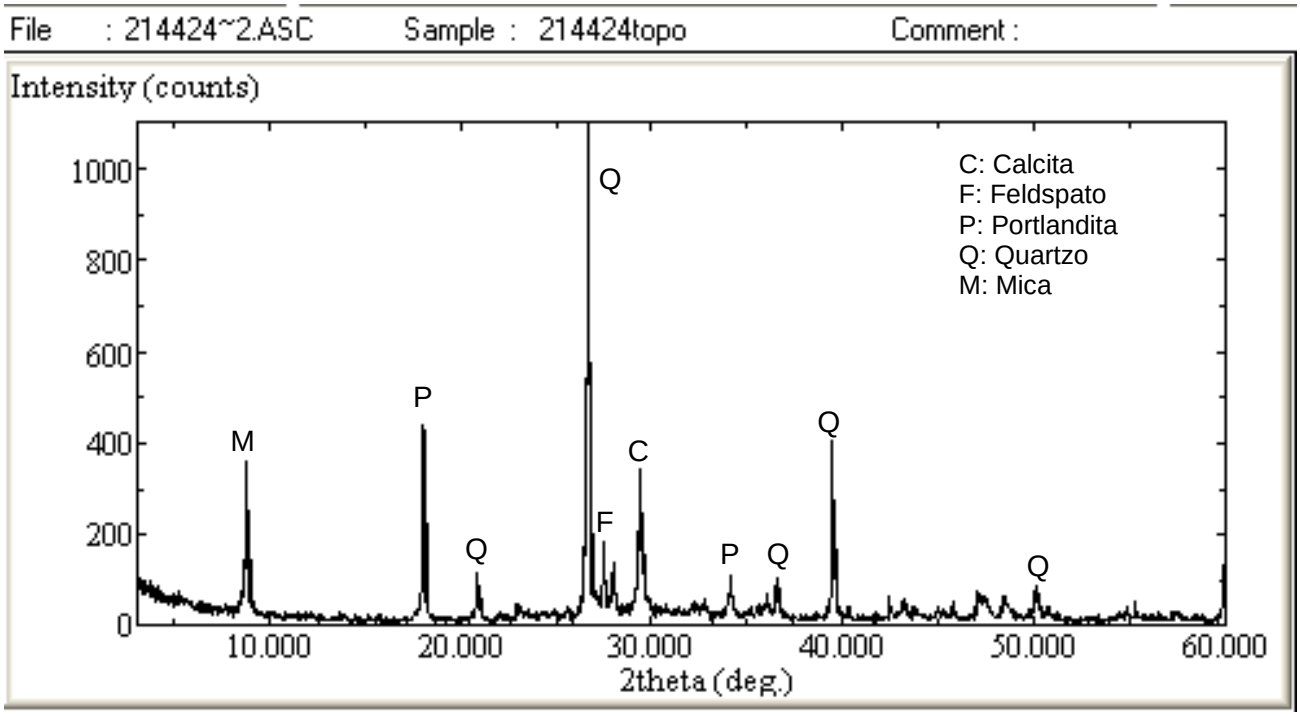


Figura 1 – Difratograma da amostra de 214424a topo

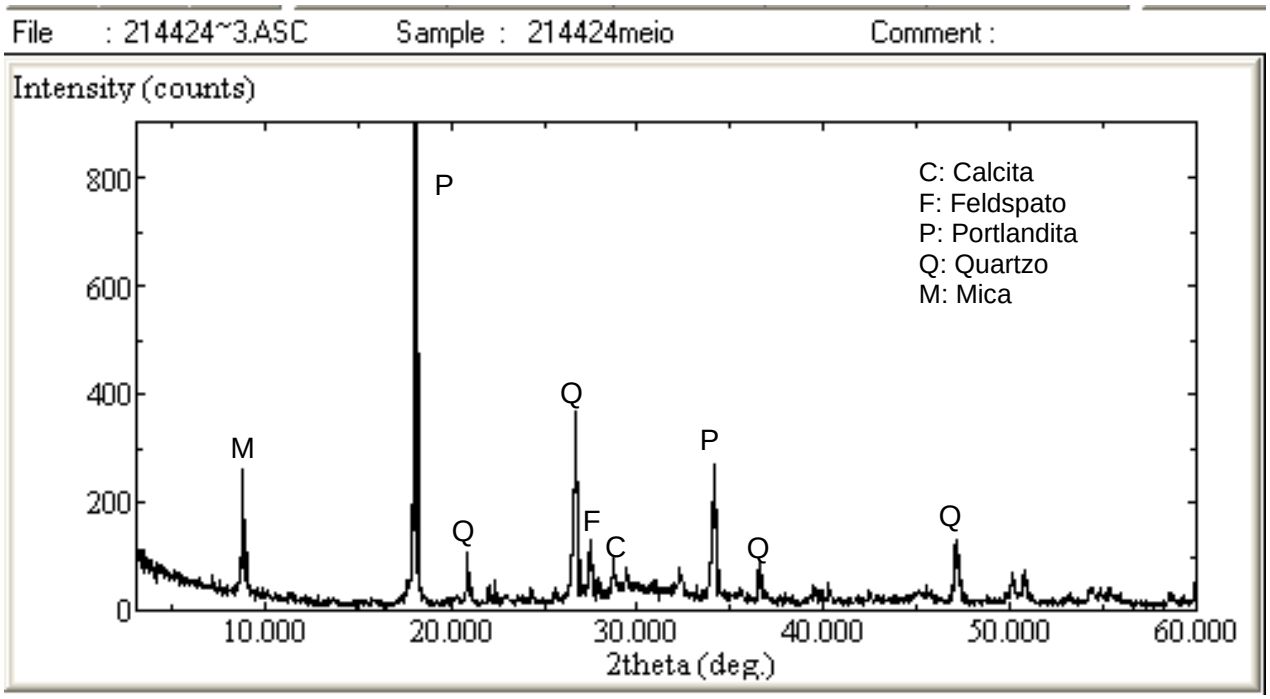


Figura 2 – Difratograma da amostra de 214424b meio

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

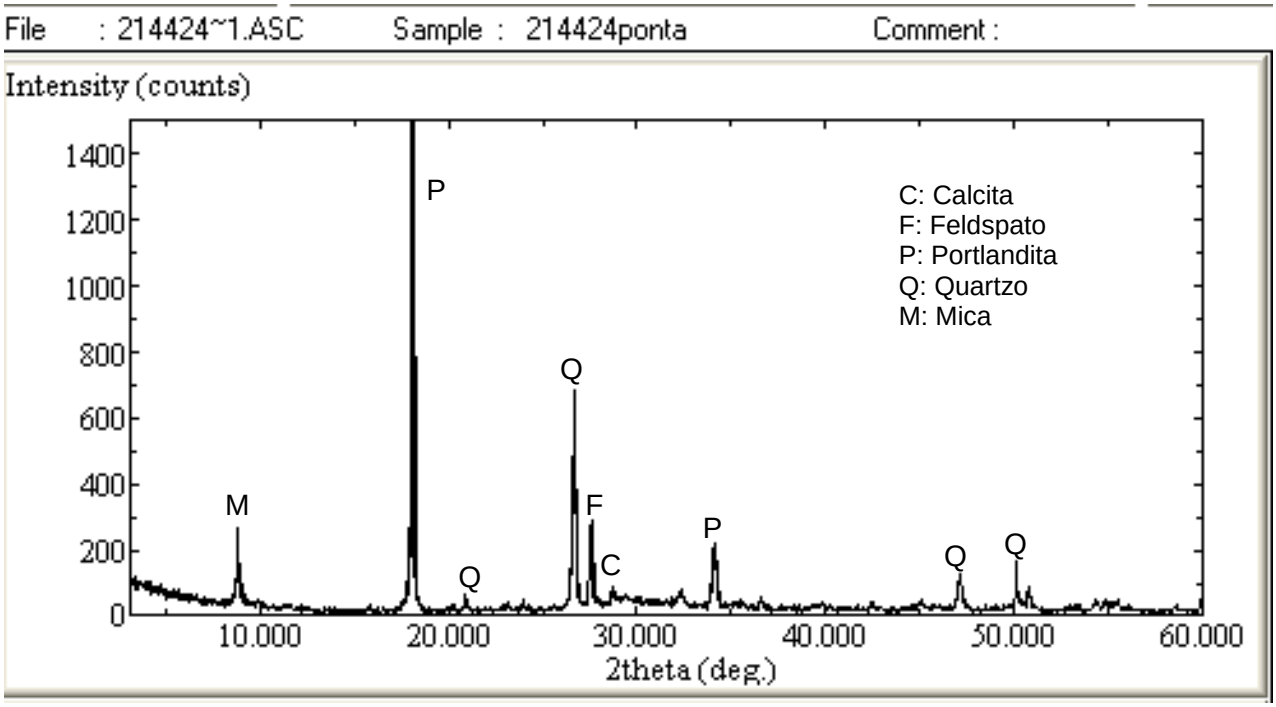


Figura 3 – Difratograma da amostra de 214424c base

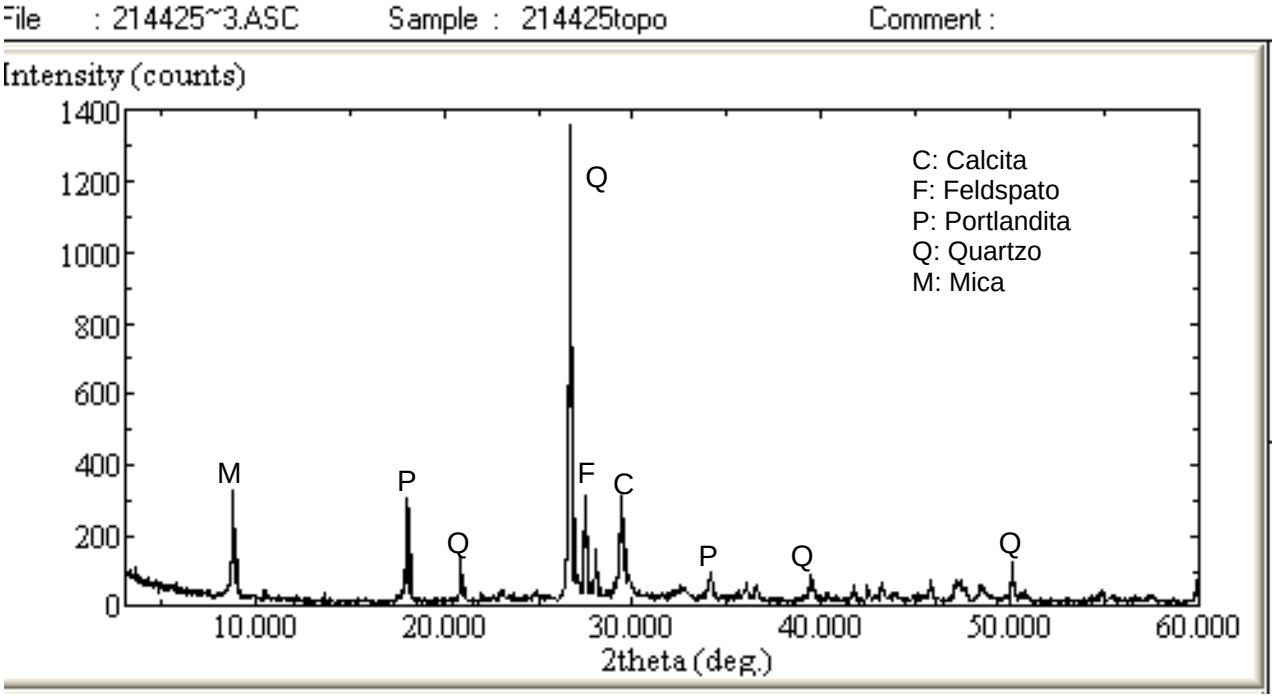


Figura 4 – Difratograma da amostra de 214425d topo

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

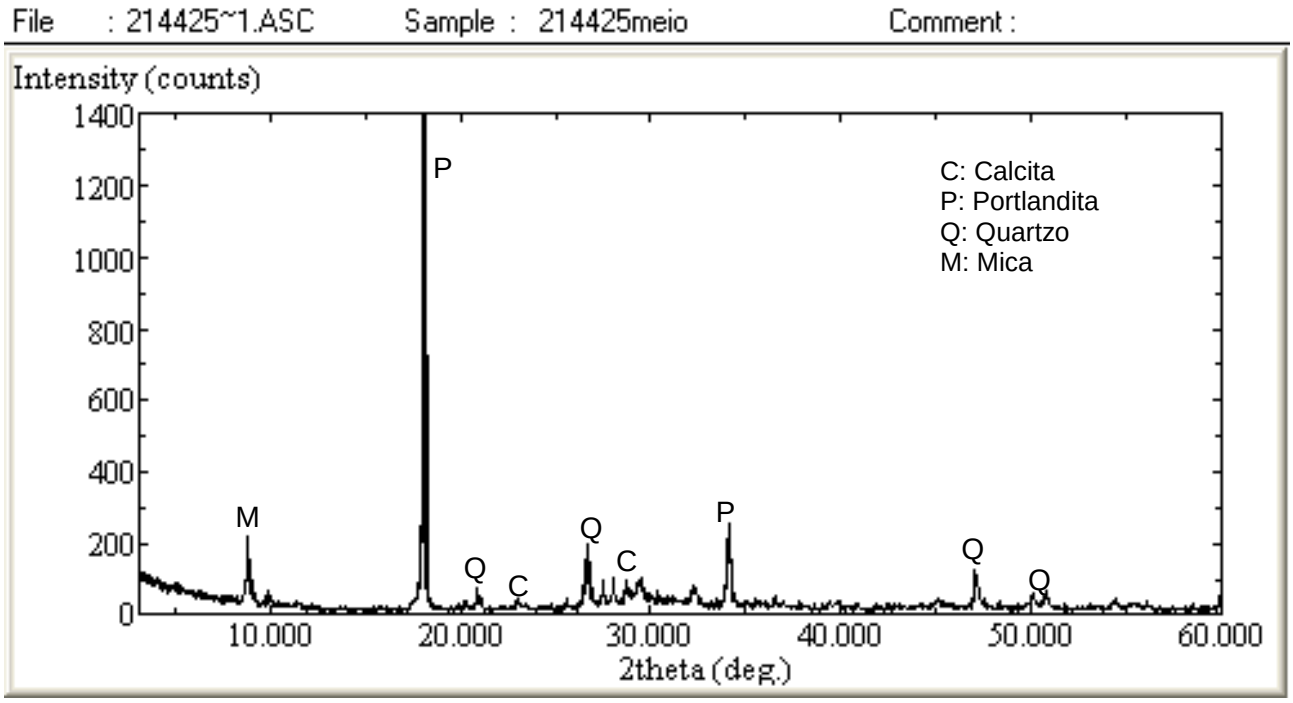


Figura 5 – Difratograma da amostra de 214425e meio

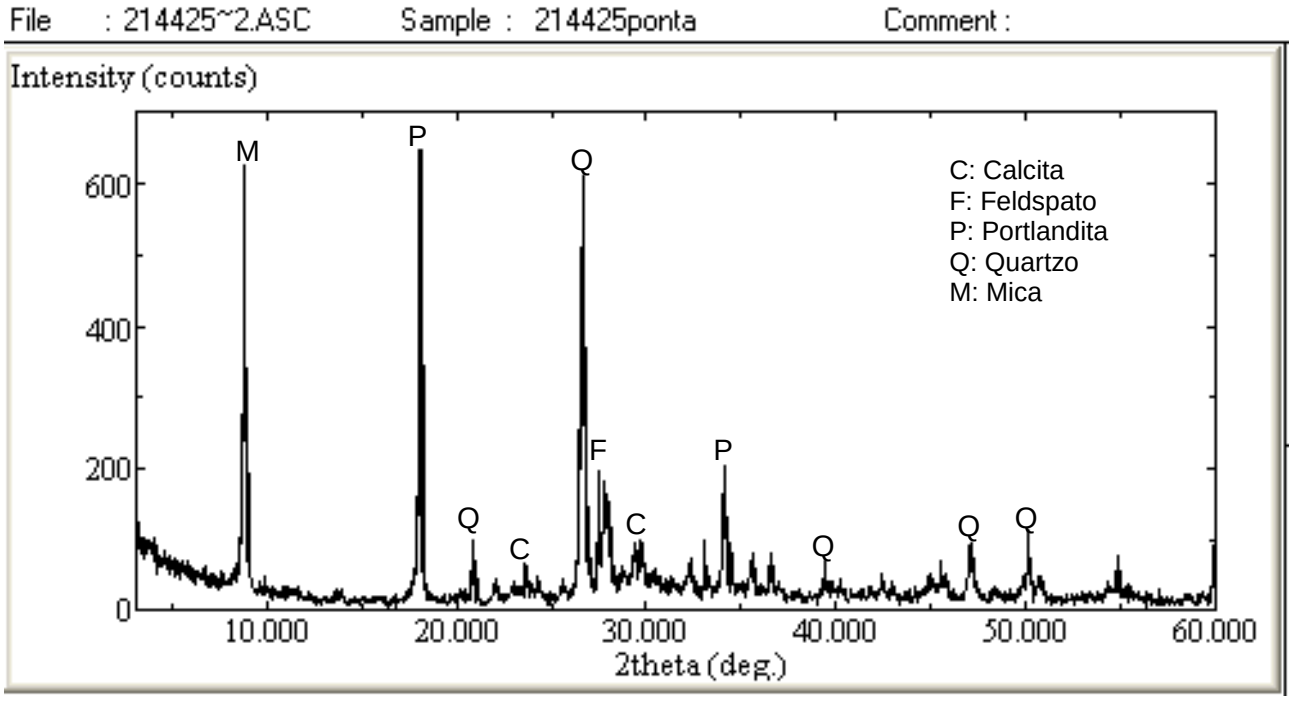


Figura 6 – Difratograma da amostra de 214425f base

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

QUADRO 1 - Compostos mineralógicos das amostras de concreto

Minerais	Quimismo Aproximado	Distância interplanar principal (Å)	Frequência relativa					
			a	b	c	d	e	f
Feldspato	$(Na_{0,5-0,3},Ca_{0,5-0,7})Al(Al_{0,5-0,7},Si_{0,5-0,3})Si_2O_8$	3,20	*	*	*	**	-	**
Mica	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	9,99	**	*	**	**	**	***
Quartzo	SiO_2	3,33	****	**	***	****	**	***
Calcita	$CaCO_3$	3,03	**	*	*	*	*	*
Portlandita	$Ca(OH)_2$	4,90	***	****	****	**	****	****

Simbologia: - = não detectado; tr = traços; * = presente; ** = pouco freqüente; *** = freqüente; **** = muito freqüente

NOTA: A avaliação semiquantitativa (expressa em número de asteriscos) das fases está fundamentada na altura dos picos de difração, cuja intensidade é função do teor, da simetria e do grau de cristalinidade do constituinte

4.2. ANÁLISES TERMODIFERENCIAL E TERMOGRAVIMÉTRICA

As análises térmicas realizadas em concretos permitem reconhecer usualmente nos termogramas, a presença de picos referentes aos aluminatos e silicatos hidratados, ao hidróxido de cálcio e ao carbonato de cálcio, constituintes da pasta hidratada, além daqueles relativos ao quartzo presente no agregado miúdo. Em concretos submetidos à temperaturas acima da ambiente, no entanto, espera-se a ausência ou diminuição da intensidade dos picos decorrentes dos hidratados de cimento refletindo a decomposição total ou parcial desses compostos como consequência das altas temperaturas.

Especificamente, visando à determinação da extensão dos danos causados pelo fogo ao concreto, foram feitas análises térmicas comparativas da superfície externa, meio e base.

Para realização das análises térmicas empregou-se um aparelho de Labsys Evo, marca Setaram, dotado de forno de alta temperatura (até 1600ºC) nas seguintes condições analíticas:

- taxa de aquecimento — 10ºC/min
- faixa de análise — 30 ºC a 1000ºC
- inerte utilizado — corindon (Al_2O_3)
- termopar — platina ródio
- cadinho — platina ródio
- capacidade do cadinho — $0,05cm^3$
- massa das amostras — 30mg ± 0,1

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

As análises termodiferenciais determinam as diferenças de temperatura entre um padrão e a amostra quando aquecidos simultaneamente até a temperatura de 1000ºC, a uma taxa de 10ºC/mim.

Com base nos termogramas (Figuras 7 a 12), foram identificadas as reações constantes no *Quadro 2*.

QUADRO 2 - Identificação das reações

Temperatura do pico (ºC)	Natureza da reação	Interpretação
40-200	endotérmica	Perda de água livre e/ou adsorvida e decomposição dos silicatos hidratados
200-400	endotérmica	Decomposição dos aluminatos da pasta de cimento hidratada
400-500	endotérmica	Decomposição do hidróxido de cálcio
500-820	endotérmica	Descarbonatação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$)

Com base nas curvas termogravimétricas, foram determinadas as perdas de massa decorrentes das reações identificadas pelas curvas termodiferenciais. Os resultados obtidos são apresentados na *Tabela 1*.

TABELA 1 – Perdas de massa determinadas nas amostras analisadas

Identificação da amostra		Perda de Massa (%)				Teor (% de massa)	
		40-200ºC (Perda de água livre e/ou adsorvida e decomposição dos silicatos hidratados)	200-400ºC (Decomposição dos aluminatos hidratados)	400-500ºC [Decomposição do $Ca(OH)_2$]	500-800ºC (Descarbona-tação do $CaCO_3$)	$Ca(OH)_2$	$CaCO_3$
214424	topo	4,59	2,03	1,32	10,34	5,4	23,5
	meio	7,54	4,86	3,85	2,90	15,8	6,6
	base	8,14	4,81	4,16	2,97	17,1	6,8
214425	topo	4,35	2,79	1,46	11,53	6,0	26,2
	meio	8,38	5,45	4,18	4,31	17,1	9,8
	base	6,42	4,00	2,84	3,81	11,7	8,7

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

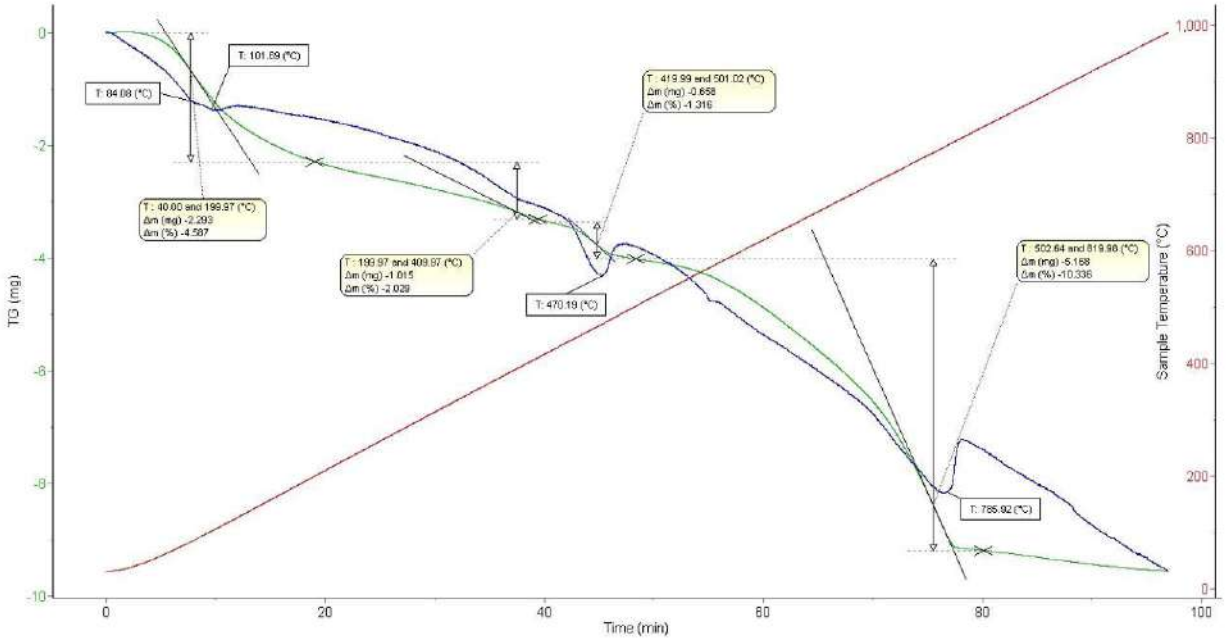


Figura 7 – Termograma da amostra de 214424a topo

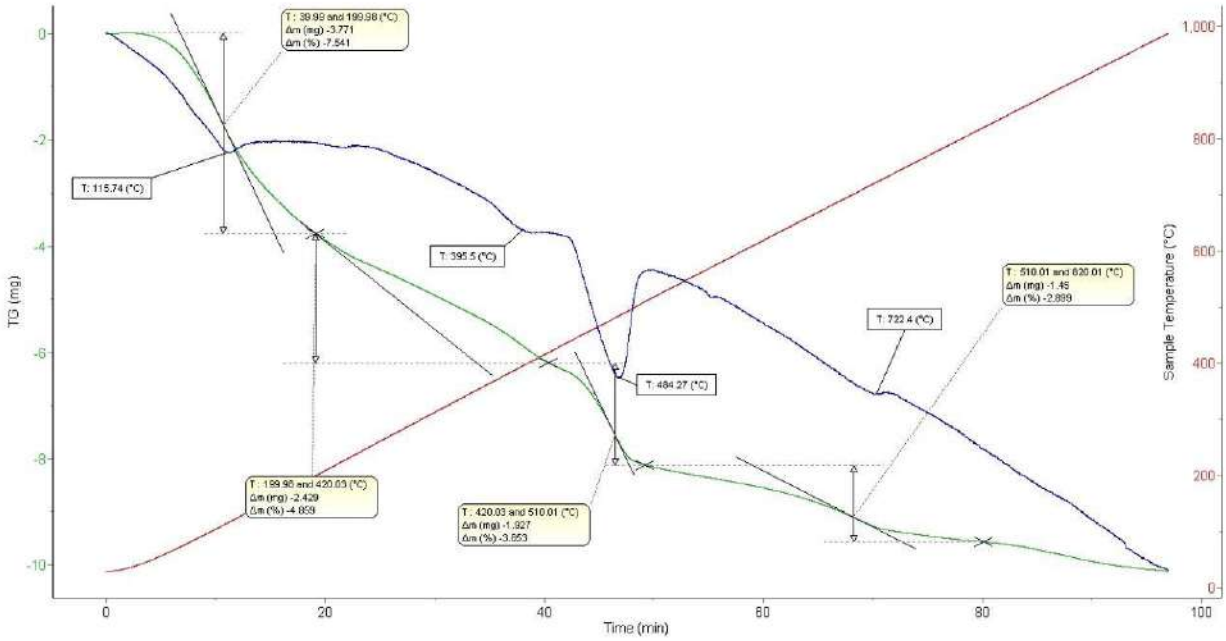


Figura 8 – Termograma da amostra de 214424b meio

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

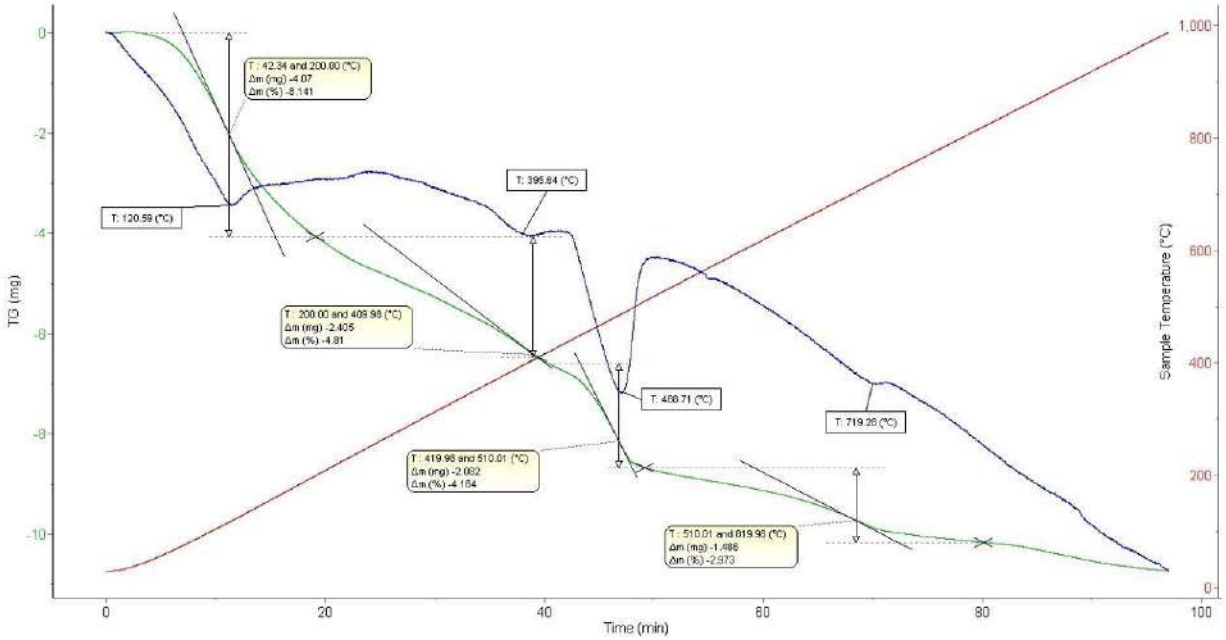


Figura 9 – Termograma da amostra de 214424c ponta

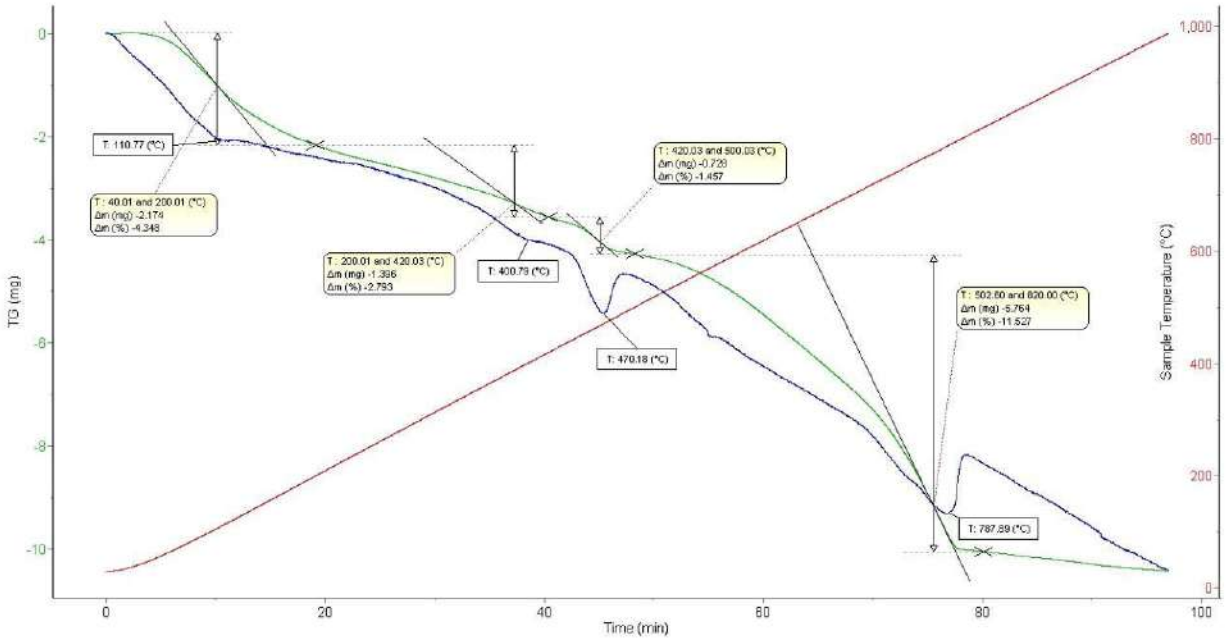


Figura 10 – Termograma da amostra de 214425d topo

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

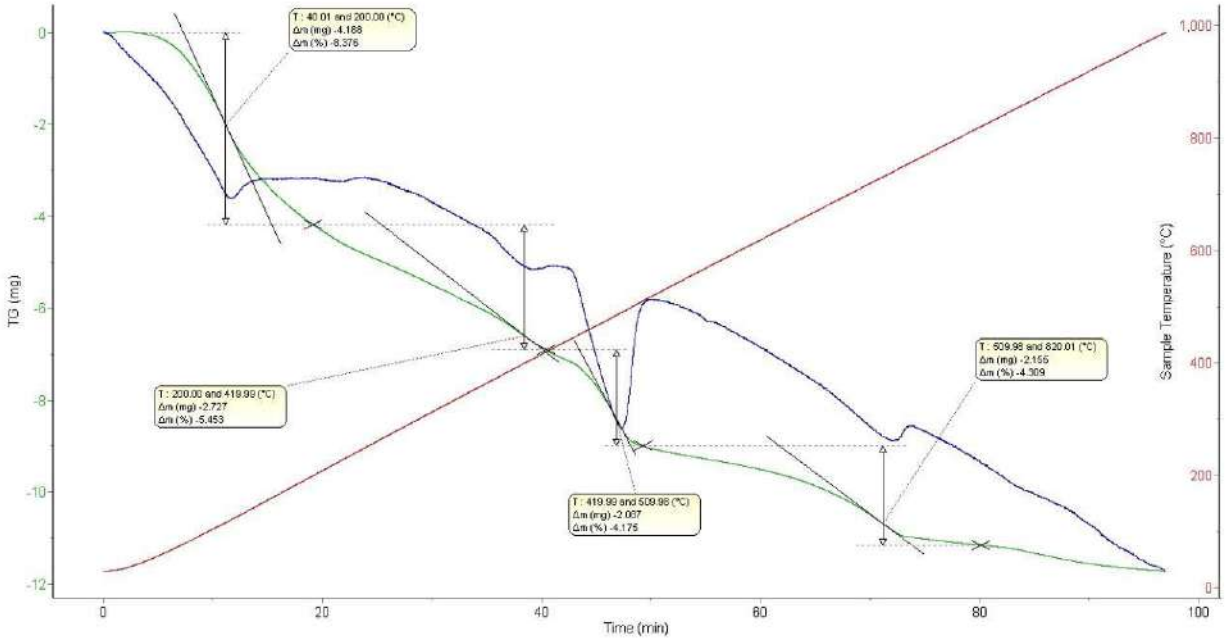


Figura 11 – Termograma da amostra de 214425e meio

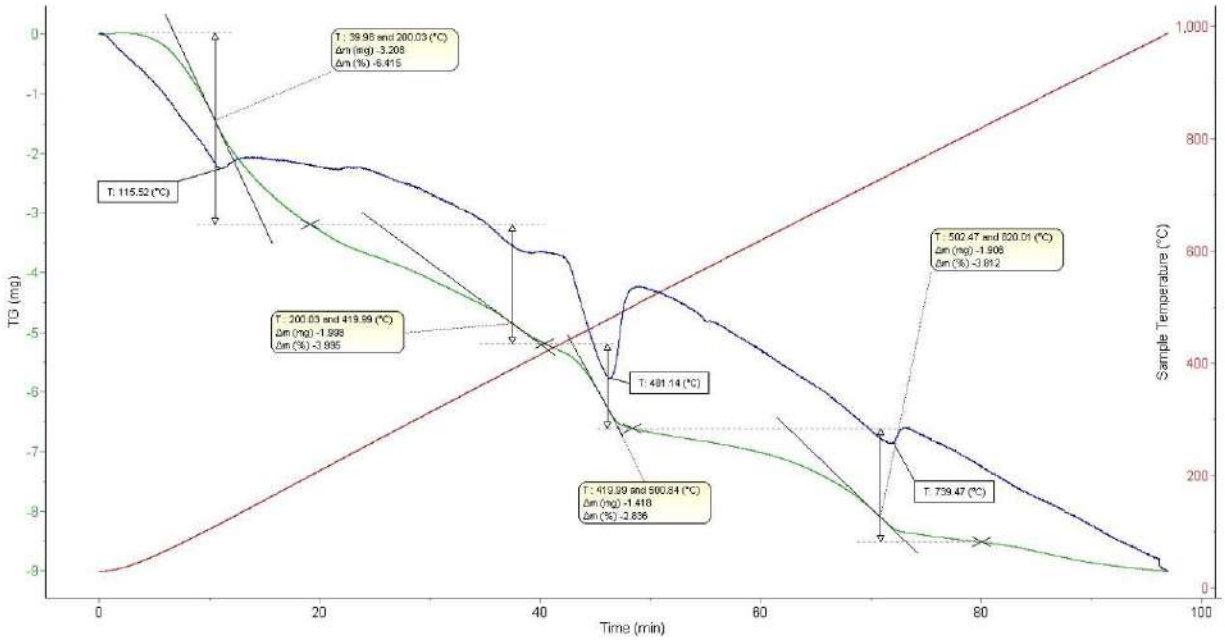


Figura 12 – Termograma da amostra de 214425f ponta

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

São válidas as seguintes considerações:

- As análises realizadas nas amostras de concreto nas diferentes profundidades revelaram diferenças composicionais, decorrentes da calcinação causada pelo incêndio;
- Comparando-se uma mesma amostra, topo a base, verifica-se maior carbonatação no topo que na base, para ambas as amostras, como era de se esperar para um concreto dos anos 60.
- Admitindo-se que as operações de rescaldo não tenham afetado a microestrutura do concreto e, portanto, que não houve recarbonatação, pode se inferir que a temperatura ficou abaixo de 800ºC.
- Comparando-se uma mesma amostra, meio e base, verifica-se maiores perdas de massa ligadas aos aluminatos hidratados e hidróxido de cálcio no meio em relação à base, mas a presença residual desses compostos no meio e na base de ambas as amostras sugerem que temperatura nessas profundidades ficou abaixo de 400ºC, admitindo-se mais uma vez que as operações de rescaldo não tenham afetado a microestrutura do concreto.
- Ambas as amostras são similares quanto às consequências do incêndio, parecendo que em nível de detalhe, a amostra 214.425 foi submetida a uma temperatura ligeiramente mais alta.

São Paulo, 02 de agosto de 2018.

Geól. Ana Lívia Zeitune de P. Silveira
Supervisora de Mineralogia
CREA nº 5061047639

Geól. Arnaldo Forti Battagin
Chefe do Laboratório
CREA nº 0600586647

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

ANEXO E: *Relatório de ensaios elaborado pela CAIQ Serviços de Análises Metalográficas Ltda./ArcelorMittal.*

AIQ

Serviços de Analises Metalográficas Ltda.

ENGENHARIA REVERSA

Barras Laminadas de Aço para Concreto Armado

CAIQ – Serviços de Análises Metalográficas

Elaborado por: Ronald M. Nascimento

1 - Introdução:

Objetivo:

O presente relatório objetiva buscar conhecimento das principais característica físicas, químicas e estruturais das barras de aço coletadas no edifício Wilson Paes de Almeida, em São Paulo/SP.

Normas Aplicadas:

- ABNT NBR 7480 -1939 - "Barras de aço comum para concreto armado";
- ABNT NBR 7480- 2007 - "Barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado - especificação";
- ABNT NBR 6153 – "Produto metálico – ensaio de dobramento semiguiado – método de ensaio";
- ABNT NBR ISSO 6892 – "Materiais metálicos – ensaio de tração a temperatura ambiente".

2 – Metodologia:

- Foram encaminhadas à ArcelorMittal JF para execução de engenharia reversa cerca de 10 amostras de barras de aço de diversos diâmetros coletadas de peças de concreto armado (pilar e laje) dos escombros do edifício Wilton Paes de Almeida em São Paulo/SP e identificadas com etiqueta adesiva no topo, sendo os procedimentos descritos a seguir.

Amostras impregnadas de resíduos de concreto.

2.1) Preparação dos Corpos de Prova:

Limpeza com escova de aço.

Ident.Topo	Bitola (mm)	Descrição	Observação
1	22	Armadura longitudinal do pilar	Entalhado
2	22	Armadura longitudinal do pilar	Entalhado
3	20	Armadura longitudinal do pilar	Entalhado
4	20	Armadura longitudinal do pilar	Entalhado
5	16	Armadura longitudinal do pilar	Entalhado
6	16	Armadura longitudinal do pilar	Entalhado
7	10	Armadura transversal estribo externo	Barra lisa extremidade dobrada 90°
8	10	Armadura transversal estribo externo	Barra lisa extremidade dobrada 90°
9	10	Armadura transversal estribo externo	Barra lisa extremidade dobrada 90°
10	8	Armadura grampo	Barra lisa extremidade dobrada 90°

3 – Procedimentos:

1. Análise química em espectrômetro de emissão ótica (ARLW);
2. Ensaio de tração: Limite de escoamento, limite de resistência, relação elástica, alongamento % - ABNT NBR 6892;
3. Análise dimensional;
4. Ensaio de dobramento – ABNT NBR 7480;
5. Análise metalográfica com auxílio de microscópio ótico (aumento de 50 a 1000x);
    - Análises sem ataque;
    - Análises com ataque (reativo de Nital).

6. Comentários.

3.1) Composição Química (%):

Bitola (mm)	Amostra	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn	Mo	N	Ceq
22	1	0.29	0.91	0.41	0.029	0.051	0.02	0.01	0.02	0.10	0.01	0.0032	0.47
	2	0.28	0.91	0.41	0.028	0.049	0.02	0.01	0.02	0.10	0.01	0.0037	0.46
20	3	0.25	0.72	0.36	0.035	0.043	0.02	0.01	0.01	0.13	0.01	0.0048	0.39
	4	0.26	0.73	0.39	0.036	0.049	0.02	0.01	0.01	0.15	0.01	0.0048	0.40
16	5	0.26	0.66	0.36	0.014	0.049	0.03	0.01	0.02	0.17	0.01	0.0059	0.39
	6	0.26	0.66	0.38	0.013	0.052	0.03	0.01	0.02	0.17	0.01	0.0046	0.40
10	7	0.16	0.36	0.02	0.027	0.039	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0045	0.22
	8	0.11	0.48	0.33	0.026	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0059	0.21
	9	0.09	0.56	0.35	0.031	0.012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0061	0.20
8	10	0.12	0.45	0.11	**0.143**	**0.071**	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.0067	0.20
16 atual	sem tratamento	0.33	0.82	0.25	0.015	0.020	0.11	0.09	0.04	0.01	0.01	0.0069	0.51
20 atual	com tratamento	0.27	0.94	0.18	0.031	0.018	0.13	0.08	0.04	0.01	0.01	0.0070	0.46
NBR 8965/85		**0.38 máx.**	**1.56 máx.**	**0.55 máx.**	**0.058 máx.**	**0.058 máx.**	-						**0.59 máx.**

- **Todas as amostras são consideradas "soldáveis " à luz da norma ABNT NBR 8965/85 exceto a amostra 10, que apresenta valores de P e S acima do especificado;**
- **As amostras entalhadas nº 1 a 6 (bitolas > 16mm) apresentam composição química similar à praticada atualmente na AMJF na produção de vergalhões CA50 soldáveis;**
- **As amostras com bitolas menores ou iguais a 10mm apresentam composição similar à praticada atualmente na AMJF na produção de vergalhões CA25 (exceto a amostra 10 nos elementos P e S);**
- **Não existem elementos de liga como Nb e/ou V nas amostras analisadas.**

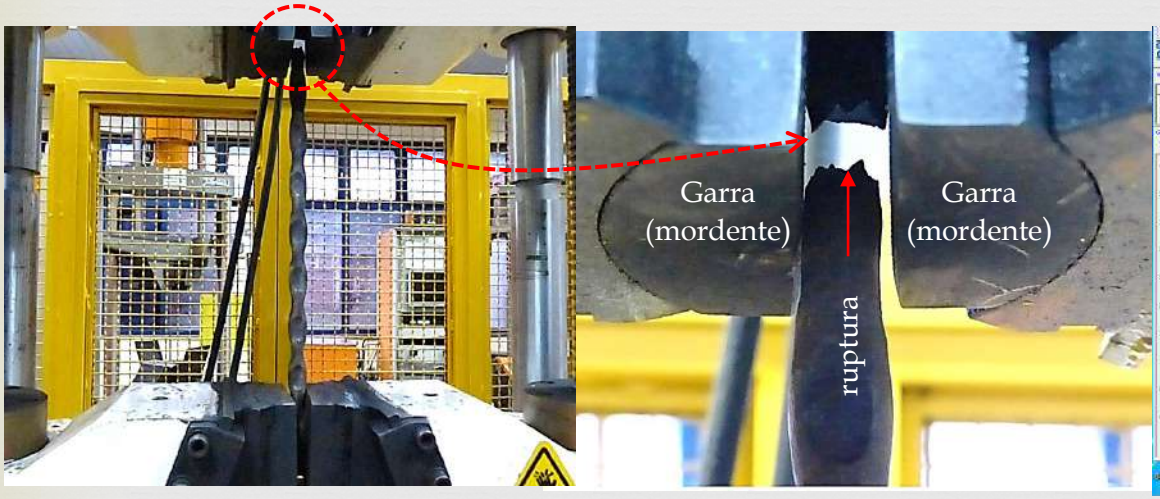
3.2) Ensaio de Tração:

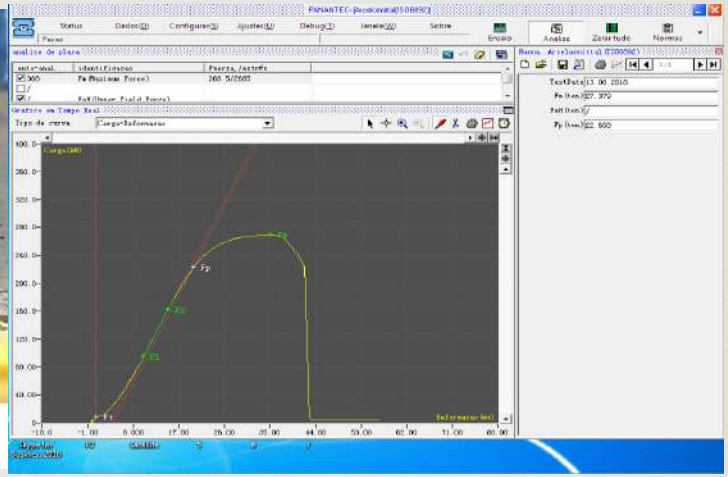
ENSAIO DE TRAÇÃO											
Barra	Diâmetro (mm)	Amostra	M.Linear (kg/m)	M.Linear (%)	CR (kgf)	LR (kgf/mm2)	CE (kgf)	LE (kgf/mm2)	LR/LE	Along. (%)	Ruptura
Entalhada	22,00	1	2.876	-4%	27379	75	22658	62	1.21	6.8	Dútil *
		2	2.929	-2%	28542	76	23831	64	1.20	5.5	Dútil *
Entalhada	20,00	3	2.160	-12%	19935	72	16968	62	1.17	3.0	Dútil *
		4	2.146	-13%	19640	72	16509	60	1.19	6.0	Dútil *
Entalhada	16,00	5	1.545	-2%	14439	73	11931	61	1.21	6.9	Dútil *
		6	1.532	-3%	14276	73	10789	55	1.32	6.3	Dútil *
Lisa	10,00	7	0.560	-9%	3498	49	2641	37	1.32	28.0	Dútil
		8	0.546	-11%	3248	47	2233	32	1.45	35.0	Dútil
		9	0.574	-7%	3564	49	2570	35	1.39	27.0	Dútil
Lisa	8,00	10	0.354	-10%	2468	55	1999	44	1.23	18.8	Dútil

- ✓ As amostras nº 1 a 6 (*) romperam na garra e seus valores de alongamento % devem ser desconsiderados;
- ✓ Em relação ao LE e LR as amostras nº 1 a 6 atendem à especificação de CA50 e as amostras nº 7 a 10 à especificação de CA25 da norma NBR 7480/07.

COMPARATIVO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS					
Barra	Diâmetro (mm)	Grau EB-3 1939 50-CA	Grau EB-3 1939 37-CA	Grau NBR 7480/07 CA50	Grau NBR 7480/07 CA25
Entalhada	22,00	Não Atende Al%	-	Não Atende Al%	-
		Não Atende Al%	-	Não Atende Al%	-
Entalhada	20,00	Não Atende ML e Al%	-	Não Atende ML e Al%	-
		Não Atende ML e Al%	-	Não Atende ML e Al%	-
Entalhada	16,00	Não Atende Al%	-	Não Atende Al%	-
		Não Atende Al%	-	Não Atende Al%	-
Lisa	10,00	Não Atende LR e ML	Não Atende ML	-	Não Atende ML
		Não Atende LR e ML	Não Atende ML	-	Não Atende ML
		Não Atende LR e ML	Não Atende ML	-	Não Atende ML
Lisa	8,00	Não Atende ML	Não Atende ML	-	Não Atende ML

3.2) Ensaio de Tração:





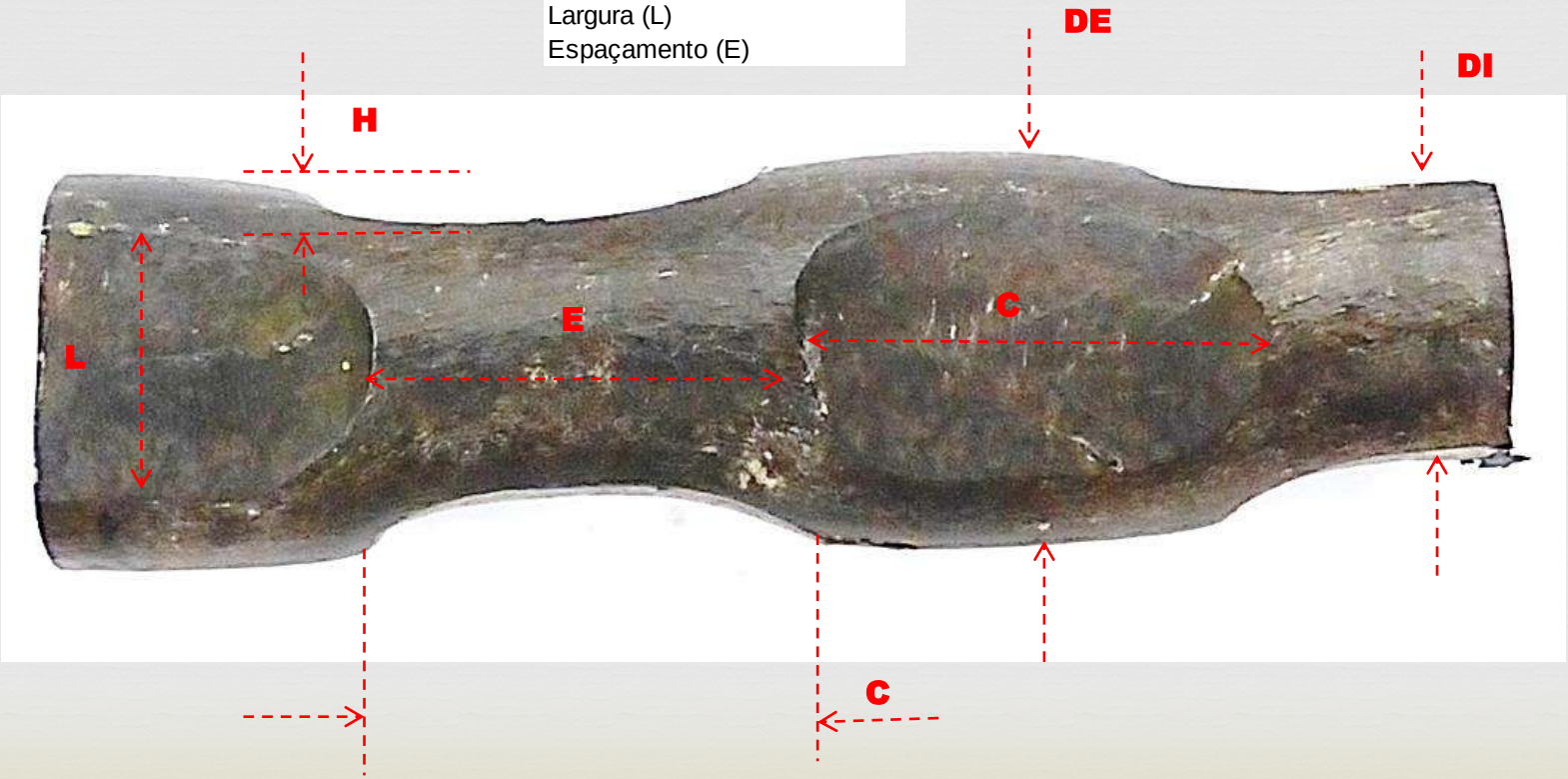
- ✓ As amostras nº 1 a 6 (*) romperam na garra ou muito próximo e tiveram seus valores de alongamento % desconsiderados.

- ✓ As amostras nº 7 a 9 apresentaram alongamento médio de 30%.
- ✓ A amostra 10 apresentou alongamento de 18,8%.

3.3) Análise Dimensional:

As amostras nº 1 a 6 apresentam deformações alternadas a 180º que estamos caracterizando neste relatório com o nome de "entalhes". As medições realizadas para sua caracterização são mostradas na tabela e a foto a seguir:

Diâmetro interno (DI)
Diâmetro externo (DE)
Profundidade (H)
Comprimento (C)
Largura (L)
Espaçamento (E)



3.3) Aspectos Dimensionais (mm):

Barras Entalhadas									
Bitola (mm)	Amostra	Diâmetro Externo (entalhe) DE		Diâmetro Interno (entalhe) DI		Profundidade Entalhe (H)		Entalhe (comprimento / largura) C / L	Espaçamento entre Entalhes E
		Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	A	B		
22	1	23.89	24.05	17.01	16.61	3.4	3.7	27,5 / 14,7	25,6
	2	25.01	24.91	16.92	16.96	4.0	4.0	27,2 / 15,2	25,3
20	3	20.92	21.56	14.62	14.02	3.2	3.8	25,2 / 13,1	27,8
	4	20.62	20.77	14.55	14.41	3.0	3.2	22,4 / 11,2	29,3
16	5	17.82	18.48	11.58	12.24	3.1	3.1	22,7 / 10,7	31,1
	6	18.47	18.21	12.2	12.13	3.1	3.0	21,3 / 10,3	30,7

Barras Lisas				
Bitola (mm)	Amostra	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Máximo	Ovalização
10	7	9.67	9.86	0.19
	8	8.96	9.83	0.87
	9	9.59	9.75	0.16
8	10	7.18	8.23	1.05

3.4) Ensaio de Dobramento (conforme ABNT NBR 6153):

Amostra	Bitola (mm)	Pinos Dobramento	
		EB-3 1939 2Ø	NBR 7480/07 3Ø
1 e 2	22	Quebra	Ok
3 e 4	20	Quebra	Ok
5 e 6	16	Quebra	Ok
7 a 9	10	Ok	Ok
10	8	Ok	Ok

Ø 16mm

Ø 20mm

Ø 22mm

Ø 10mm

Pino 2X Ø

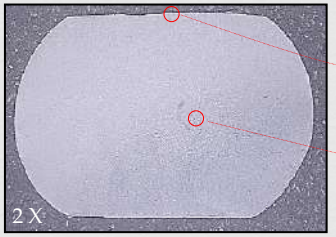
Pino 3XØ

Pino 2X Ø

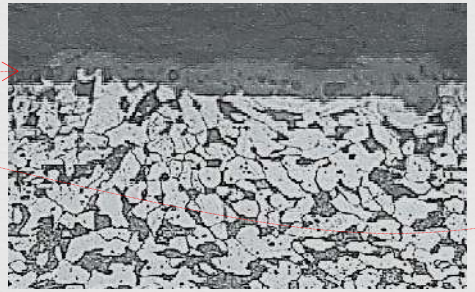
- As amostras nº 1 a 6 (barras entalhados) apresentaram quebras no dobramento em 2Ø e não atendem aos requisitos da norma EB-3 1939, porém não quebraram quando dobradas em 3Ø e assim atenderiam a norma NBR 7480/07 num critério mais rigoroso, visto que a norma pede dobramento em 6Ø;
- As amostras n° 7 a 10 (barras lisas) não apresentaram quebras e assim atendem aos requisitos da norma EB-3 1939.

3.5) Análise Metalográfica:

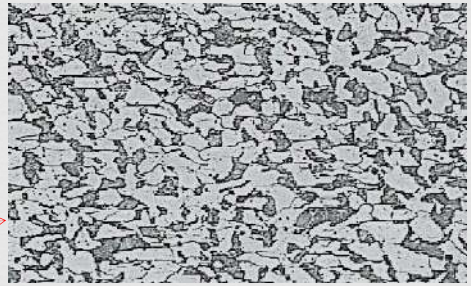
Barra de aço - Ø 22mm



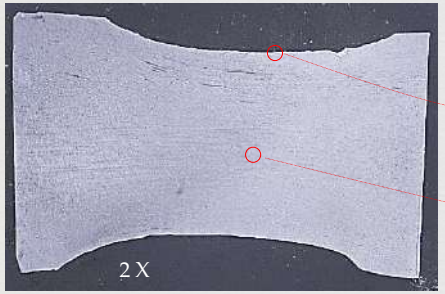
Seção transversal



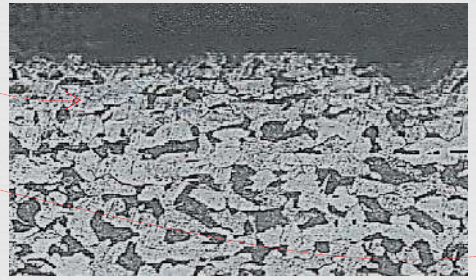
Superfície composta de grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio. Presença de óxido FeO (carepa). Ataque nital 2% e 200X de ampliação.



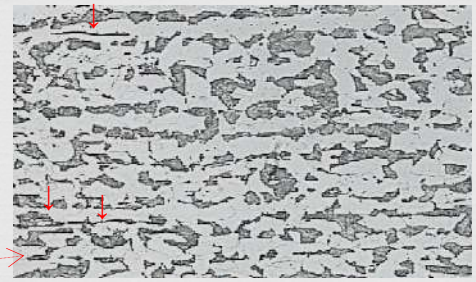
Estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, grãos irregulares tamanho 8 – 9 ASTM E112 200X de ampliação.



Seção longitudinal



Superfície composta de grãos regulares sem vestígios de deformação a frio.

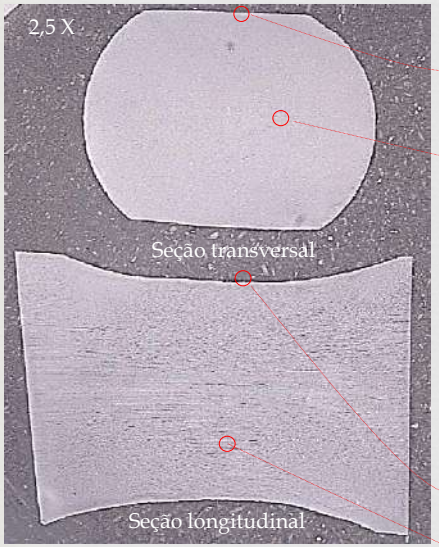


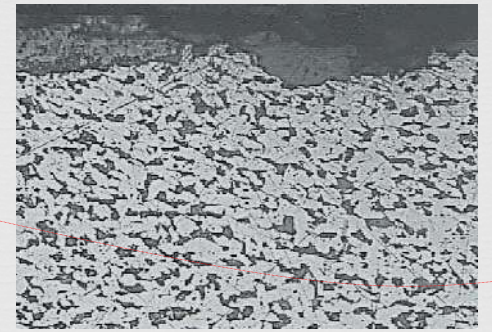
Textura levemente alinhada, faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines), observando-se inclusões de silicato (↓).

Detalhe da superfície ao fundo do entalhe, notando-se nitidamente grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio sinalizando que os entalhes foram realizados com as amostras em alta temperatura; ainda na superfície observa-se a presença de óxido (carepa).

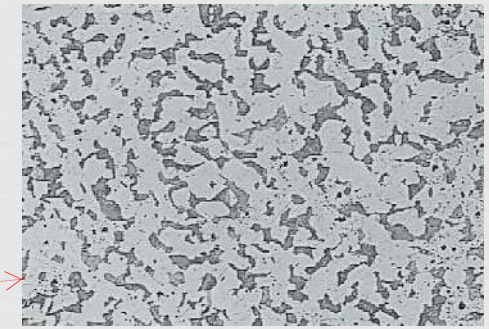
Por outro lado, pode-se notar que, a medida que deslocamos da superficie para o núcleo ocorre leve crescimento de grãos. Estrutura composta de perlita e ferrita de textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines). Seção transversal - Ataque nital 2% e 200X ampliação.

Barra de aço - Ø 20mm

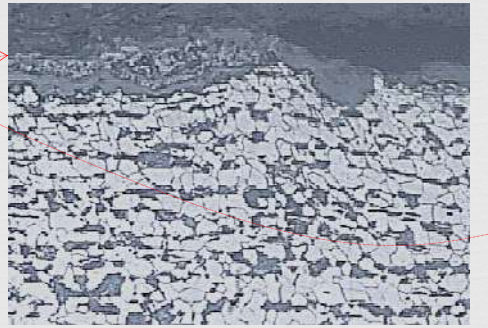




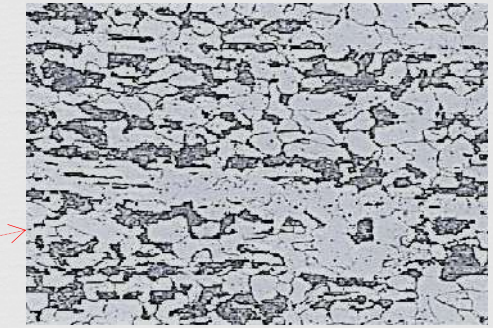
Superfície composta de grãos irregulares tamanho 9 – 10 ASTM E112, sem vestígios de deformação a frio.
Nota-se presença de óxidos FeO (carepa).
Ataque nital 2% e 200X de ampliação.



Estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, grãos irregulares tamanho 8 – 9 ASTM E112
200X de ampliação.



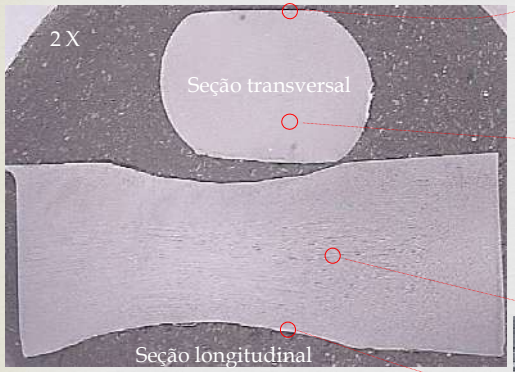
Superfície composta de grãos regulares tamanho 9 -10 ASTM E112 sem vestígios de deformação a frio.

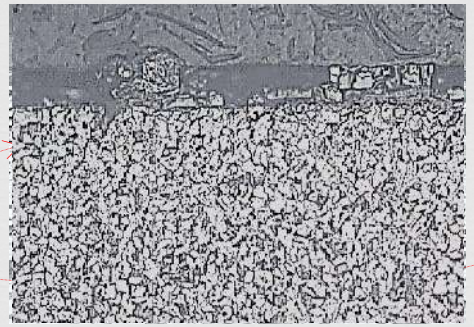


Textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).

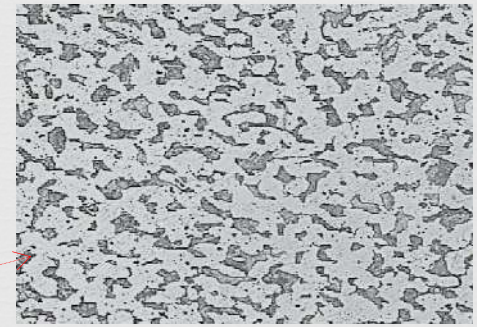
Detalhe da superfície ao fundo do entalhe com grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio, sinalizando que os entalhes foram realizados em alta temperatura; observa-se na superfície a presença de óxido (carepa).
Adicionalmente, nota-se que a medida que deslocamos da superfície para o núcleo ocorre leve crescimento de grãos.
Estrutura composta de perlita e ferrita de textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).
Seção transversal - Ataque nital 2% e 200X ampliação

Barra de aço - Ø 16mm

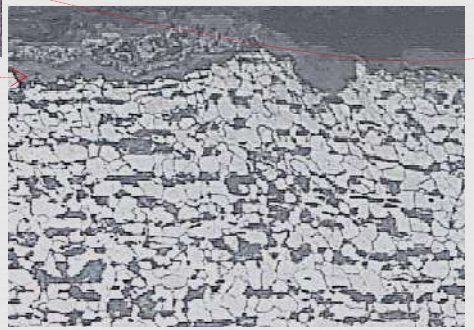




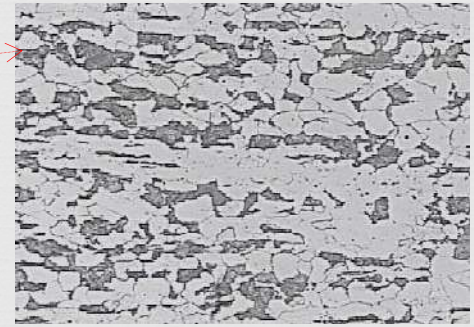
Superfície composta de grãos irregulares 9 – 10 ASTM E112, sem vestígios de deformação a frio.
Ataque nital 2% e 200X de ampliação.



Estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, grãos irregulares tamanho 10 ASTM E112.
Ataque nital 2% e 200X de ampliação.



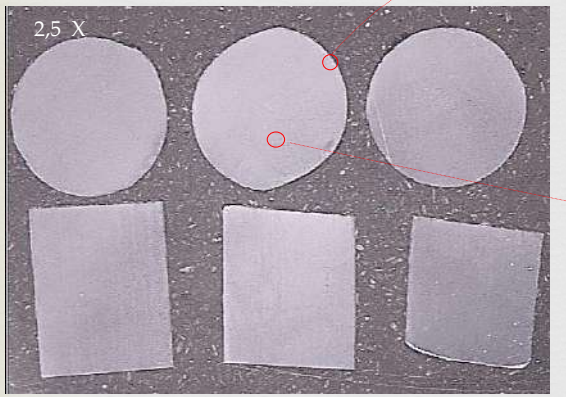
Superfície com grãos regulares tamanho 9 -10 ASTM E112, sem vestígios de deformação a frio.



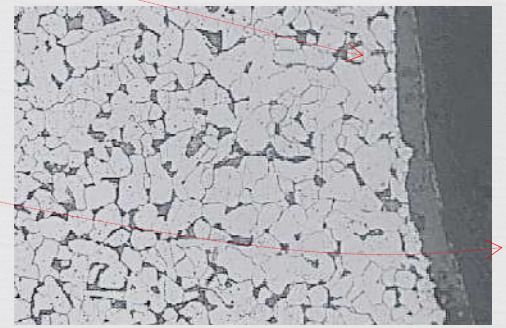
Textura alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).

Detalhe da superfície ao fundo do entalhe com grãos irregulares sem vestígios de deformação a frio, sinalizando que os entalhes foram realizados em alta temperatura ainda; observa-se na superfície a presença de óxido (carepa).
Adicionalmente, nota-se que a medida que deslocamos da superficie para o núcleo ocorre leve crescimento de grãos.
Estrutura composta de perlita e ferrita de textura levemente alinhada com faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines).
Seção transversal - Ataque nital 2% e 200X ampliação.

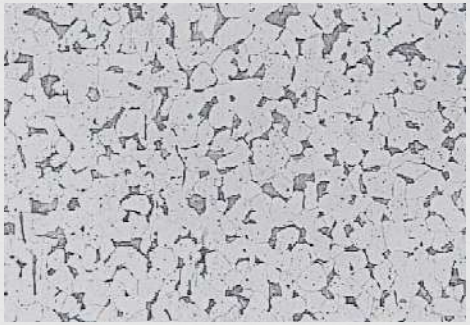
Barra de aço - Ø 10mm



Seção transversal e longitudinal



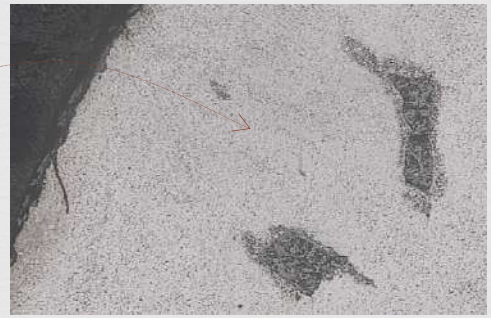
Superfície com estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, sem vestígios de deformação a frio.
Seção transversal com 200X de ampliação.



Núcleo com estrutura normalizada composta de perlita e ferrita, tamanho de grão 8 – 9 ASTM E112.
Seção transversal ataque nital 2% e 200X de ampliação.

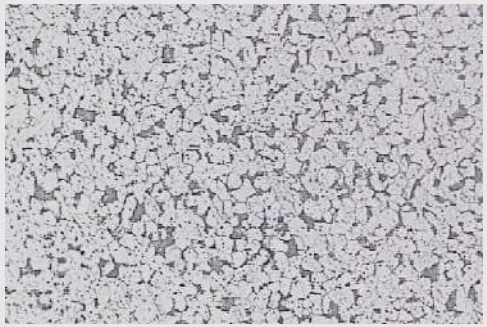
Barra de aço - Ø 8mm

Observa-se à vista desarmada macro-inclusões próximas à superficie.



Macro-inclusão exógena no detalhe.

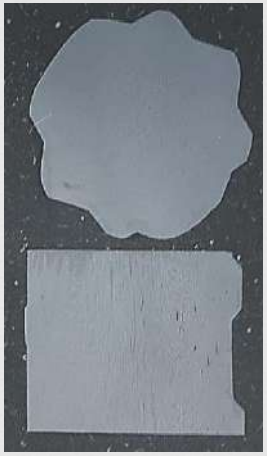
Superfície com estrutura normalizada de perlita e ferrita sem vestígios de deformação a frio.
Seção transversal com 200X de ampliação.

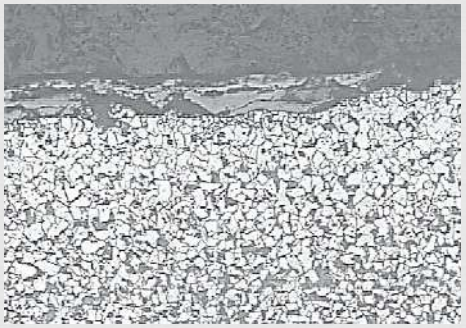


Núcleo com estrutura normalizada de perlita e ferrita, tamanho de grão 8 – 10 ASTM E112.
Seção transversal ataque nital 2% e 200X de ampliação.

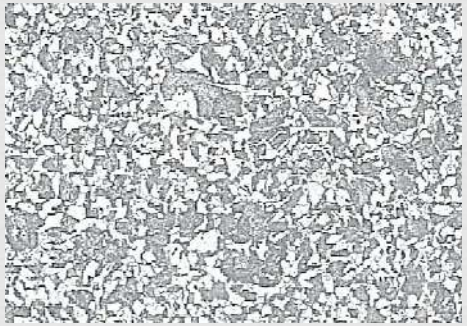
Vergalhão CA50 para concreto armado - NBR 7480/07:

✓ Vergalhão CA50S 16mm AMJF sem tratamento térmico



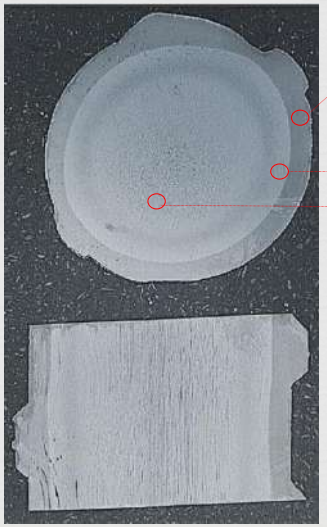


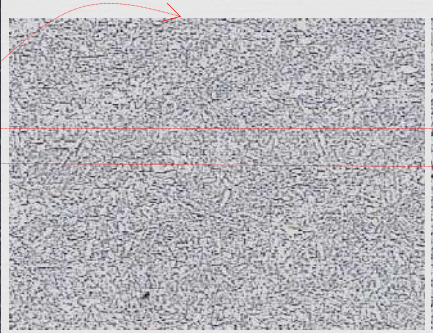
Superfície com estrutura de perlita e ferrita .
Seção transversal ataque nital 2% e 200X de ampliação.



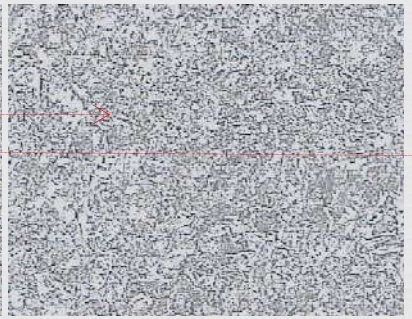
Núcleo com estrutura composta perlita e ferrita, tamanho de grão 8 – 9 ASTM E112.
Seção transversal ataque nital2% e 200X de ampliação.

✓ Vergalhão CA50S 20mm AMJF tratado termicamente

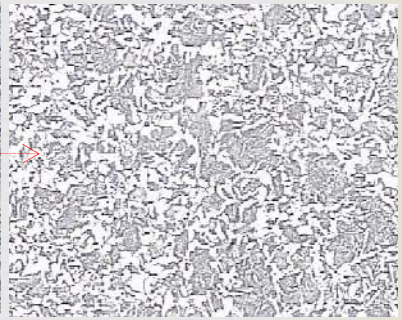




Superfície tratada termicamente com estrutura de martensita revenida.
Seção transversal ataque nital 2% e 200X de ampliação.



Superficie (ZTA) composta de perlita e ferrita esboroada.
Seção transversal ataque nital 2% e 200X de ampliação.



Superfície com estrutura composta de perlita e ferrita .
Seção transversal ataque nital 2% e 200X de ampliação.

3.6) Comentários:

- **Composição Química:**
  - Todas as amostras são consideradas "soldáveis " à luz da Norma ABNT NBR 8965/85 exceto a amostra 10, que apresenta valores de P e S acima do especificado;
  - As amostras entalhadas nº 1 a 6 (bitolas > 16mm) apresentam composição química similar à usada na AMJF atualmente para a produção de vergalhões da categoria CA50 da norma ABNT BR 7480/07;
  - As amostras nº 7 a 10 (bitolas <= 10mm) apresentam composição similar à usada na AMJF atualmente para a produção de vergalhões da categoria CA25 da norma ABNT BR 7480/07 (exceto a amostra 10 nos elementos P e S);
  - Não existem elementos de liga do tipo Nb e V nas amostras analisadas.

- **Ensaio de Tração:**
  - As amostras nº 1 a 6 romperam na garra e assim tiveram seus valores de alongamento (%) desconsiderados;
  - As amostras nº 1 a 6 atendem aos requisitos de LE e LR da categoria CA50 da norma ABNT NBR 7480/07;
  - As amostras nº 7 a 10 atendem aos requisitos de propriedades mecânicas da categoria CA25 da norma ABNT NBR 7480/07.
- **Análise Dimensional:**
  - Não há nenhuma similaridade entre as amostras conformadas (1 a 6) e a especificação atual de configuração geométrica da norma ABNT NBR 7480/07 que proporcionasse a possibilidade de comparação. Observa-se nestas amostras deformação mecânica feita a quente, caracterizada neste relatório por "entalhes".
- **Ensaio de Dobramento:**
  - As amostras nº 1 a 6 quebraram quando dobradas em pinos de 2Ø e assim não atendem aos requisitos da categoria 50-CA da norma ABNT EB-3 1393, mas atendem aos requisitos de dobramento da categoria CA50 da norma ABNT NBR 7480/07;
  - As amostras nº 7 a 10 atendem tanto aos requisitos de dobramento da categoria 37-CA da norma ABNT EB-3 1393 quanto da categoria CA25 da norma ABNT NBR 7480/07.
- **Análise Metalográfica:**
  - Não há vestígios de deformação a frio nas amostras analisadas, a presença de óxidos FeO (carepa) no fundo do entalhe sinaliza que estes foram produzidos em alta temperatura;
  - As altas temperaturas do incêndio no prédio vizinho não provocaram alteração na microestrutura do material;
  - As amostras apresentam microestrutura composta de perlita e ferrita, com textura levemente alinhada e faixas de ferrita ricas em fósforo (ghost-lines), com tamanho de grãos variando entre 8 a 10 ASTM E112 .