

Concreto Para Lançamento Subaquático

Graça, N. G., Guerra, E. A., Mendes, H. S., Nascimento, J. F. F. e Andrade, W. P.

Resumo-O lançamento de concreto submerso requer uma tecnologia especializada e merece um cuidadoso planejamento. Estudos de laboratório para simular o que pode acontecer quando se executa concretagens subaquáticas são escassos na literatura técnica e de difícil execução.

Este trabalho relata os estudos desenvolvidos em laboratório para simulações de concretagens submersas em grandes profundidades.

Estas pesquisas foram desenvolvidas inicialmente para atender os trabalhos de recuperação subaquáticas do concreto de segundo estágio das guias de comporta da Tomada d'Água da UHE Porto Colômbia, de Furnas Centrais Elétricas que atingiram profundidades de até 30 m.

Como o assunto tomou uma relevância muito grande, os estudos prosseguiram para que se pudesse avaliar o comportamento do concreto quando executado a grandes profundidades, simulando-se colunas d'água de até 90 m.

Palavras-chave—Concreto, Subaquático e Aditivos.

I. INTRODUÇÃO

O planejamento da concretagem para recuperação do concreto defeituoso das guias de comporta da UHE Porto Colômbia foi feito simultaneamente no Laboratório de Concreto do Centro Tecnológico de Furnas e na simulação de uma concretagem subaquática na UHE Funil, que consistiu de testes e ensaios para avaliação e aprovação do processo construtivo, visando minimizar possíveis dificuldades durante os trabalhos definitivos na UHE Porto Colômbia. Foi escolhida a UHE Funil por causa de sua proximidade com as sedes das empresas envolvidas: Empresa Brasileira de Obras (EMBRAOS) vencedora da licitação para executar os trabalhos e Furnas, proprietária da Usina.

As pesquisas de Laboratório evoluíram culminando em um equipamento que foi idealizado pelo engenheiro Walton Paçelli de Andrade e desenvolvido pelo técnico especializado Guilherme Leroy (in memorium), capaz de simular concretagens submersas a grandes profundidades.

Nas pesquisas desenvolvidas foram utilizados aditivos de concreto de última geração, notadamente aditivos anti-dispersantes, subaquáticos (antiwashout admixtures), superplastificantes e hiperplastificantes à base de policarboxilatos.

Outro importante aspecto estudado foi da aderência do concreto velho com o concreto subaquático na pressão hidrostática do trabalho de recuperação.

Este trabalho relata os estudos realizados complementando o trabalho já apresentado anteriormente na edição 43 do Congresso Brasileiro de Concreto, com o título “CONCRETAGEM SUBMERSA DE 2º ESTÁGIO DAS GUIAS DOS STOP-LOGS NA UHE PORTO COLÔMBIA (II-009)”, no ano de 2001.

Foi desenvolvido um programa de pesquisa que compões o Programa Anual de P&D de FURNAS sob gestão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O desenvolvimento da pesquisa compreendeu as seguintes etapas/objetivos:

- Desenvolver e implementar equipamento para simulação em laboratório, de concretagem a grandes profundidades;
- Definir tipos e teores aditivos antidispersantes mais apropriados, através de estudos de dosagens, com a finalidade de impedir a dispersão dos materiais finos e manter a fluidez e a coesão adequadas. Foi efetuado também um estudo amplo sobre o ponto de saturação dos aditivos hiperplastificantes e superplastificantes (O ponto de saturação é considerado aquele em que o aumento do teor não resulta em melhoria da característica ou propriedade pretendida, ou pode influenciar no desempenho de determinada propriedade);
- Definir dosagens de concretos adequadas para concretagens subaquáticas, visando à utilização em reparos de estruturas submersas de concreto de usinas hidrelétricas em operação;
- Avaliar a aderência entre o concreto novo (subaquático) e o concreto velho (substrato).

II. EQUIPAMENTOS

O desenvolvimento deste equipamento constou de duas fases distintas:

A. Fase 1 - Projeto Inicial :Fôrma Cilíndrica 1) Descrição

O primeiro protótipo do equipamento é esquematizado na Figura 1 e ilustrado na Fotografia 1, que consistia basicamente de duas campânulas cilíndricas interligadas por um pequeno tubo metálico provido de uma válvula de descarga rápida.

Este trabalho foi apoiado financeiramente pelo Programa Anual de P&D de FURNAS Centrais Elétrica S.A., sob gestão da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

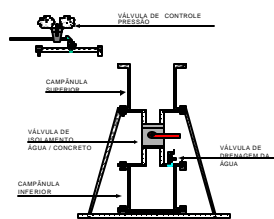


Figura 1- Desenho Esquemático Fotografia 1 – Equipamento

2) Procedimento Inicial de Moldagem – Fôrma Cilíndrica

A seqüência da Figura 2 mostra a simulação de uma concretagem subaquática com a colocação de água na câmpula inferior e o concreto fresco na câmpula superior. A câmpula superior era pressurizada com a pressão hidrostática equivalente à profundidade de recuperação, enquanto a câmara inferior era cheia com água sem pressão.

Na simulação da concretagem a válvula de descarga rápida era aberta e o concreto penetrava na câmara inferior expulsando a água através de um tubo colocado na tampa da câmpula inferior.

Este protótipo mostrou-se inadequado porque o concreto era introduzido na câmpula com água de forma abrupta, misturando-se com ela.

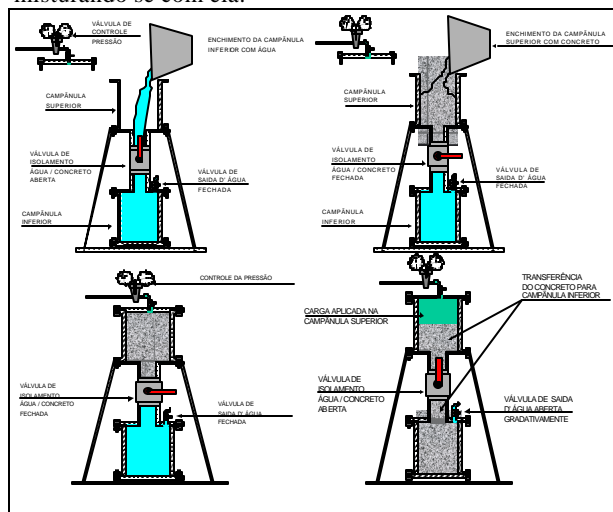


Figura 2 - Esquema de Concretagem Submersa Sob Pressão no Aparelho Simulador



Fotografia 2 – Aspecto do Concreto



Fotografia 3 – Colocação do Disco Metálico



Fotografia 4 - Conexão da Mangueira de Ar Comprimido na Câmpula Superior para Aplicação da Pressão.



Fotografia 5 - Expulsão da Água pelo Concreto

pâmpula Superior para Aplicação da Pressão.



Fotografia 6 - Verificação do Aspecto da Câmpula Inferior



Fotografia 7 - Extração dos Testemunhos do Concreto

B. Fase 2 - Projeto Final : Fôrma prismática

1) Descrição

O equipamento é composto de uma estrutura metálica com plataforma superior de trabalho. Nesta plataforma está localizada uma câmpula (1) para colocação do concreto fresco, e unida à câmpula inferior (2 - Fôrma Prismática) contendo água na mesma pressão da câmpula superior, através da tremonha (3). A Tremonha possui o trecho inferior em curva, para entrada do concreto na fôrma pela lateral, simulando guia de comporta, e uma válvula (4) para controle de passagem do concreto da câmpula superior para a fôrma prismática. O sistema de pressurização do conjunto é estabelecido por meio de dois cilindros (5), de água e nitrogênio.

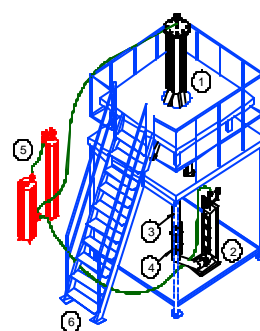


Figura 3 e Fotografia 8 – Desenho Esquemático e Fotografia do Aparelho Simulador

2) Procedimento de Moldagem - Forma Prismática

Foram realizadas simulações para determinar a eficiência da aderência do concreto aplicado a uma profundidade de 90 m.c.a. (metros de coluna de água) a um concreto existente (substrato). Estas investigações foram realizadas para verificar as dificuldades de aplicação de concretos em grandes profundidades e obter subsídios que garantam o sucesso de serviços dessa natureza, além de verificar a aderência entre os dois concretos.

Inicialmente o concreto submerso foi aplicado na câmara de pressão correspondente a 90 m.c.a. para preenchimento da segunda metade de um corpo-de-prova cilíndrico para verificação da aderência com o substrato. O conjunto foi mantido sob pressão (90 m.c.a.) até 5 dias e então desformado.

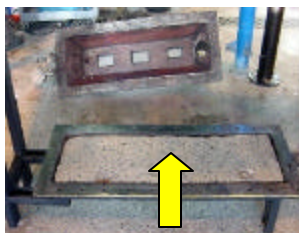
Posteriormente à simulação de concretagem em laboratório visando o estudo de aderência (a partir de corpos-de-prova cilíndricos serrados na seção vertical), verificou-se que o número de testemunhos não era satisfatório. Foi então, ide-

alizada uma nova fôrma, desta vez prismática (similar à utilizada na Obra de Porto Colômbia) de forma que se pudesse verificar o preenchimento da campânula através de visores transparentes e da obtenção de um maior número de testemunhos de concreto.

As etapas de preparação da fôrma prismática, simulação da concretagem e extração dos testemunhos são mostradas a seguir pelas fotografias 9 a 16.



Fotografia 9 - Vista dos Elementos que Compõem a Fôrma



Fotografia 10 - Placa de Concreto (Substrato)



Fotografia 11 - Colocação da Parte Superior da Fôrma



Fotografia 12 - Vedação da Fôrma com Substrato



Fotografia 13 - Enchimento da Fôrma com Concreto Sob Pressão 9 kgf/cm²



Fotografia 14 - Desforma com Clara Distinção entre os Concretos



Fotografia 15 - Extração dos Testemunhos



Fotografia 16 - Corpos-de-prova Preparados para os Ensaios

III. ESTUDOS COM CONCRETO

A. Estudo com Aditivos

Na Tabela 1 estão apresentados os estudos de dosagens com os aditivos objetivando determinar o seu ponto de saturação. O ponto de saturação é considerado aquele em que o aumento do teor não resulta em melhoria da característica ou propriedade pretendida, ou pode influenciar no desempenho de uma determinada propriedade.

TABELA 1 - GRUPOS DE VARIAÇÃO DOS ADITIVOS

Hiperplastificante	0%	0,50%	0,80%	1,20%	1,50%
Superplastificante	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5
0%	GR6	GR7	GR8	GR9	GR10
0,65%	GR11	GR12	GR13	GR14	GR15
1,10%	GR16	GR17	GR18	GR19	GR20

TABELA 2 - FLOW PARA DIFERENTES GRUPOS

Hiperplastificante	0%	0,5%	0,8%	1,2%	1,5%
Superplastificante	20,00	24,00	38,00	49,00	49,00
0%	20,00	44,00	49,00	55,00	58,50
0,65%	21,00	41,00	50,50	55,00	54,50
1,60%	38,00	50,50	59,50	58,00	59,00

TABELA 3 - AR INCORPORADO PARA OS DIFERENTES GRUPOS

Hiperplastificante	0%	0,50%	0,80%	1,20%	1,50%
Superplastificante	2,20	5,50	7,60	9,00	9,50
0%	2,50	8,50	8,00	8,50	9,00
0,65%	3,60	8,00	7,00	8,50	8,00
1,60%	12,00	8,00	8,00	7,60	8,50

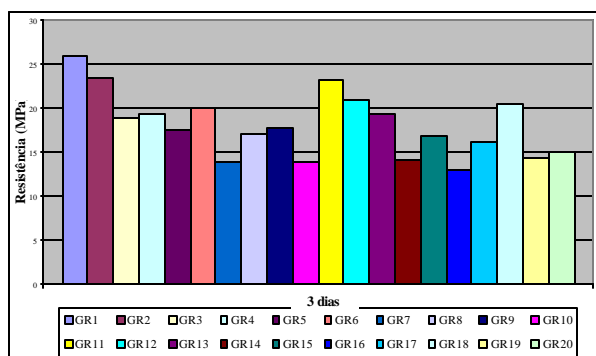


Figura 4 - Resistência aos 3 dias.

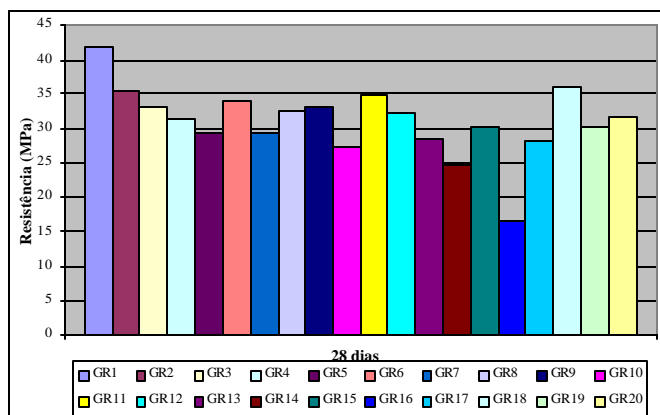


Figura 5 - Resistência aos 28 dias

As porcentagens dos aditivos hiperplastificantes a 0,8% e superplastificantes a 1,6% (grupo GR18) atenderam as premissas da pesquisa, (dosagem ótima) no que tange ao Flow, ar incorporado e resistências à compressão aos 3 e 28 dias.

Os estudos prosseguiram com o aditivo antidispersante nas porcentagens de 0,0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% e 1,0%. O ponto ótimo foi obtido com 0,4%.

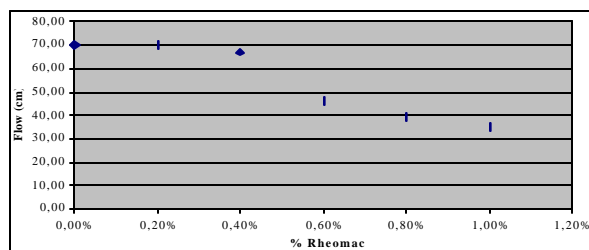


Figura 6 - Variação de % Antidispersante nas dosagens do GR18.

B. Dosagens estudadas

Foram realizados diversos estudos experimentais com o objetivo de simular o comportamento do concreto submerso a uma profundidade equivalente à pressão de 90 m.c.a. (9 kgf/cm²). Paralelamente foi também estudado o comportamento do concreto subaquático moldado sem pressão e em moldagem convencional (fora d'água), para fins comparativos de resistência a compressão. Foram investigados diferentes aditivos para a adequação às propriedades do concreto fresco, necessárias à aplicação subaquática. As pequenas variações obtidas nos dados de composição das dosagens são decorrentes das diferenças obtidas nos teores de ar incorporado e massa específica em cada moldagem.

1) Ensaios com o Concreto Fresco

Os ensaios efetuados com concreto fresco foram: Slump flow (método semelhante ao abatimento pelo cone, no qual é feita a medição do diâmetro, ao invés da altura, conforme mostrado nas fotografias 17 e 18, respectivamente); Abatimento no tronco de cone (NBR NM67/98); Teor de ar incorporado (ASTM C-231);

Estes ensaios tiveram como objetivo verificar a condição de melhor desempenho da dosagem no estado fresco para aplicação no equipamento de concretagem submersa.



Fotografia 17 - Slump Flow



Fotografia 18 - Abatimento do Concreto no Tronco de Cone

2) Dosagens de Concreto com Agregado de 9,5 mm

Nas Tabelas 4 e 5, estão apresentadas as dosagens de concreto estudadas. Utilizou-se o cimento CP II-F-32 e o agregado do tipo litológico granito, D_{máx} 9,5 mm, flow de 55 cm ± 5 cm.

TABELA 4
DOSAGENS ESTUDADAS

Dosagem E-	9747	9823	9831	9869
Traço em massa - 1:	2,50			
Dados de Composição	kg/m ³			
Cimento	493	490	494	485
Adição - Sílica Ativa	31	31	31	31

Dosagem E-	9747	9823	9831	9869
Dados de Composição	kg/m ³			
Cimento Equivalente	536	533	537	529
Água	238	236	238	234
Areia Natural	670	666	671	660
Brita 12,5 mm	670	666	671	660
Aditivo superplastificante A	4,30	4,26	4,29	4,22
Aditivo superplastificante B	8,60	8,52	8,59	8,45
Aditivo Antidispersante	2,10	2,13	2,15	2,11
Relação A/C	0,44	0,44	0,44	0,44
% argamassa s/ ar	41,44	41,17	41,46	40,81
% argamassa c/ ar	49,44	48,97	49,26	48,81
Módulo de Finura	3,98	3,98	3,98	3,98
% de areia em massa	50,0	50,0	50,0	50,0
% de areia em volume	27,5	27,5	27,5	27,5
Propriedades do Concreto Fresco				
Flow (cm)	59,5	56,0	58,0	60,0
Ar incorporado	8,0	7,8	7,8	8,0
Massa específica (kg/m ³)	2070	2084	2104	2060
Temperatura (°C)	25,5	28,5	26,5	27,6

TABELA 5
DOSAGENS ESTUDADAS

Dosagem E-	9894	9906	9961
Traço em massa - 1:	2,50		
Dados de Composição	kg/m ³		
Cimento	485	494	485
Adição - Sílica Ativa	30	31	30
Cimento Equivalente	528	537	528
Água	234	238	234
Areia Natural	660	671	660
Brita 12,5 mm	660	671	660
Aditivo superplastificante A	4,22	4,29	4,22
Aditivo superplastificante B	8,45	8,59	8,45
Aditivo Antidispersante	2,11	2,15	2,11
Relação A/C	0,44	0,44	0,44
% argamassa s/ ar	40,79	41,46	40,79
% argamassa c/ ar	48,79	49,26	48,79
Dados de Composição			
Módulo de Finura	3,98	3,98	3,98
% de areia em massa	50,0	50,0	50,0
% de areia em volume	27,5	27,5	27,5
Propriedades do Concreto Fresco			
Flow (cm)	55,0	58,0	55,0
Ar incorporado	8,0	7,8	8,0
Massa específica (kg/m ³)	2060	2104	2060
Temperatura (°C)	27,5	26,5	27,5

3) Concreto submerso moldado sob pressão em fôrma cilíndrica

Foi determinada a resistência à compressão nas primeiras idades do concreto submerso moldados sob pressão correspondente a 90 m.c.a. na câmara de simulação, através de corpos-de-prova de diâmetro 75 mm moldados por meio de tubos de PVC distribuídos dentro da câmara simuladora cilíndrica, conforme fotografias (19 a 22). A concretagem submersa foi realizada e os tubos foram preenchidos por concreto. Após 48 h os corpos-de-prova foram desformados, serrados com altura de 150 mm e submetidos ao ensaio de resistência à compressão.



Fotografia 19 - Disposição dos Tubos de PVC para Moldagem dos Corpos-de-prova de Concreto Sob Pressão



Fotografia 21 - Remoção dos Tubos de PVC da Campânula Sob Pressão de 9 kgf/cm²

Fotografia 20 - Aspecto dos Tubos Após a Concretagem Sob Pressão



Fotografia 22 - Aspecto dos Tubos Após o Corte nas Dimensões de 75 mm x 150 mm

4) Concreto Submerso Moldado Sem Pressão

Foram utilizadas fôrmas cilíndricas de dimensões de 100 mm x 200 mm, colocadas dentro de caixas com água (fotografia 23) e a concretagem submersa foi feita utilizando-se um funil e um tubo de PVC de 75 mm (fotografia 24). Os corpos-de-prova ficaram imersos em água e após 7 dias, foram desmoldados e transferidos para câmara úmida. Para efeito de comparação das resistências, foram moldados também corpos-de-prova fora d'água (moldagem convencional).



Fotografia 23 - Fôrmas de 100 mm x 200 mm Imersas no Tanque d'Água



Fotografia 24 - Colocação do Concreto Submerso nas Fôrmas (concreto sem pressão)

C. Estudos de Aderência e Resultados de Ensaios

O estudo de aderência do concreto subaquático ao concreto velho foi realizado a partir das extrações dos testemunhos extraídos das placas (campânula prismática) do concreto subaquático sob pressão de 9 kgf/cm², conforme mencionado no item 2.2 "Estudo da Aderência entre Camadas de Concretagem - Procedimento de Moldagem - Fôrma Prismática", tendo como objetivo, ensaios para avaliar o comportamento das juntas entre o concreto novo e o substrato.

1) Propriedades Analisadas

a) Estudo da Resistência ao Cisalhamento Direto

Nas fotografias 25 a 28 está apresentada a seqüência de montagem do corpo-de-prova, com junta de construção, da dosagem E-9747 para o ensaio de cisalhamento direto.



Fotografia 25 - Corpo-de-prova



Fotografia 26 - Envoltório da

com Junta de Construção



Fotografia 27 - Colocação do Anel de Isopor para Liberação da Junta

Parte Inferior do Corpo-de-prova com Pasta de Cimento



Foto 28 - Preenchimento da Parte Superior do Corpo-de-prova com Pasta de Cimento

Os ensaios foram realizados em prensa de bancada, com capacidade máxima de 5 t de carga normal e 10t de carga cisalhante. Para definição da envoltória de resistência foram ensaiados 03 (três) corpos-de-prova, aplicando-se diferentes tensões normais.

A identificação das amostras ensaiadas e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6 e ilustrada nas Fotografias 29 e 30.

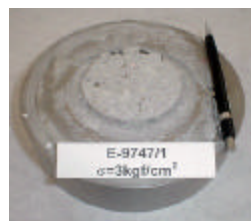
A curva das *envoltórias de resistência* para a amostra referente a dosagem E-9747 é apresentada na Figura 7. Os valores de coesão e ângulo de atrito, restritos aos níveis de tensões em que foram ensaiados, mostram valores com dispersão elevada para as dosagens E-9747 e E-9831, e valores discrepantes para a dosagem E-9869. O critério de ruptura utilizado foi o de Mohr-Coulomb.

TABELA 6
ENVOLTÓRIAS DE RESISTÊNCIAS DE PICO

Registro da Amostra	Tensão Normal (MPa)	Envoltória de resistência de pico*			
		Tensão Cisalhante (MPa)	Coesão (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coefficiente de Correlação
E-9747	0,3	1,06	0,77	40	0,9846
E-9747	0,9	1,41			
E-9747	1,8	2,28			
E-9831	0,3	0,36	0,17	28	0,9943
E-9831	0,9	0,60			
E-9831	1,8	1,15			

TABELA 7
ENVOLTÓRIAS DE RESISTÊNCIAS RESIDUAIS

Registro da Amostra	Tensão Normal (MPa)	Envoltória de resistência residual*			
		Tensão Cisalhante (MPa)	Coesão (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coefficiente de Correlação
E-9747	0,3	0,35	0,22	31	0,9865
E-9747	0,9	0,80			
E-9747	1,8	1,35			
E-9831	0,3	0,34	0,15	27	0,9904
E-9831	0,9	1,70			
E-9831	1,8	1,60			



Fotografias 29 e 30 - Detalhe da Junta - Parte Superior e Inferior após o ensaio - Dosagem E-9747

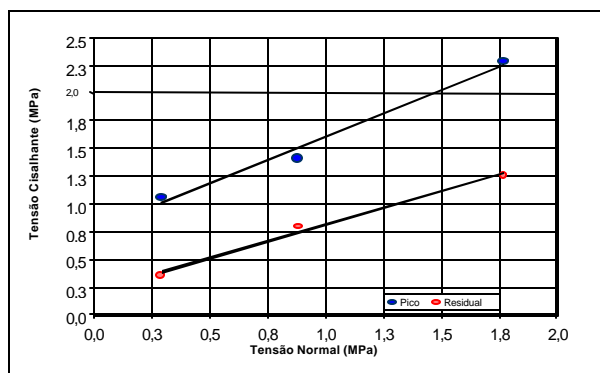
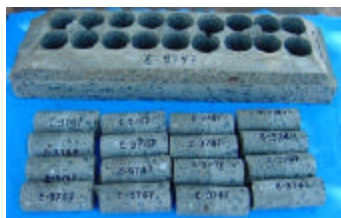


Figura 7 - Envoltória de Resistência - Dosagem E-9747

Determinação da Resistência à Tração Simples

Nas Fotografias 31 e 32, estão ilustrados e comentados os detalhes para a determinação da resistência à tração simples dos corpos-de-prova com junta (aderência concreto novo / velho - idade 120 dias), realizados no dispositivo Leroy (procedimento Furnas 01.007.015)



Fotografia 31 – Extração de Testemunhos - Superior (Concreto Subaquático) Inferior (Concreto Velho) - Idade 120 dias



Fotografia 32 - Detalhe da Ruptura Fora da Junta - Ruptura no Concreto Velho

Na Tabela 8, estão apresentados os resultados da resistência à tração simples dos testemunhos dos concretos extraídos das placas (forma prismática) do concreto subaquático sob pressão de 9kgf/cm² (concreto novo), do conjunto (aderência) concreto novo / velho e do concreto velho (substrato).

TABELA 8
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SIMPLES

Tipo de concreto	Dosagem	Idade (dia)	Resistência à Tração Simples Resistência Média (MPa)	Local de Ruptura
Concreto Subaquático (novo)	E-9747	33	1,68	---
	E-9831	34	1,68	
		7	2,04	
	E-9894	28	2,44	
		91	2,61	
Conjunto (Aderência) Concreto Novo/Velho - Junta		28	1,04	Fora da junta
	E-9747	91	1,08	Na junta
		365	1,02	Na junta
		28	2,80	Fora da junta
	E-9823	32	1,63	Na junta
		91	2,46	Fora da junta
		365	1,81	Fora da junta

Tipo de concreto	Dosa-	Idade	Resistência à Tração Simples	
			Resistência Média (MPa)	Local de Ruptura
	E-9831	28	1,22	---
		36	1,25	---
		365	0,64	Na junta
	E-9869	365	1,66	Fora da junta
	E-9906	47	1,25	---
	E-9961	28	0,65	---
Concreto Velho (Substrato)	---	120	0,63	---
		365	1,52	

C) Estudo da Resistência Triaxial e Uniaxial

1) Resistência à Compressão Uniaxial em Junta Horizontal

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados de resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas (forma prismática do estudo de aderência) do concreto subaquático sob pressão de 9 kgf/cm².

TABELA 9
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (NBR 5739/94)

Dosagem E-	9747	9823	9831	9869	9906
Traço em massa - 1:	2,50				
	7	20,0			
Resistência à Compressão (MPa)	28	27,0			
	33	31,6			
	63	32,4			
	365	32,8			

2) Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial com Junta Inclinada

Na figura 8 é mostrado o gráfico de avaliação do ângulo de atrito da junta através desta metodologia.

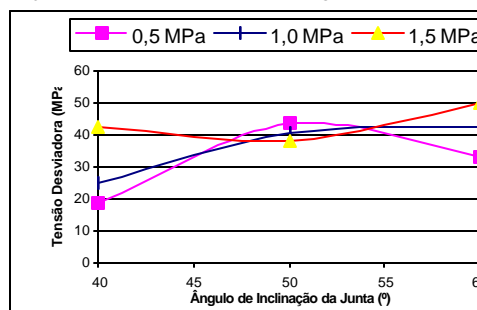
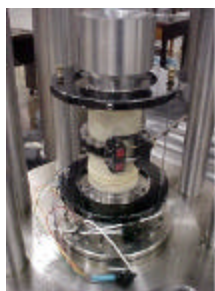


Figura 8 Gráfico de Avaliação do Ângulo de Atrito.

Nas Fotografias 33 e 34 está apresentada a seqüência de montagem do corpo-de-prova com junta da dosagem E-9990 para o ensaio uniaxial na prensa Servo-Controlada.



Fotografia 33 – Preparação para Ensaio Uniaxial



Foto 34 – Realização do Ensaio Uniaxial na Prensa Servo-controlada – Cap. de 500 t

Estes ensaios tiveram como objetivo avaliar o comportamento das juntas sob diferentes inclinações e para isto, os testemunhos foram extraídos com as juntas inclinadas a 40°, 50° e 60° em relação à normal.

Os ensaios foram realizados em prensa rígida, servo-controlada, com capacidade máxima de 500 t. O carregamento do ensaio, foi controlado automaticamente através da deformação radial do corpo-de-prova. Os deslocamentos axiais e radiais foram medidos através de LVDT's.

Foram determinados a resistência à compressão uniaxial, o módulo de elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson (ν). Os resultados são apresentados de forma resumida na Tabela 10. As curvas tensão x deformação são apresentadas na Figura 9, assim como uma foto do testemunho após o ensaio.

TABELA 10

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

Registro (n°)	Inclinação Junta	Relação h/φ	Ruptura		Módulo de Elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson
			Resistência à Compressão (MPa)	Deformação Axial ($\mu\epsilon$)		
E-9906	40	1,71	14,1	1342	10,5	0,28
E-9906	50	1,69	32,5	3449	16,9	0,18
E-9906	60	1,69	33,4	3749	14,1	0,16
E-9823	---	2,31	30,4	3000	15,0	0,11

3) Ensaio de Resistência Triaxial

Nos corpos-de-prova em que os ensaios foram realizados com orientação da junta a 40° em relação à aplicação da carga, a ruptura ocorreu pela junta, apresentando resistência ao cisalhamento significativa (coesão igual a 1,3 MPa e ângulo de atrito igual a 64°). Já os corpos-de-prova orientados a 60° apresentaram ruptura pela matriz de concreto e não pela junta, portanto com coesão elevada (igual a 4 MPa), representativa do concreto. Os resultados dos ensaios realizados com orientação a 50° foram dispersos, indicando uma situação intermediária entre as duas condições acima.

TABELA 11

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO TRIAXIAL

Orientação	Amostra	Tensão Confinante (MPa)	Tensão Desviador (MPa)
40°	E-9906	0,5	18,7
40°	E-9961	1,0	25,1
40°	E-9990	1,5	42,7
50°	E-9990	0,5	43,7
50°	E-9990	1,0	40,7
50°	E-9906	1,5	38,2
60°	E-9906	0,5	33,4
60°	E-9990	1,0	43,0
60°	E-9990	1,5	49,9

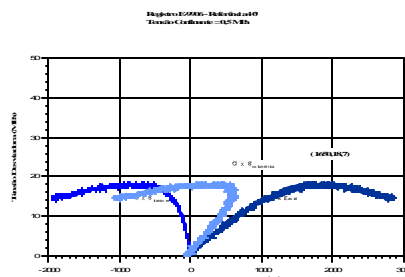
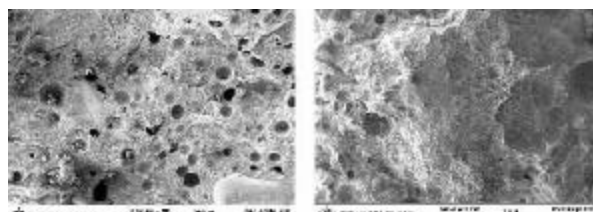


Figura 9 e Fotografia 35 Ensaio de Compressão Triaxial – Dosagem E-9906 – Inclinação da Junta 40°

IV. VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA MICROESTRUTURA DO CONCRETO

Foram analisadas frações do concreto subaquático pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV), a partir de amostras extraídas de corpos-de-prova moldados em cilindros de 10 cm x 20 cm sem aplicação de pressão e de corpos-de-prova extraídos de concretagens realizadas no aparelho simulador com aplicação de pressão de 9 kgf/cm². Observou-se uma melhora substancial no que concerne a vazios do concreto onde se aplicou a pressão, em relação ao concreto que não foi submetido à pressão, notando-se uma diminuição muito grande na dimensão das bolhas do ar incorporado, observado na Micrografia 1, garantindo uma sensível melhora de resistência do concreto e permeabilidade, fatores fundamentais para o concreto de reparo.



Micrografia 1 - Aspecto microscópico do concreto moldado sem pressão (à esquerda) e com pressão (à direita)

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Obteve-se o concreto que atendeu às premissas iniciais, ou seja, as dosagens atingiram os valores de resistência previstos de $f_{c28} = 25$ a 30 MPa com relação A/C = 0,44.

O uso de aditivos especiais, tais como hiperplastificantes e antidispersantes foi fundamental para o sucesso da pesquisa.

Foram realizadas intensivas simulações de concretagens com o equipamento durante a pesquisa, o que garantiu e respaldou tecnicamente o processo, utilizando para isto a melhor dosagem estudada, a qual foi baseada nos teores ótimos estudados para aditivos.

Foram feitas extrações do concreto subaquático (câmara prismática), tendo como parâmetro diferentes orientações de junta da placa de concreto com o concreto submerso lançado para que, com os dados dos ensaios triaxiais e uniaxiais, se obtivesse a coesão e o ângulo de atrito entre as juntas destes concretos de diferentes idades. Estes ensaios juntamente com os ensaios de tração simples mostram que a aderência entre os dois concretos pode ser garantida quando adequadamente aplicado. Já o ensaio de cisalhamento apresenta uma maior variação.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Furnas pelo patrocínio da pesquisa, ao engenheiro Sérgio Veiga Fleury, responsável pelos ensaios de cisalhamento e resistência à compressão uniaxial e triaxial, à engenheira Anne Neiry de Mendonça Lopes pelas contribuições à coordenação do projeto, e ao técnico Cláudio Luiz de Carvalho, responsável pela montagem e operação do equipamento.

Livros:

- [1] Equipe de Furnas, Pacelli de Andrade, Walton, Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo: Ensaios e Propriedades, Ed. Pini, São Paulo-SP, 1997.
- [2] Metha, P. K., Monteiro, P. J. M., Concreto : estrutura, propriedades e materiais, Ed. Pini, São Paulo-SP, 1994.

Relatórios Técnicos:

- [3] Pacelli de Andrade, W., “Inspeção subaquática – UHE de Porto Colômbia”, Fronteira, Furnas, Relatório Técnico. DCT.T 10.053.99-RO, Goiânia-GO, 1999.
- [4] Pacelli de Andrade, W., “Extração de testemunhos no bloco de transição e pilares do vertedouro – UHE de Porto Colômbia”, Fronteira, Furnas, Relatório Técnico. DCT.T 10.063.99-RO, Goiânia-GO, 1999.
- [5] Pacelli de Andrade, W., “Recuperação subaquática das guias dos stop-logs da tomada d’água nas unidades geradoras 1 e 2 – UHE de Porto Colômbia”, Fronteira, Furnas, Relatório Técnico. DCT.T 10.037.2000-RO, Goiânia-GO, 2000.
- [6] Pacelli de Andrade, W., “Estudo do concreto submerso – UHE de Porto Colômbia”, Fronteira, Furnas, Relatório Técnico. DCT.T 1.071.2000-RO, Goiânia-GO, 2000.
- [7] Pacelli de Andrade, W., “Concreto submerso utilizado nas guias dos stop-logs da tomada d’água – UHE de Porto Colômbia”, Furnas, Relatório Técnico. DCT.T 1.150.2000-RO, Goiânia-GO, 2000.
- [8] Pacelli de Andrade, W., “Controle e exudação do muro em concreto submerso – UHE Mascarenhas de Moraes”, Furnas, Relatório Técnico. DCT.T 1.104.2001-RO, Goiânia-GO, 2001
- [9] Salles, F. M., “Barra Bonita – Aplicações do concreto submerso da tomada d’água da UG 3”, CESP, Relatório Técnico. LEC-084/96, Ilha Solteira-SP, 1996.

- [10] Cestari, W. A., “UHE de Porto Colômbia – Inspeção subaquática em dezembro de 1996”, CESP, Relatório Técnico. LEC-085/96, Ilha Solteira-SP, 1996.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [11] Pacelli de Andrade, W., Fernandes, M. F. A., “Concretagens submersas no terminal portuário de Sergipe: problemas e soluções”, Instituto Brasileiro do Concreto, Reunião do IBRACON, 32, v1, p. 99-114, Fortaleza-CE, 1990.
- [12] Bauer, R. J. F., Takashima, S., Levy, I., Reinald, E., “Concreto submerso de alto desempenho”, Instituto Brasileiro do Concreto, Reunião do IBRACON, 39, v2, p. 679-685, São Paulo-SP, 1997.
- [13] Farage do Nascimento, J. F., Miachon Filho, G., Pacelli de Andrade, W., de Andrade, C. e Mattos, C., “Concretagem Submersa de 2º Estágio das Guias dos Stop-Loga na UHE Porto Colômbia”, 43º Congresso Brasileiro do Concreto, II-009, Foz do Iguaçu-PR, 2001.
- [14] Khayat, K. H. Effects of Antiwashout Admixtures on Properties of Hardened Concretes, ACI Materials Journal, V. 93, Mar/Apr 1996, p. 134 – 146.
- [15] Khayat, K. H. & Gaudreault M.. Underwater Repair of the St. Lambert Lock. Magazine Concrete International, Mar. 1997, p. 36 – 40.
- [16] Khayat, K. H. Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties, ACI Materials Journal, V. 92, Mar/Apr 1995, p. 164 – 171.
- [17] Khayat, K. H. et al. Self-leveling and Stiff Consolidated Concretes for Casting High-performance Flat Slabs in Water. Magazine Concrete International, Aug 1993, p. 36– 43.
- [18] Murray, M. A. et al. Guide to Underwater Repair of Concrete, Reported by ACI Committee 546, American Concrete Institute, September, 1998. 24p.
- [19] Riquelme, B. P. Aditivos Antiwashout para hormigonado Bajo Agua. In: X Jornadas Chilenas del Hormigón, Santiago, 1994.