

CONCRETO

& Construções

Ano XXXIX | # 63
Jul. • Ago. • Set. | 2011
ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



IBRACON

Instituto Brasileiro do Concreto

■ PERSONALIDADE ENTREVISTADA



Prof. José Marques Filho:
presidente do IBRACON

■ PESQUISA & DESENVOLVIMENTO



Ensaio Não Destrutivo

■ ACONTECE NAS REGIONAIS



Veja a programação do evento

**Tecnologia do concreto
no projeto e construção
de usinas hidrelétricas
brasileiras.**

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

ADITIVOS



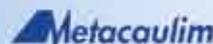
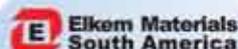
EQUIPAMENTOS



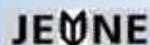
Equipamentos e Sistemas de Ensaio



ADIÇÕES



JUNTAS



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



ARMADURA



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da Arquitetura e Engenharia do Brasil !

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



CONSTRUTORAS



FÓRMAS



CIMENTO



AGREGADOS



GOVERNO



CONCRETO



15 Tecnologia do concreto

A tecnologia do concreto nas fases de projeto de UHEs

26 Obras emblemáticas

Os detalhes de projeto e de execução da UHE Jirau



31 Grandes Obras

Grandes Profissionais

As grandes barragens brasileiras e seus profissionais

48 Obras emblemáticas

Os detalhes de projeto e de execução do Complexo Hidrelétrico Belo Monte



57 Normalização técnica

Propostas de textos-base do projeto de norma técnica brasileira para o controle tecnológico do CCR

67 Projeto estrutural

Primeira parte do artigo sobre a engenharia de estruturas no projeto de barragens de concreto

77 Solucionando problemas

Deterioração de barragens e descrição de um sistema de proteção e reabilitação



88 Pesquisa & Desenvolvimento

Ensaio não destrutivo normalizados e não normalizados no país

97 Melhores práticas

O sistema de gestão da qualidade na UHE Santo Antônio



III Pesquisa Aplicada

Avaliação do CCR enriquecido em barragens



Créditos Capa:

Foto-montagem a partir de fotos de usinas hidrelétricas brasileiras - Ellemento-Arte

SEÇÕES

- 5 Editorial
- 6 Converse com IBRACON
- 8 Personalidade Entrevistada: *José Marques Filho*
- 24 Mantenedor
- 44 Mercado Nacional
- 65 Ensino de Engenharia
- 86 Entidades Parceiras
- 106 Acontece nas Regionais
- 119 Concreto Notícias



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO
Fundado em 1972
Declarado de Utilidade Pública Estadual | Lei 2538 de 11/11/1980
Declarado de Utilidade Pública Federal | Decreto 86871 de 25/01/1982

Diretor Presidente
José Marques Filho

Diretor 1º Vice-Presidente
(em aberto)

Diretor 2º Vice-Presidente
Túlio Nogueira Bittencourt

Diretor 1º Secretário
Nelson Covas

Diretor 2º Secretário
Sonia Regina Freitas

Diretor 1º Tesoureiro
Claudio Sbrighi Neto

Diretor 2º Tesoureiro
Carlos José Massucato

Diretor Técnico
Carlos de Oliveira Campos

Diretor de Eventos
Luiz Prado Vieira Júnior

Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento
Ângela Masuero

Diretor de Publicações e Divulgação Técnica
Inês Laranjeiras da Silva Battagin

Diretor de Marketing
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Diretor de Relações Institucionais
Mário William Esper

Diretor de Cursos
Flávio Moreira Salles

Diretor de Certificação de Mão de obra
Júlio Timerman



Revista Oficial do IBRACON
Revista de caráter científico, tecnológico e informativo para o setor produtivo da construção civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto

ISSN 1809-7197
Tiragem desta edição: 5.000 exemplares
Publicação Trimestral
Distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL
Fábio Luis Pedroso - MTB 41728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO
Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
Gill Pereira (Ellemento-Arte)
gill@ellemento-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO
office@ibracon.org.br

Gráfica: Ipsis Gráfica e Editora
Preço: R\$ 12,00



As idéias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

Copyright 2011 IBRACON. Todos os direitos de reprodução reservados. Esta revista e suas partes não podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos autores e editores.

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL
Túlio Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil

COMITÊ EDITORIAL
Ana E.P.G.A. Jacintho, PUC-Campinas, Brasil
Ângela Masuero, UFRGS, Brasil
Hugo Rodrigues, ABCP, Brasil
Inês Battagin, ABNT, Brasil
Íria Lícia Oliva Doniak, ABCIC, Brasil
José Luiz A. de Oliveira e Sousa, UNICAMP, Brasil
José Marques Filho, IBRACON, Brasil
Luís Carlos Pinto da Silva Filho, UFRGS, Brasil
Maryangela Geimba de Lima, ITA, Brasil
Paulo Helene, PCC-EPUSP, Brasil

IBRACON
Rua Julieta Espírito Santo Pinheiro, 68 - CEP 05542-120 - Jardim Olímpia - São Paulo - SP
Tel. (11) 3735-0202

editorial

Pesquisas e inovações para a construção sustentável

Esta é a “bandeira” do 53º Congresso Brasileiro do Concreto (53ºCBC), o maior fórum técnico anual de debates sobre concreto da América Latina, a ser realizado em Florianópolis, de 1 a 4 de novembro.

Não poderia existir lugar melhor que Florianópolis, a Ilha da Magia, como também é conhecida, para a realização do 53º CBC. Com uma parte situada no continente e outra parte, na ilha de Santa Catarina, Florianópolis é famosa por suas praias maravilhosas, pelos fortes, igrejas e monumentos coloniais, pela Lagoa da Conceição e suas dunas, pelo surfe, pela farta culinária a base de frutos do mar, pelos trabalhos de artesanato, como a renda de bilro, e, em especial, por seus habitantes alegres e receptivos.

Este ano, como recompensa pelo trabalho constante envolvido na realização do 53º CBC, as Diretorias Regional e de Eventos foram especialmente felizes quanto às programações da cerimônia e do coquetel de abertura da Feibracon e do jantar de encerramento, que, indiscutivelmente, já são considerados “marcos” do CBC.

Além das tradicionais sessões plenárias e “pôsteres”, dos cursos Master PEC e dos concorridos (e divertidos) concursos estudantis, serão levados a cabo seis eventos paralelos: a 2nd International Conference on Concrete Pavements, o Simpósio Internacional RILEM-IBRACON, o Workshop “Boas Práticas para Projetos de Edifícios Altos”, o Seminário de Grandes Construções, o Simpósio sobre Infraestrutura Metroviária e Rodoviária e o já tradicional Seminário “Sustentabilidade”.

Estão confirmadas, também, as participações e apresentações técnicas de diversos expoentes da engenharia internacional, destacando-se, dentre eles: Rui Calçada, da Universidade do Porto; Dan Frangopol, da Lehigh University; William Prince-Agbodjian, do INSA de Rennes; Kenneth Hoover, presidente do



ACI; e Peter Richner e Carmen Andrade, do RILEM, Suíça. As apresentações destes especialistas ocorrerão nas “Palestras Magnas”, realizadas das 9:00 às 11:00, diariamente. Vale lembrar que diversos outros especialistas de renome, tanto brasileiros quanto estrangeiros, participarão dos eventos paralelos.

O que esperar deste 53º CBC? Levando em conta a quantidade de resumos recebidos (quase mil) e o de trabalhos apresentados (592, pelo menos, 20% a mais que em 2010), no-

vamente serão batidos os recordes de participação de profissionais e estudantes. O CBC foi responsável por grande parte da evolução dos temas relacionados a Concreto, ao longo dos últimos trinta e nove anos, contribuindo, de maneira significativa no desenvolvimento tecno-científico do Brasil. O constante crescimento, a cada edição, do número de congressistas e, mais ainda, daqueles que visitam a FEIBRACON comprova tal assertiva. A frequência de engenheiros e professores estrangeiros cresce ainda em maior proporção, sinal do interesse que o CBC desperta no Exterior.

A FEIBRACON também está em crescimento acelerado e, a cada ano, aumenta a adesão de firmas e entidades que apóiam o IBRACON, como patrocinadores e expositores.

Este ano em Florianópolis, está sendo prevista a participação de mais de mil e duzentos congressistas e, pelo menos, mais de dois mil e quinhentos visitantes da Feibracon, em busca de aperfeiçoamento profissional, de novos conhecimentos técnicos, das últimas novidades do mercado da construção civil, de diversão (por que não?), das atividades estudantis e sociais, mas, em especial, da alegria do reencontro com velhos amigos e da certeza de novas amizades.

LUIZ PRADO VIEIRA JÚNIOR
DIRETOR DE EVENTOS - IBRACON

Converse com o IBRACON

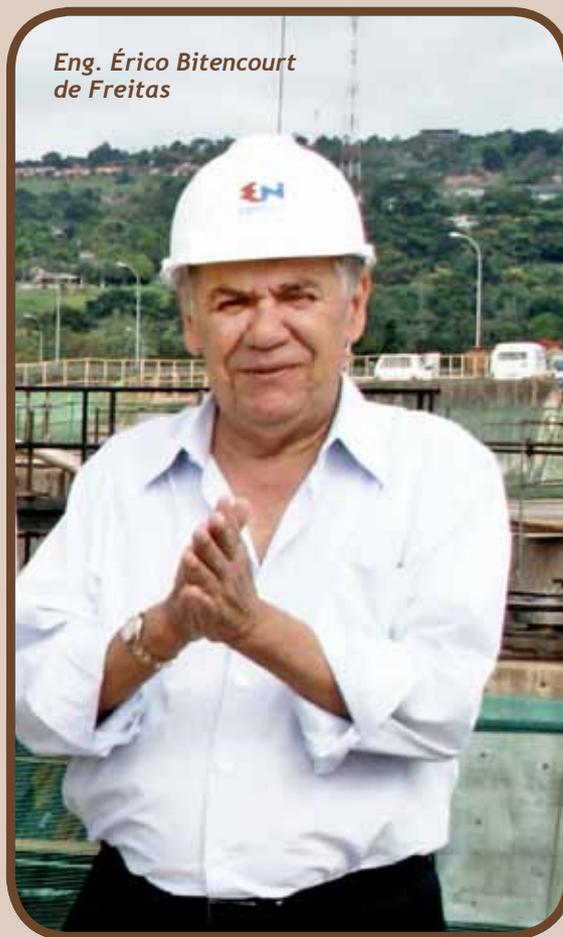
O grande Érico!

Sobre a mesa, um alentado relatório em formulário contínuo, com várias colunas de números e indicadores. O indefectível copo d'água e a xícara de café compunham a decoração. Enquanto a mão direita folheava com incrível rapidez o relatório, a mão esquerda segurava uma das hastes dos óculos. A outra haste passeava entre o canto da boca e figuras geométricas traçadas virtualmente no ar, ora apontando para o casual interlocutor, ora ressaltando enfaticamente algum ponto de vista. Sim, porque ao mesmo tempo em que escrutinava o relatório, ele discorria sobre assuntos e enunciava decisões, muitas vezes independentes do que estava analisando. Em dado instante, a haste apontava, em meio àquelas dezenas de milhares de números, o objeto da sentença, invariavelmente acertada, fulminante, inapelável: "Esse número está errado".

Incontestável, como sempre se comprovaria depois. Inacreditável, porque ao vê-lo folhear o volume, de maneira ligeira, dir-se-ia superficial, poucos imaginariam que o módulo "detecção de erros" estivesse ativado, sempre num elevado grau de percuciência, trabalhando "multi-task", com percepção integral e sintonia fina.

Nele, a alta capacidade profissional, a visão técnica apurada, a capacidade de identificar oportunidades, de viabilizar soluções, aliavam-se a um coração generoso, uma mente aberta, necessitando por vezes da blindagem de uma aparente intransigência no gerenciamento sempre bem sucedido de recursos e de pessoas. Tinha um sentido de equipe incomparável. Sabia identificar e estimular o melhor do potencial de todos, e respaldava

*Eng. Érico Bitencourt
de Freitas*



com ardor as ações de seus colaboradores, jamais deixando de reconhecer os méritos de cada um e de defendê-los em situações controversas - aí, sim, com real intransigência, como muitos de seus amigos podem atestar - em qualquer ambiente ou foro de decisão.

A integridade era sua marca e a qualidade pessoal que mais gostava de ter reconhecida. Foi, de fato, um homem de princípios, numa época em que escasseiam a firmeza das convicções e a retidão de atitudes. E foi com estes predicados que ele comandou com incomparável competência a implantação das usinas hidrelétricas de Tucuruí, Samuel e Balbina.

Érico fará muita, muita falta, no cenário do empresariado e da engenharia nacionais, e sua ausência será sempre profundamente sentida pelos amigos e colaboradores.

Eduardo Albuquerque Barbosa

Amigo do Engenheiro Érico Bitencourt de Freitas, recém-falecido.

Homenagem dos colegas e amigos da Eletronorte.

Em memória a

João Gaspar Djanikian

O Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON solidariza-se com a dor e o pesar dos parentes e amigos de João Gaspar Djanikian, falecido no último dia 24 de junho. Seu corpo, velado no Velório do Araçá, foi levado ao Cemitério de Vila Alpina, no dia 25. Pela tradição armênia, a missa em memória a João Gaspar Djanikian foi realizada após o 40º dia do seu falecimento.

João Gaspar Djanikian foi um dos fundadores do IBRACON, em 1972, tendo participado ativamente de suas atividades, como diretor e conselheiro até 1999. Em reconhecimento aos serviços prestados ao Instituto, recebeu, em 1981, o Prêmio Gilberto Molinari.

Formado em Engenharia Civil, em 1963, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Djanikian trilhou uma carreira profissional de enorme sucesso, tendo contribuído com inovações no campo da produção e controle de cimentos especiais, de concretos e de pré-moldados de concreto. Pertenceu aos quadros da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), entre 1964 e 1967, como engenheiro de promoções técnicas de sua Regional Sul. Na Transmix Engenharia, foi responsável pela produção e controle de 400 mil metros cúbicos de concreto. Na Serrana S/A de Mineração, atuou como chefe de assistência técnica, consultor técnico e gerente de qualidade entre os anos de 1972 e 1995. Finalmente, foi diretor-sócio da 3D Engenharia e Construções, desde sua fundação em 1995.

“O Gaspar não só entendia do concreto como material de construção, mas sempre estava atento a todos os aspectos da tecnologia de produção e do desempenho das estruturas”, recorda sua colega no Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, Profa. Silvia Selmo, onde o Prof. Gaspar foi professor assistente, desde 1975, ministrando as disciplinas “Materiais de Construção Civil” e “Tecnologia de Concreto para Meios Agressivos”.

Autor de vários trabalhos publicados em congressos nacionais e internacionais, professor dedicado e “profissional competente e amigo, que lembrava apenas do lado positivo nas pessoas que o rodeavam, amante do concreto”, nas palavras do professor da EPUSP e ex-presidente do IBRACON, seu amigo Paulo Helene.

Djanikian deixa esposa - Tervanda Djanikian; filhos - João Gaspar Djanikian Filho, Adriano Djanikian, Fernanda Djanikian; netos - Priscila Goes Djanikian, Luis Henrique Goes Djanikian, Mariana Marco Djanikian, Daniel Marco Djanikian; e amigos.

Errata

Gostaria de pedir, se possível, adicionar uma errata do artigo da norma de pavimento intertravado (“Pavimento intertravado: nova normalização para sua execução”, seção “Normalização Técnica”, Concreto e Construções, Ed. 62 - Abr. Mai. Jun. | 2011) na próxima edição. Acabou que, ao ser publicada, a norma saiu com outro número (o número citado no artigo, na capa e no sumário da Ed. 62 foi ABNT NBR 15938/2011): **Título:** NBR15953/2011 - Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução **Autor:** ABNT Local de Edição: S.Paulo **Data da edição:** 2011

Agradeço desde já,

Att.

Mariana Marchioni

Planejamento e Mercado - Indústria da Pré-fabricação - Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) ■

José Marques Filho

COM A RETOMADA DO INVESTIMENTO NA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS PARA USINAS HIDRELÉTRICAS NO PAÍS, A PARTIR DO COMEÇO DESTE SÉCULO, VIERAM À TONA TEMAS RELACIONADOS AO PROJETO, CONSTRUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO E MANUTENÇÃO DESSES GRANDES EMPREENDIMENTOS. GESTÃO DO CONHECIMENTO NO SETOR ELÉTRICO, GARGALO DE MÃO DE OBRA NO SETOR CONSTRUTIVO, EM ESPECIAL, NA CONSTRUÇÃO DE GRANDES BARRAGENS, MODALIDADES DE CONTRATAÇÃO E DE GESTÃO DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS, TECNOLOGIA DO CONCRETO USADO EM BARRAGENS, NORMALIZAÇÃO TÉCNICA DA EXECUÇÃO DE BARRAGENS SÃO ALGUNS DESSES TEMAS. PARA FALAR SOBRE ELES, A **CONCRETO & CONSTRUÇÕES** ENTREVISTA, NESTA EDIÇÃO, O PRESIDENTE DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON, JOSÉ MARQUES FILHO.

FORMADO EM ENGENHARIA CIVIL, EM 1980, PELA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP), JOSÉ MARQUES FILHO TEM LARGA EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS. JÁ, EM 1981, PARTICIPOU DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM PEDRA DO CAVALO, NA BAHIA, COMO ENGENHEIRO NO CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSULTORES (CNEC). PELA MESMA EMPRESA, PARTICIPOU DO PROJETO EXECUTIVO DA USINA HIDRELÉTRICA DE PITINGA (UHE PITINGA), NO AMAZONAS. NA GH ENGENHARIA, PARTICIPOU, ENTRE OUTROS, DOS PROJETOS DO VERTEDOIRO PRETO-MONOS NA REPRESA BILLINGS E DO PROJETO DE VERTEDOIRO SUPLEMENTAR DA UHE CACONDE, DA COMPANHIA ELÉTRICA DE SÃO PAULO (CESP), NO PERÍODO 1985-1987. FOI ENGENHEIRO CONSULTOR NO PROJETO EXECUTIVO DA UHE SEGREDO, NO RIO IGUAÇU, NO ESTADO DO PARANÁ, COM POTÊNCIA INSTALADA DE 1260MW, QUANDO NA PROJETO E ENGENHARIA DE PROJETOS (PROENSI), DE 1987 A 1992.

DESDE 1994 NA COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL), ONDE ATUALMENTE É ENGENHEIRO CIVIL CONSULTOR, JOSÉ MARQUES TOMOU PARTE NA ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA E AMBIENTAL DAS

FUTURAS UHE TELÊMACO BORBA, UHE SÃO JERÔNIMO, UHE MAUÁ, UHE TIBAGI, NO RIO TIBAGI, E UHE GUARATUBA, NO RIO SÃO JOÃO (PARANÁ). FOI PRESIDENTE DO CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO DA ELEJOR CENTRAIS ELÉTRICAS DO RIO JORDÃO E PARTICIPOU NA IMPLANTAÇÃO DA UHE CAXIAS, NO RIO IGUAÇU, UHE SANTA CLARA E UHE FUNDÃO, NO RIO JORDÃO, UHE MAUÁ, NO RIO TIBAGI E UHE COLÍDER, NO RIO TELES PIRES. ATUALMENTE, É O COORDENADOR GERAL E RESPONSÁVEL TÉCNICO PELO CONSÓRCIO SÃO JERÔNIMO.

MESTRE PELA USP (1990) E DOUTOR PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (2005), MARQUES FILHO É, DESDE 1992, PROFESSOR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR), ONDE DESENVOLVE AS LINHAS DE PESQUISA: CONCRETO PARA BARRAGENS; RAA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO; E CONCRETOS ESPECIAIS.

COLABORADOR DO COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS (CBDB) E DA INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD), MEMBRO DO CORPO EDITORIAL DOS PERIÓDICOS “ESPAÇO ENERGIA” E “ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES”, JOSÉ MARQUES FILHO É AUTOR DE DIVERSOS TRABALHOS EM LIVROS E PERIÓDICOS.



IBRACON - POR QUE O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO FICOU TANTO TEMPO SEM INVESTIMENTOS EM NOVOS PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS?

Marques - O Brasil tem recursos hídricos maravilhosos e deu impulso a partir do final da década de 50 à construção de hidrelétricas, criando um parque gerador único, interligado e com base hidráulica. As sucessivas crises dos anos 80 e 90 levaram à diminuição dos investimentos na área de energia e a impressão de esgotamento do modelo estatal de desenvolvimento de projetos. Após essas crises, várias mudanças nos marcos regulatórios também desestimularam os investimentos no setor, culminando com o apagão no início deste século. Agora as regras ficando maduras e o crescimento muito consistente levam o país a um ciclo de desenvolvimento muito intenso de novos projetos hidrelétricos.

IBRACON - QUAIS PREJUÍZOS EM TERMOS DE GESTÃO DO CONHECIMENTO ACUMULADO NO SEGMENTO DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS DECORRERAM DO PERÍODO DE ESTAGNAÇÃO DE INVESTIMENTOS NA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS NO PAÍS?

Marques - Podemos citar duas grandes preocupações, sendo a primeira a redução das equipes treinadas pela falta de empreendimentos, sem a natural sucessão dos profissionais nas empresas do setor. Perdeu-se massa crítica treinada, talvez a maior do planeta, sem o treinamento das novas safras de engenheiros, complementando e sedimentando o conhecimento adquirido na academia. A segunda é a diminuição contínua da grade curricular dos cursos de engenharia, seguida da maior ênfase em estruturas habitacionais e menor ênfase nas disciplinas de grandes estruturas e conhecimentos correlatos. A falta de processos de gestão do conhe-

cimento é também um fator a ser mencionado, incluindo a tendência de se escrever pouco no país, com veículos de disseminação do conhecimento de engenharia muito tímidos.

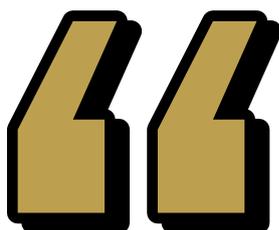
IBRACON - QUAIS SÃO OS MÉRITOS HOJE DA ENGENHARIA CIVIL BRASILEIRA APLICADA À CONSTRUÇÃO DE GRANDES BARRAGENS?

Marques - O Brasil ainda detém desafios maravilhosos em obras hidráulicas, podendo ser citada nossa capacidade gerencial formidável no desenvolvimento de novos empreendimentos, com as construtoras que estão em vários países. O desenvolvimento das técnicas do concreto compactado com rolo num processo totalmente nacional de utilização de agregado pulverizado, o uso intensivo de fôrmas deslizantes eficientes, a expertise em execução de túneis e os avanços na modelagem matemática de estruturas de barragens são outros exemplos do grau de sofisticação da engenharia nacional.

IBRACON - EM TERMOS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIAS USADAS NA CONSTRUÇÃO DE GRANDES BARRAGENS, COMO ERA O INTERCÂMBIO DE TECNOLOGIAS

NO PERÍODO ÁUREO DE INVESTIMENTOS, COMO FICOU NO PERÍODO DE ESTAGNAÇÃO E COMO ESTÁ HOJE, PERÍODO DE REINVESTIMENTO NO SETOR?

Marques - Inicialmente, o Brasil era um grande pólo atrator de inteligência para o desenvolvimento das grandes obras do setor elétrico. Destacam-se a participação de consultores internacionais na área de concreto, como o Prof. Roy Carlson, a participação de nossos técnicos no desenvolvimento tecnológico e sua participação em seminários técnicos nacionais e internacionais. Hoje, com a urgência de desenvolvimento profissional de engenheiros e os prazos curtos para a materialização dos



É NECESSÁRIO UM GRANDE ESFORÇO PARA A FORMAÇÃO COMPLEMENTAR E A TROCA DE EXPERIÊNCIAS NO SETOR.



empreendimentos, são tímidas as participações dos profissionais em seminários, comissões técnicas e normalização. Por outro lado, o período de estagnação levou à diminuição de prestígio dos fóruns de debate, o que foi piorado pelas regras estabelecidas aos docentes para sua avaliação. Assim, ainda é necessário um grande esforço para a formação complementar e a troca de experiências no setor.

IBRACON - QUAL É A TECNOLOGIA CONSTRUTIVA PREDOMINANTE HOJE DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS NO PAÍS E NO MUNDO? POR QUÊ? EXISTE ALGUMA PERSPECTIVA DE QUE ESSA TECNOLOGIA SEJA SUPERADA?

Marques - Não há uma forma predominante, pois a solução depende das condições locais em termos de topografia, hidrologia, geologia e tecnologia. Pode-se afirmar que, nas obras de concreto, predominam as soluções em concreto compactado com rolo, por sua rapidez e custo módico. A tendência no futuro é a disseminação da construção pelo método rampado e a aplicação de novas tecnologias na face de montante.

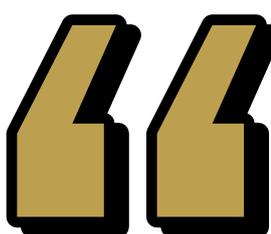
IBRACON - COMO O GOVERNO E AS EMPRESAS TÊM LIDADO COM OS PREJUÍZOS ACARRETADOS PELA DESCONTINUIDADE DOS INVESTIMENTOS NOS PROJETOS DE CONSTRUÇÃO DE GRANDES BARRAGENS NA FASE ATUAL DE REINVESTIMENTOS MACIÇOS NESSES EMPREENDIMENTOS?

Marques - O governo mudou os marcos regulatórios e enfrenta ainda a morosidade do licenciamento ambiental. Este último é fundamental para o crescimento sustentável, mas requer ainda um grande pacto no Brasil para o desenvolvimento da hidreletricidade, com conforto a todos os atores envolvidos. De sua parte, as empresas procuram treinar os novos engenheiros e melhorar as ferramentas de trabalho existentes. Procuram,

mas têm dificuldade de encontrar processos de treinamento e especialização.

IBRACON - O QUE PRECISA SER FEITO DAQUI PARA ADIANTE NA GESTÃO DO CONHECIMENTO NO SETOR ELÉTRICO, DE MODO QUE O CONHECIMENTO ACUMULADO E CONSOLIDADO NÃO SE PERCA NO TEMPO, NO CASO DE HAVER NOVO PERÍODO DE DESCONTINUIDADE?

Marques - A criação de fóruns especializados e o fortalecimento das entidades técnicas é fundamental, juntamente com o envolvimento da academia no processo. Trazer para a formação quem detém o conhecimento, incorporando-o na universidade, criando pesquisa de qualidade e processo de ensino continuado. Um novo pacto com o MEC (Ministério da Educação e Cultura), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) e CONFEA (Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia), com a participação das entidades representativas do setor elétrico, é necessário para a criação de agenda que possa enfrentar este desafio.



O TREINAMENTO CONTÍNUO TEM ACONTECIDO, MAS É PREOCUPANTE A POSSIBILIDADE DE APAGÃO DE MÃO DE OBRA.

IBRACON - COMO OS CONSÓRCIOS DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS EM CONSTRUÇÃO TÊM RESOLVIDO O PROBLEMA DO GARGALO DE PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS? ESSAS SOLUÇÕES SÃO ADEQUADAS?

Marques - Com dificuldade e com uso intensivo dos consultores existentes, chegando quase à exaustão do processo. O treinamento contínuo tem acontecido, mas é preocupante a possibilidade de apagão de mão de obra.

IBRACON - QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS CARÊNCIAS PROFISSIONAIS OBSERVADAS HOJE NOS PROJETISTAS, CONSULTORES, TECNOLOGISTAS E EMPREITEIROS ENVOLVIDOS NA CONSTRUÇÃO DE GRANDES BARRAGENS

NOS PROJETOS QUE O SENHOR TEM ACOMPANHADO?

QUAIS SÃO AS CAUSAS DESSAS CARÊNCIAS?

Marques - A principal dificuldade é a falta de visão holística e do conhecimento do processo como um todo, bem como o pouco treinamento em processos de engenharia, o que inclui a capacidade de modelar processos complexos. Os cursos tornaram-se mais voltados a edificações comuns e, pela falta de tempo e pelas carências dos estudantes advindas dos cursos fundamental e médio, neles não são sedimentados os fundamentos técnicos das áreas citadas.

IBRACON - O QUE PRECISA SER FEITO, PELO SETOR E PELO GOVERNO, PARA SOLUCIONAR, DE MANEIRA SUSTENTADA, O PROBLEMA DA FALTA DE MÃO DE OBRA NOS PROJETOS NACIONAIS DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS? O QUE PRECISA MUDAR EM TERMOS DA CULTURA ORGANIZACIONAL E DO SISTEMA EDUCACIONAL EM ENGENHARIA CIVIL NO PAÍS?

Marques - Urge escrever manuais, recomendações e boas práticas, bem como preparar um treinamento simplificado para suprir as necessidades imediatas. Falta a formação efetiva de Comitês Técnicos com participação de profissionais preparados, que possam doar seu tempo, coisa que hoje temos muitas dificuldades. Devem ser revitalizados os órgãos técnicos isentos para discussão dos grandes temas nacionais. Devem ser criados novos arcabouços de normas. Adaptações na CAPES são necessárias para um envolvimento maior da academia, com geração de valor para os empreendimentos e para o conhecimento. Novas disciplinas na graduação e novos cursos de especialização, com residência técnica, são ferramentas importantes.

IBRACON - DE QUE FORMA O SENHOR ESPECIALIZOU-SE NA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS?

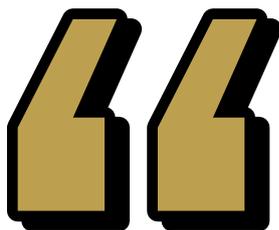
Marques - Quando aluno na graduação, o

Prof. Francisco Fusco (professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) bateu na minha carteira e perguntou se eu queria trabalhar com projeto de barragens. Fui ao paraíso trabalhar com meus professores e ídolos, com os professores Pimenta, Mautoni, Godofredo, Fusco, Ítalo.

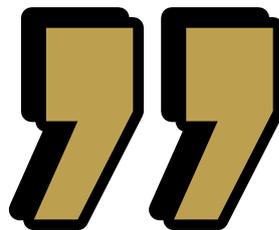
IBRACON - O IBRACON TEM INTERESSE EM PROMOVER UM PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DE PROJETOS, PROCESSOS, PRODUTOS E MÃO DE OBRA PARA BARRAGENS? QUAIS OS PRINCÍPIOS BASILARES

PARA UM PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DE PROJETOS, PROCESSOS, PRODUTOS E MÃO DE OBRA? QUE ETAPAS PRECISAM SER SEGUIDAS PARA A INSTALAÇÃO DO PROGRAMA?

Marques - O programa é muito complexo e necessita de colaboradores e recursos, coisas que hoje são raras e difíceis. O processo deve prever a execução de manuais e guias, com boas práticas, o apoio intensivo e a participação em normalização, a criação de cursos e dos processos de avaliação contínua e certificação. O programa deve estar apoiado no tripé conhecimento, excelência de processos e envolvimento da cadeia produtiva.



A TENDÊNCIA DE DIMINUIÇÃO DOS CUSTOS DE INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES E DA INTELIGÊNCIA DO PROCESSO É MUITO PREOCUPANTE.



IBRACON - QUAIS AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS MODALIDADES ATUAIS DE CONTRATAÇÃO EM RELAÇÃO AO MODELO ANTERIOR BRASILEIRO, ESTATAL, NO TOCANTE AO SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE NOS EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DE

GRANDES BARRAGENS? HOUVE MELHORIAS NO MODELO VIGENTE DESDE O MOMENTO EM QUE ENTROU EM VIGOR? O QUE AINDA PRECISA SER APERFEIÇOADO NO MODELO DE CONTRATAÇÃO VISANDO DIMINUIR INCERTEZAS E AUMENTAR A GARANTIA DE QUALIDADE DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS?

Marques - Qualquer modelo com as condicionantes de qualidade técnica adequada, prazos exequíveis, preços módicos,

transparência e isonomia é bom. O sistema atual permite processos de financiamento mais variados, mas ainda padece de alguns detalhes. A tendência de diminuição dos custos de investigações preliminares e da inteligência do processo é muito preocupante. Sem dúvida, gastar adequadamente com a caracterização das fundações, por exemplo, pode diminuir sensivelmente os riscos, assim como um projeto adequado pode levar a diminuições de custos expressivas. A questão cultural do controle de qualidade deve ser atacada, lembrando o seu papel fundamental para manutenção do modelo de desenvolvimento de empreendimentos. Para isso, são necessários educação, conscientização e exemplo.

IBRACON - A CLÁUSULA QUE CONCEDE AO CONCESSIONÁRIO O DIREITO DE CONTRATAR LIVREMENTE OS ESTUDOS, PROJETOS, ENSAIOS E TUDO O MAIS QUE JULGAR NECESSÁRIO PARA A REALIZAÇÃO DA OBRA DEVE SER MANTIDA OU DEVER SER ESTIPULADOS EM CLÁUSULAS OS ESTUDOS MÍNIMOS (GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, DE TECNOLOGIA DO CONCRETO) E AS ESPECIFICAÇÕES MÍNIMAS DE PROJETO (BÁSICO E EXECUTIVO) A SEREM OBRIGATORIAMENTE REALIZADOS PELOS CONCESSIONÁRIOS VISANDO DIMINUIR INCERTEZAS E AUMENTAR A GARANTIA DE QUALIDADE DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS?

Marques - Creio que deve haver um comprometimento maior dos envolvidos com a tecnologia construtiva para que todos os elos entendam seu papel. Para isso, normalização, boas práticas e educação continuada são importantes. Os contratos devem ter cláusulas de desempenho claras e mensuráveis e, sem dúvida, as especificações devem ser claras, bem como a independência do sistema de garantia da qualidade. Sem

dúvida, a participação da sociedade organizada nas discussões e definições deve acontecer, procurando garantir que as investigações e estudos sejam adequados e, se possível, que uma fiscalização de processos deva ser analisada.

IBRACON - QUE MEDIDAS PRECISAM SER TOMADAS PARA EVITAR A TRANSFERÊNCIA DE RESPONSABILIDADES DO CONCESSIONÁRIO PARA O EMPREITEIRO, EVITANDO-SE, ASSIM, O CONFLITO DE INTERESSE (CONTROLE RIGOROSO ACARRETA QUEDA DA PRODUÇÃO, AUMENTO DE CUSTOS E RISCOS DE ATRASOS X CONTROLE NÃO ADEQUADO

ACARRETA A QUEDA DA QUALIDADE DA OBRA)?

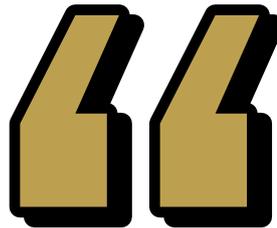
Marques - Execução de contratos adequados com matriz de risco bem definida, criando processos auditáveis, focando as especificações em desempenho (considerando vida útil, segurança e operação adequadas com níveis acordados de manutenção).

IBRACON - COMO GARANTIR A CONTRATAÇÃO DE EMPRESAS DE ENGENHARIA COMPETENTES NO PROCESSO LICITATÓRIO DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS?

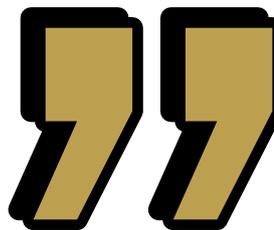
COMO ASSEGURAR NO PROCESSO LICITATÓRIO UM CONTROLE DE QUALIDADE ISENTO E BEM FEITO?

Marques - Este é um processo que transcende à minha opinião, devendo ser criado um pacto com arcabouço jurídico que garanta qualidade, prazo e preço, com isonomia e transparência. É claro que a atual lei de licitações causa problemas ao setor público,

mas não pode ser a única causadora dos problemas, pois esses se repetem em empreendimentos privados. Como os empreendimentos são pertencentes à União, sendo apenas concessões, creio que esta deve assumir suas responsabilidades na criação de um pacto nacional que crie um arcabouço que aumente a segurança do processo. Conhecimento,



CONHECIMENTO, CORREÇÃO, DISCIPLINA, REGRAS CLARAS E FISCALIZAÇÃO COM PUNIÇÃO SÃO FUNDAMENTAIS NO PROCESSO.



correção, disciplina, regras claras e fiscalização com punição são fundamentais no processo.

IBRACON - QUE RECURSOS PODEM SER ADOTADOS PARA SE EXIGIR O CUMPRIMENTO INTEGRAL DE RESPONSABILIDADES E EXPECTATIVAS DOS AGENTES ENVOLVIDOS NO PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS? É PRECISO, POR EXEMPLO, ADOTAR ORÇAMENTOS E PRAZOS MÍNIMOS PARA O CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO?

Marques - *Os instrumentos para cobrança devem ser efetivos, soluções somente focadas em custos e prazos são manipuláveis. É preciso qualificação e cobrança de responsabilidades.*

IBRACON - O SENHOR TEM OBSERVADO MUITOS PROBLEMAS NOS PROJETOS QUE TEM ACOMPANHADO DE CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS?

QUAIS OS PRINCIPAIS PROBLEMAS APRESENTADOS PELAS GRANDES BARRAGENS QUE O SENHOR TEM ACOMPANHADO EM ANOS RECENTES? DE QUE MODO TAIS PROBLEMAS PODERIAM SER PREVENIDOS?

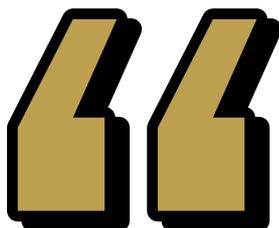
Marques - *Tenho observado muitos problemas nas obras mais novas por falta basicamente de conhecimento, que leva a um otimismo inadequado que diminui a quantidade de investigação preliminar e a maturação de engenharia do processo. Quando não se conhecem os processos físicos existentes, a tomada de decisão é arriscada. A falta de conhecimento, às vezes, se manifesta em coisas muito básicas, como os efeitos da fluência do concreto, os fenômenos térmicos, revibração, cura, etc. Problemas são resolvidos com conhecimento e cobrança de responsabilidades.*

IBRACON - EXISTE ALGUMA ESTIMATIVA SOBRE O MONTANTE QUE SE TEM GASTO COM O REPARO E A RECUPERAÇÃO DE BARRAGENS COM PROBLEMAS?

Marques - *Ainda no Brasil, não há ferramenta confiável que possa ser mencionada com um mínimo de responsabilidade.*

IBRACON - OS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL E AS MEDIDAS MITIGADORAS PRECONIZADAS NESSES ESTUDOS SÃO SUFICIENTES PARA EQUACIONAR O PROBLEMA DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E DA PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE NO PAÍS NO QUESITO DA CONSTRUÇÃO DE GRANDES BARRAGENS?

Marques - *Sem dúvida, a legislação brasileira é a mais avançada do mundo e há grande envolvimento de atores discutindo o tema, desde o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), órgãos ambientais estaduais, Ministério Público e entidades da sociedade organizada. Apesar disso, falta um grande pacto nacional com um plano de país, pensado de maneira integrada para resolver o assunto. A morosidade do processo causa conflitos desnecessários e um foco mais político do que o de desenvolvimento sustentável.*



SEM A FORMAÇÃO DE PESSOAS E A CRIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE TRABALHO COM ASSUNÇÃO DEFINIDA DE RESPONSABILIDADES NÃO SE GARANTE PROCESSO ADEQUADO.



IBRACON - O MONITORAMENTO DE GRANDES BARRAGENS NO PAÍS É ADEQUADO PARA PREVENIR ACIDENTES E INCIDENTES? O MONITORAMENTO DE GRANDES BARRAGENS CONTA COM APARELHOS MODERNOS E BEM CALIBRADOS, EQUIPES PREPARADAS E COM O ENCAMINHAMENTO, PARA PROVIDÊNCIAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS, DOS DADOS LEVANTADOS? O QUE MAIS PRECISA SER PROVIDENCIADO NESTE QUESITO NO PAÍS?

Marques - *A questão da segurança de barragens é uma das minhas maiores preocupações no momento. Espero que a nova lei de segurança de barragens (Lei 12.334/2010) se torne efetiva e que consigamos criar um arcabouço técnico e humano que a suporte. Sem a formação de pessoas e a criação de procedimentos*

de trabalho com assunção definida de responsabilidades não se garante processo adequado.

O IBRACON tenta criar um arcabouço junto com o CBDB (Comitê Brasileiro de Grandes Barragens) para atacar o assunto, mas precisamos de mais recursos, tanto humanos quanto financeiros.

IBRACON - QUAIS OS CUIDADOS ESPECIAIS EXIGIDOS PELO CONCRETO PRODUZIDO PARA UMA BARRAGEM, QUE O DIFERENCIA DO CONCRETO CONVENCIONAL? QUAIS OS PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA SEU CONTROLE DE QUALIDADE?

Marques - Os grandes volumes de concreto, longe de centros desenvolvidos, cobram sempre um preço, mas devemos lembrar que o concreto é um material extremamente confiável quando tem um controle de qualidade adequado e um estudo de dosagem perfeitamente adaptado às necessidades de obra e do projeto e que garanta a vida útil da estrutura. Neste tipo de obra, a questão da geração autógena de calor, a permeabilidade e as reações deletérias devem ser prioritárias, bem como o controle de qualidade em praças extensas e que trabalham as 24 horas do dia, com sazonalidades climáticas importantes.

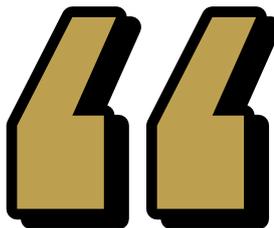
IBRACON - QUAIS AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS QUE PODEM VIR A SE APRESENTAR NESTE CONCRETO E COMO PREVENI-LAS?

Marques - As manifestações mais comuns são: fissuração térmica, que podem ser minimizadas com estudos adequados; defeitos de construção, como porosidades, juntas de construção mal preparadas, drenos inadequados e superfícies hidráulicas inadequadas, que dependem de conhecimento e controle de qualidade;

inadequação da interface concreto - fundação, que depende de investigação de campo e da capacidade de interpretação física dos fenômenos envolvidos.

IBRACON - EM QUE ESTÁGIO ESTÃO AS DISCUSSÕES NA COMISSÃO DE ESTUDOS DA ABNT PARA UM PROJETO DE NORMA BRASILEIRA PARA A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS? QUANDO O TEXTO FICA PRONTO PARA CONSULTA PÚBLICA? EXISTE UMA PREVISÃO DE QUANDO A NORMA SERÁ PUBLICADA?

Marques - Ainda incipiente. O IBRACON, junto com o CBDB, requisitaram coordenar em conjunto o processo. Espera-se a manifestação da ABNT.



O CONCRETO É UM MATERIAL EXTREMAMENTE CONFIÁVEL QUANDO TEM UM CONTROLE DE QUALIDADE ADEQUADO E UM ESTUDO DE DOSAGEM PERFEITAMENTE ADAPTADO ÀS NECESSIDADES.

IBRACON - COMO O SENHOR AVALIA A ATUAÇÃO DO IBRACON NO

CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO DE RETOMADA DO INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA?

Marques - Esta atuação é fundamental, pois temos toda a cadeia de produção participando do instituto. Nos últimos anos, temos discutido o tema e tentado criar fóruns privilegiados e com representatividade para ajudar o setor. Deve-se aumentar significativamente as comissões técnicas para

fornecimento das ferramentas anteriormente mencionadas.

IBRACON - COMO PRESIDENTE DO IBRACON, QUE CAMINHO O SENHOR PROJETA PARA O INSTITUTO NO FUTURO?

Marques - Espero que o IBRACON seja um fórum isento para discussão dos grandes desafios do concreto, interferindo para promover a infraestrutura necessária ao bem estar dos brasileiros, gerando empregos de qualidade. Que ele esteja presente em todo o país com regionais fortes, pavimentando a gestão do conhecimento com publicações técnicas de nível internacional e formando os engenheiros do futuro. ■



A tecnologia do concreto aplicada ao projeto de barragens

ENG. LUIZ PRADO VIEIRA JR
TECHNOCRET

ENG. FLÁVIO MOREIRA SALLES
CESP

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas para atender a propósitos específicos durante sua vida útil, inseridas no meio ambiente local. No caso de obras de grande vulto, tais como barragens e estruturas associadas, isto é especialmente verdadeiro e deve ser levado em consideração desde as primeiras etapas dos estudos e projetos.

De acordo com o Ministério da Integração Nacional, uma barragem, açude ou represa é qualquer obstrução em um curso permanente ou temporário de água, para retenção ou acumulação de substâncias líquidas ou misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento, suas estruturas associadas e o reservatório formado pela acumulação; os diques para proteção contra enchentes e os aterros-barragem de estradas se incluem nessa definição.

Qualquer seja o empreendimento, suas finalidades “governam” os projetos na Engenharia. As barragens, identificadas como construções de grande porte, demandam grandes investimentos físicos e financeiros e, em especial, projetos adequados, completos e cuidadosos. Nelas, a segurança deve ser considerada prioritária pela complexidade que encerram, uma vez que mo-

dificam o arranjo natural do curso d’água, obstruem sua passagem e acumulam expressivos volumes de água.

As barragens podem ter múltiplas finalidades, tais como as listadas a seguir:

- Geração de energia;
- Abastecimento;
- Irrigação;
- Regularização de curso d’água;
- Proteção contra inundações;
- Contenção de rejeitos;
- Navegação;
- Piscicultura, recreação e outros.

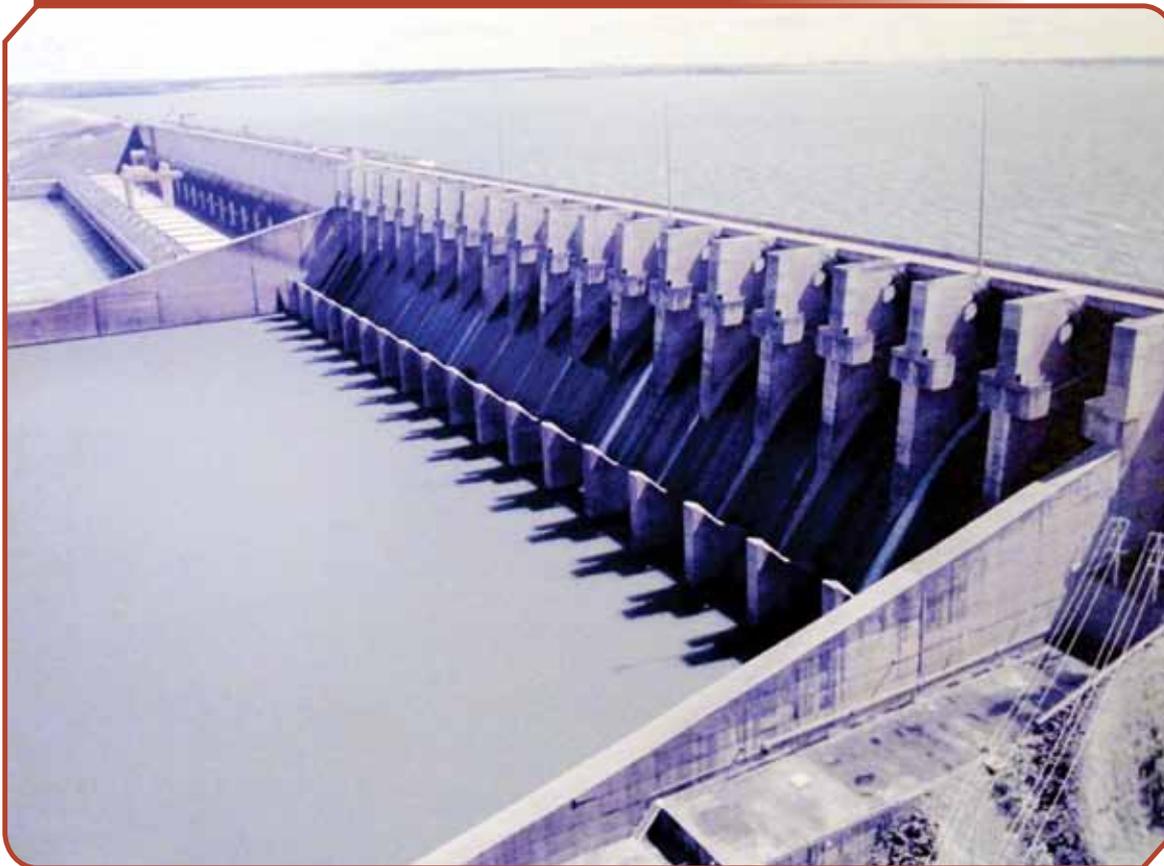
O presente artigo trata, de forma resumida, da tecnologia do concreto e seus materiais constituintes nas diversas fases de projeto de uma usina hidrelétrica, englobando as barragens e as estruturas associadas.

2. CONCRETO EM UHES E SEUS REQUISITOS

As barragens de concreto podem ser classificadas em: barragens em arco; barragens em contraforte; e barragens de gravidade.*

No caso de usina hidrelétrica (UHE), esta pode ter diversas configurações, mas sempre existirão em concreto: Tomada d’Água, Casa de Força e Vertedouro (ou outro tipo de descarregador). Caso exista

Figura I – UHE Ilha Solteira (CESP) – Rio Paraná



uma eclusa, sua construção também será em concreto, assim como serão os edifícios de comando, subestações, escadas de peixe, galerias e muros. Nas barragens em enrocamento no paramento (face) é empregado concreto. Canais e túneis frequentemente são revestidos com concreto.

O concreto empregado nas UHEs deve atender a uma série de requisitos, conforme sua localização na usina e as ações às quais estarão submetidos, relacionados a seguir:

- Massa (grandes volumes): importa a massa específica do concreto; fck é adotado para garantir qualidade;
- Regularização, tal como em obras correntes; no entanto, como concreto “dental” e sob os paramentos em contato com água é usual usar concreto impermeável;
- Impermeável: empregado nos paramentos, contatos com solo e rocha;
- Estrutural armado: estruturas usuais (fck 20 - 30 MPa);
- Protendido: viga munhão, vigas protendidas (pontes);
- Resistente à abrasão: em locais com fluxo d’água;
- Projetado para revestimentos de túneis e canais e para estabilização de taludes;
- Pré-moldados utilizados como fôrmas de galerias e pré-lajes;
- CCR: como concreto massa, usualmente.

Como exemplo, é apresentada tabela referente às classes de concreto, que consta do documento Eletrobrás “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas”, de outubro de 2003 (Tabela 1).

Nota-se, na tabela, a grande variação de fck (6 a 32) MPa que os concretos das UHEs devem atender. Para concreto protendido ou resistente à erosão, em algumas obras, já foram especificados fck’s superiores a este.

Outro aspecto a ser notado é o estabelecimento da idade de controle superior a 28 dias. Também neste caso, destaca-se que já se adotou idade até 365 dias (Itaipu,

Figura 2 – UHE Porto Primavera (CESP) – Rio Paraná



por exemplo). Com isso, ganha-se resistência a prazos maiores pela continuação da hidratação do cimento, possibilitando a redução do seu consumo e, conseqüentemente, do calor gerado.

Em resumo, o concreto a ser empregado em uma UHE deve atender a uma sé-

rie de requisitos físicos, mecânicos e, até mesmo, químicos, tais como:

- Resistência à compressão;
- Permeabilidade, no contato com água;
- Resistência à abrasão, devida a passagem de água em velocidade e presença de sedimentos em suspensão;

Tabela I – Classes de concreto

Classe	Denominações	Resistência Característica	
		f_{ck} (MPa)	Idade Dias
A	Concreto massa (núcleo), concreto de enchimento, CCR, concreto de regularização	6 a 9	90
B	Paramento das estruturas de concreto massa, impermeabilização de fundação	12 a 18	90
C	Concreto estrutural com baixa densidade de armação	15 a 18	90
D	Concreto estrutural com baixa densidade de armação	15 a 18	28
E	Concreto estrutural	18 a 25	28
F	Concreto estrutural, estruturas hidráulicas sujeitas a abrasão e/ou solicitações hidrodinâmicas aleatórias	28 a 30	28
G	Concreto estrutural	25	28
H	Concreto estrutural	28	28
P	Concreto protendido	28 a 32	28
K	Concreto projetado	21	28

- Deformações (E e Poisson), no caso de pré-moldados, em especial;
- Fissuração térmica;
- Fissuração devida à reatividade alcali-agregado e outros fenômenos envolvendo os materiais constituintes do concreto;
- Agentes agressivos (acidez de água).

Para se conseguir atender a todos estes requisitos, dois aspectos, que têm implicação no custo do empreendimento, devem ser levados em consideração:

- Materiais disponíveis na região, pois, sem materiais adequados próximos da obra, não é possível atender a todos os requisitos a um custo, se não baixo, aceitável;
- A permanente atuação da Projetista, que, com os “inputs” relativos às estruturas (dimensões, tipos, fundações, formas), as ações a que estarão sujeitas, além do conhecimento dos materiais disponíveis, faz os dimensionamentos em todas as fases de projeto.

3. ETAPAS DE PROJETO

3.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS

O projeto de uma usina hidrelétrica envolve as especialidades das Engenharias, além da Geologia. Em se tratando de “construção de grande porte”, o projeto civil de uma UHE é iniciado muito antes do primeiro concreto.

As etapas definidas no desenvolvimento do projeto de hidrelétrica devem contar com períodos “justos” para levantamento de dados, adequações e dimensionamentos do projeto e maturação nas fases seguintes.

A primeira fase é a de **Estimativa de Potencial**, seguida pelo **Inventário e Reconhecimento do Local**, com a obtenção de dados geológicos, geotécnicos, hidrológicos e ambientais.

A seguir, procedem-se os **Estudos de Viabilidade**, com o intuito principal de se avaliar o custo básico para o empreendimento e verificar o binômio custo-benefício. Nesta etapa, é estabelecida a concepção e o arranjo do aproveitamento, obras principais e infraestrutura. São indispensáveis as **Investigações Preliminares**, para

obtenção de informações a respeito da disponibilidade de materiais para concreto na região, tais como:

- Jazidas de areia e de cascalho;
- Material da escavação obrigatória;
- Pedreiras nas proximidades.

O conhecimento das jazidas de materiais naturais significa dispor de localização, dimensões, quantificação de cada material na fonte e caracterização preliminar dos mesmos. Além disso, interessa ao calculista estrutural o conhecimento das fundações e ombreiras onde serão fundeadas as estruturas de concreto. Com base nestes dados, pode-se fazer um orçamento preliminar, ainda com dúvidas e incertezas, mas que serve para auxiliar na tomada de decisão.

Decidida a viabilidade do empreendimento, a fase seguinte é o **Projeto Básico**, cujo objetivo é a documentação para a licitação, com o detalhamento do aproveitamento definido nos estudos de viabilidade. Nesta etapa, devem ser aprofundados os estudos referentes à geologia local, à pesquisa de jazidas de cascalho e areia e, eventualmente, de pedreiras, à caracterização completa dos materiais naturais de construção e, até mesmo, aos estudos logísticos para abastecimento dos materiais industrializados para emprego em concreto. No Projeto Básico, são definidos, ainda, os critérios gerais de projeto, pré-dimensionadas as estruturas, calculados os volumes necessários de materiais, elaborados os cronogramas construtivo e físico-financeiro. Os estudos de concreto devem ser iniciados nesta fase, para verificação da necessidade de adoção de medidas, como a refrigeração do concreto ou o emprego de aglomerantes específicos (materiais pozolânicos, por exemplo).

Registra-se, para o melhor resultado desse projeto, que todas as informações que, de algum modo, interferem e, conseqüentemente, impactam o custo da obra sejam confirmadas e fornecidas às equipes envolvidas.

Finalmente, vem o **Projeto Executivo**, elaborado durante o andamento da obra, quando são detalhados os documentos necessários para a construção das diversas estruturas de concreto e preparados os do-

cumentos “as built”. Em geral, faz parte do projeto executivo o acompanhamento da qualidade do concreto e seus materiais constituintes, com a implantação de processos precisos e adequados.

Pelo apresentado, pode-se inferir que a Tecnologia do Concreto e Materiais deve atuar no projeto a partir da fase de Estudos de Viabilidade até a conclusão da obra.

3.2 ESTUDOS DE VIABILIDADE

A condução das investigações preliminares cabe à Projetista, através de suas equipes de topografia, geologia e tecnologia de materiais. Cada caso é único e deve ser tratado como tal, influenciado pelos tipos de arranjos das estruturas, decorrentes das condições locais - geológicas, geotécnicas e topográficas e pelos materiais de construção existentes na região.

Um guia para a execução das “Investigações Preliminares” é a publicação da Eletrobrás denominada “Diretrizes para Projetos de PCH”, que, em seu capítulo 5, “Levantamentos de campo” enfatiza a necessidade da execução de levantamentos e estudos:

- Topográficos;
- Hidrológicos;
- Ambientais;
- Geológico-geotécnicos, com ênfase em:
 - Fontes de materiais para concreto, enrocamento e obras de terra;
 - Fundações.

Estes estudos interessam, sobretudo, aos projetistas de estruturas e de materiais, pois significam o conhecimento do material da fundação e ombreiras das estruturas principais e a ocorrência de materiais naturais de construção, passíveis de emprego.

Nesta fase, após identificadas e quantificadas as jazidas de materiais naturais de construção para emprego em concreto, são coletadas amostras para ensaios de caracterização. Tecnologista e geólogo, conjuntamente, devem estabelecer quais ensaios serão efetuados, pois esses dependem do material e sua litologia, bem como de sua destinação e os tipos de estruturas do aproveitamento.

A seguir, estão listadas as determinações que podem ser consideradas num programa de ensaios, aplicado para jazidas de cascalho e areia.

- Percentual representativo de cada dimensão máxima característica;
- Composição mineralógica do cascalho e areia por dimensão máxima;
- Massa específica e absorção por dimensão máxima;
- Reatividade potencial álcali-agregado - RAA por dimensão máxima;
- Granulometria e módulo de finura por dimensão máxima;
- Teores de cloretos e sulfatos por dimensão máxima;
- Caracterização da fração areia, conforme indicado na ABNT NBR 7211;
- Abrasão Los Angeles na fração cascalho;
- Índice de Forma;
- Ciclagens água-estufa e natural;
- Sanidade no etilenoglicol do cascalho (raramente);
- Outros, a critério do geólogo e do tecnologista de concreto e materiais.

Registra-se que, no 50º Congresso Brasileiro do Concreto, foi apresentado um artigo a respeito da UHE Rondon II, onde, nas investigações preliminares foram encontradas fontes de cascalho fino, em quantidades razoáveis. No entanto, o cascalho apresentava desgaste superior a 60 % no ensaio de abrasão Los Angeles, o que indicava que a granulometria da mistura poderia se alterar na betoneira pela quebra dos grãos de cascalho. Verificou-se, em estudos realizados no Projeto Básico,



Tabela 2 – Desgaste por jazida de cascalho – abrasão Los Angeles (UHE Rondon II)

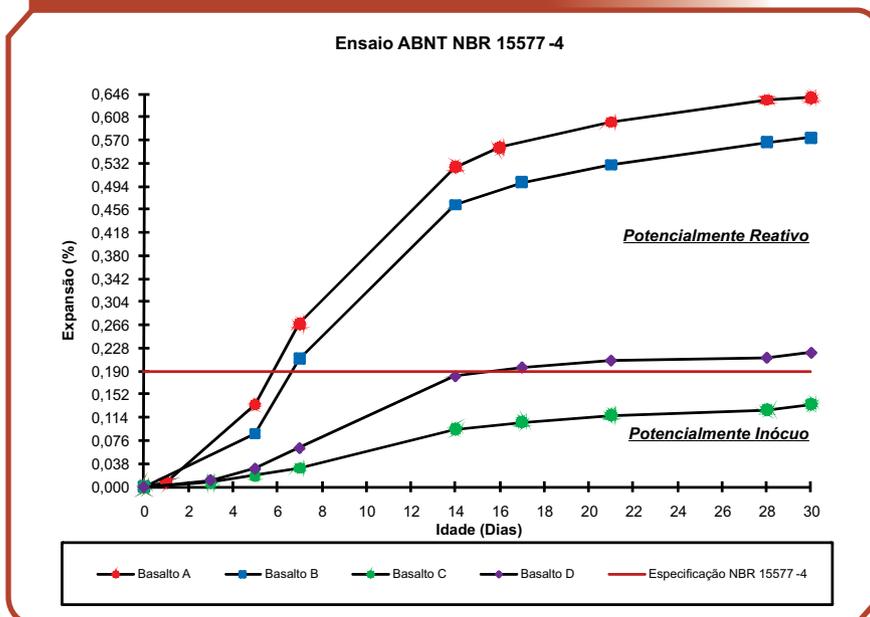
Abrasão Los Angeles - NM 51	
Procedência	Desgaste Médio (%)
Jazida A	66,57
Jazida B	63,83

que se poderia utilizá-lo em CCR e, até em concreto convencional, desde que tomados certos cuidados. O vertedouro de Rondon II foi executado em CCR com o cascalho e, quando da ruptura da UHE de Apertadinho, a montante, foi essa estrutura que “segurou a onda”, literalmente.

No caso de pedreiras e material de escavação da fundação, um programa de ensaios típico contempla:

- Análise petrográfica;
- Massa específica e absorção;
- Reatividade potencial álcali-agregado - RAA;
- Teores de cloretos e sulfatos;
- Abrasão Los Angeles;
- Ciclagens natural e água-estufa;
- Sanidade no etilenoglicol;
- Resistência à compressão e módulo de deformação;

Figura 4 – Ensaio acelerado em barras de argamassa com basalto



■ Outros, a critério do geólogo e do tecnólogo de materiais e concreto.

É interessante considerar, nesta fase, que, em alguns casos, só estarão disponíveis testemunhos de sondagem da rocha, de onde serão retirados e preparados os fragmentos e corpos de prova para a execução dos ensaios, com as limitações que a amostra oferecerá.

Destaca-se que, caso não se disponha, na região, de areia natural para emprego no concreto, o emprego dos finos de britagem, subproduto do beneficiamento de rocha, como agregado miúdo, tem se mostrado satisfatório, uma vez atendida a ABNT NBR 7211:2009.

A verificação da reatividade dos álcalis com os agregados disponíveis para uso é importante, uma vez que pode ser necessário o emprego de produto para a inibição do processo expansivo da RAA. A alternativa a ser adotada precisa ter seu efeito confirmado em ensaio e definida com a antecedência suficiente para as negociações comerciais, as providências para fornecimento e estocagem junto à central de produção do concreto e ajuste das técnicas para utilização.

Apresenta-se, à guisa de ilustração, uma série de resultados de ensaios acelerados em barras de argamassa ABNT NBR 15577 - Partes 4 e 5, confeccionadas com agregados graúdos: britas de basalto e cascalhos (Figuras 4, 5, 6 e 7).

A ABNT NBR 15577-1 indica realizar essa verificação por dois métodos de ensaios distintos. Desse modo, sugere-se associar a análise petrográfica ou a composição mineralógica (ABNT NBR 15577-3) com o ensaio físico acelerado em barra de argamassa (NBR 15577-4), ou com o ensaio em prisma de concreto (ABNT NBR 15577-6).

Vale lembrar, para o caso de ro-

cha, que, em função do tipo litológico e do sítio, a seleção de material para ensaio deve ser extremamente cuidadosa, levando-se em conta a sua futura destinação. Por exemplo, o basalto pode se apresentar em derrames pequenos de características diversas uns dos outros. Como na construção da UHE Porto Primavera, onde foram encontrados alguns tipos de basaltos cujas características físicas e mecânicas tornaram inviável a aplicação em concreto. Foi empregado cascalho como agregado graúdo, potencialmente reativo, em misturas com cimento pozolânico especialmente produzido, com excelentes resultados.

3.3 PROJETO BÁSICO

Algumas características e propriedades dos materiais naturais de construção só são verificadas na fase de Projeto Básico, a partir dos dados e resultados obtidos nos estudos de viabilidade.

Como já citado, o objetivo do Projeto Básico é a licitação das obras e, portanto, devem ser disponibilizadas todas as informações que afetem os custos do empreendimento. Dentre elas destacam-se:

- Caderno de Desenhos: dimensionamento de estruturas, com detalhamento para permitir elaboração de orçamento;

- Relatório do Projeto Básico: informações relativas a:

- Sondagens e materiais de construção: é de grande relevância a indicação de fontes de agregados pesquisadas, sua caracterização detalhada e os tipos de aglomerantes adequados;
- Dosagens, ensaios e estudos efetuados.

- Especificações técnicas: devem ser abordados:

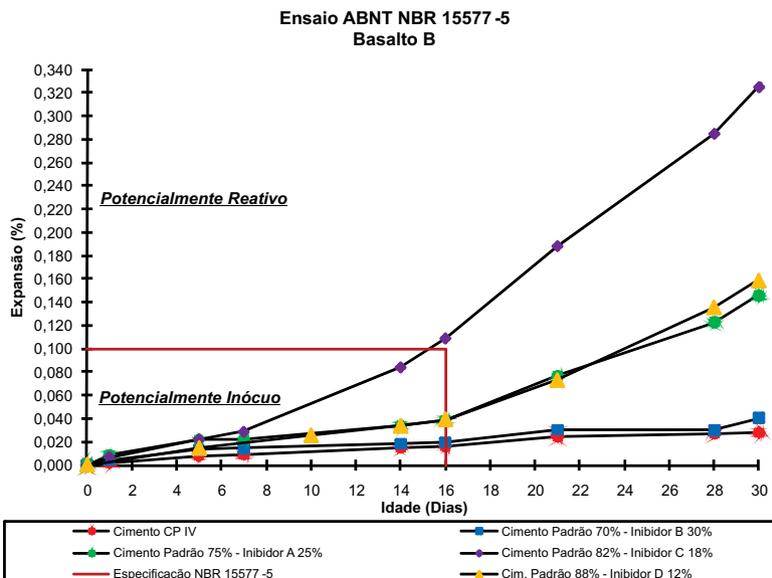
- Aspectos térmicos, com indicação de eventual necessidade de refrigeração, alturas de camadas e temperaturas de lançamento para misturas estudadas;
- Classes de concreto a empregar;
- Métodos construtivos e cuidados.

Para que se possam apresentar as informações acima mencionadas, as investigações preliminares devem ser estendidas e continuadas no Projeto Básico. Não é boa prática o contrário, a sua restrição, justificada pela perseguição crônica da diminuição de prazos e custos.

As atividades pertinentes ao concreto e seus materiais componentes, no Projeto Básico, dependem grandemente do que foi observado na fase anterior e das definições relativas às estruturas componentes da UHE.

É nessa etapa que deve ser feita a seleção de aglomerantes, através de programa de ensaios, elaborado pelo Projetista. O programa de estudo considerará os agregados disponíveis e suas características, tipos e volumes das estruturas, processo construtivo e condições de exposição do concreto, além das informações relativas aos cimentos da região, tipos, quantidades disponíveis, garantia e logística de fornecimento, comportamento com os agregados locais, necessidade de em-

Figura 5 – Ensaio acelerado em barras de argamassa com basalto B cimento + inibidores

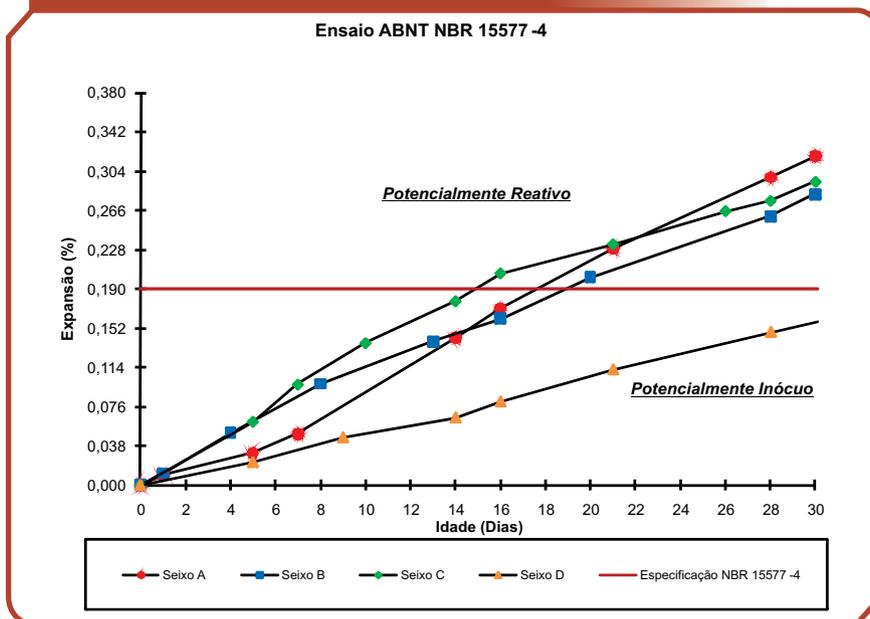


prego de adições pozolônicas para inibição da RAA ou mitigação do efeito térmico, entre outras. A disponibilidade de aglomerantes para aplicação na obra deve ser verificada com antecedência e abrangência de alternativas, para que a definição de emprego seja embasada na qualidade técnica, como no custo e garantia de fornecimento durante a obra.

Nesta fase vale a pena verificar a qualidade da água para concreto e, em caso de suspeita, analisar águas e solos de contato com o concreto.

Na concepção do projeto, uma UHE pode ter estruturas massivas e sempre terá estruturas convencionais, cujas características afetam o custo do concreto. As estruturas de grande porte com lançamento de grandes volumes de concreto são passíveis de fissuração térmica. A solução mais comum para evitá-la é a refrigeração do concreto. O custo de refrigeração é significativo e a aquisição de equipamentos é demorada, ou seja, é importante a execução de estudos térmicos nesta fase e o repasse da informação aos licitantes. Para se efetuar tais estudos podem ser estimadas as propriedades dos materiais componentes do concreto, com base em bibliografia. Mas, quando da falta de dados confiáveis, é necessário o conhecimento de propriedades dos materiais e do comportamento térmico de traços que possam vir a ser empregados. Ou seja, são necessários diversos ensaios e análises, que demandam tempo e dinheiro, para possibilitar informações adequadas aos licitantes. No entanto, muitos contratos repassam tais atividades aos vencedores e estes estudos não são considerados nos cronogramas da quase totalidade dos casos, o que pode gerar atrasos no decorrer das obras e, eventualmente, reivindicações por parte do construtor.

Figura 6 – Ensaio acelerado em barras de argamassa com seixo rolado



Em caso de ocorrência de agregado reativo com os álcalis e inexistência na região de cimento pozolânico, solução usual para a RAA, devem ser empregadas adições. Tais informações devem ser passadas aos licitantes, pois afetam o custo do concreto.

Finalmente, no Projeto Básico devem ser indicados os instrumentos de auscultação a empregar nas estruturas e suas respectivas localizações preliminares, para possibilitar avaliação de custeio.

3.4 PROJETO EXECUTIVO

Uma das primeiras atividades da Tecnologia no Projeto Executivo é a elaboração de “Programa para o Controle da Qualidade do Concreto”, para estabelecimento dos ensaios e análises considerados relevantes e suas freqüências. O projetista deve fazer o acompanhamento dos resultados para verificação do atendimento dos valores especificados. Outras atividades desta etapa são: o detalhamento dos desenhos de zoneamento e camadas de concretagem; o detalhamento dos documentos referentes à instrumentação; a elaboração de documentos adicionais, como notas técnicas e especificações complementares. Pode-se considerar que os documentos “as built” constituem a parte final desta etapa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, no que se refere a obras contratadas por órgãos públicos, deve ser atendida a Lei 8666, que estabelece que o projeto básico deve ser detalhado o suficiente para esclarecer quais os serviços a serem executados e os custos da obra. Isto significa que, para que seja possível a licitação, as especificações técnicas de serviços, materiais e equipamentos devem ser as mais completas possíveis, fundamentadas em levantamentos de quantitativos e estudos técnicos.

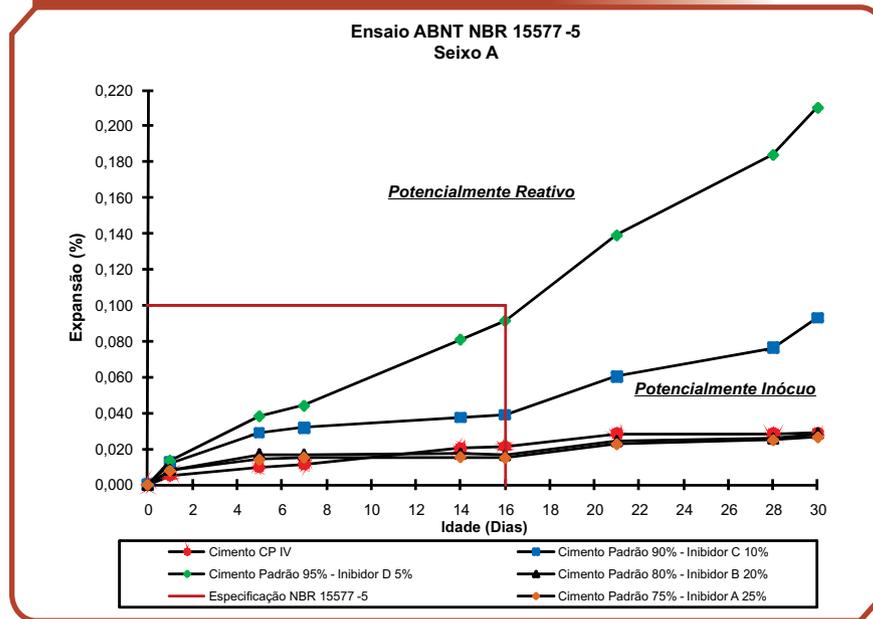
Tal prática deveria ser seguida sempre, mesmo em casos de concessões nas quais o dono estabelece contratações do tipo EPC (*Engineering, Procurement and Construction*), na qual o projeto, o fornecimento e montagem dos equipamentos e a construção civil ficam a cargo do vencedor.

Apesar da lei, o que se observa, em termos simples, é a tendência de se li-

citar obras civis com informações derivadas de investigações incompletas, com transferência da responsabilidade por estudos ao empreiteiro e sem definições claras quanto aos diversos aspectos técnicos que afetam o custo das obras.

Tal tendência talvez não explique o aumento de incidentes em UHEs e barragens, como Algodões, Apertadinho, Camará e Espora, mas, certamente, não contribuirá para a redução da probabilidade de tais ocorrências.

Figura 7 – Ensaio acelerado em barras de argamassa com seixo rolado A cimento + inibidores



Referências Bibliográficas

- [01] Salles, F.M.; Vieira Jr, L. P. (2010) “Diretrizes para o projeto e o controle de qualidade da construção de aproveitamentos hidrelétricos em concreto”. - VII Simpósio sobre Pequenas e Médias centrais Hidrelétricas, São Paulo - SP.
- [02] Vieira Jr, L.P.; Almeida Jr, W; Andrade, J. R. A. & Salles, F. M. (1999) “Requisitos de Projeto e Controle de Qualidade da Execução das Estruturas de Concreto da UHE Eng. Sérgio Motta”. - XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte - MG.
- [03] Andriolo, F. R. & Sgarboza, B. C. (1993) “Inspeção e Controle de Qualidade do Concreto” - Newswork, São Paulo - SP.
- [04] Salles, F.M.; Celeri, A. & Almeida Jr, W. (1999) “Contribuições Técnicas e Econômicas Resultantes do Controle Tecnológico Desenvolvido na Construção de Barragens” - XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte - MG.
- [05] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 6118:2007 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.
- [06] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7211:2009 - Agregado para concreto.
- [07] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15577-1:2008 - Agregados - Reatividade álcali- agregado Partes 1 a 6. ■

mantenedor

Ministério das Cidades homologa empresa pernambucana como Instituição Técnica Avaliadora

A pernambucana TECOMAT, há quase 19 anos no mercado da construção civil, acaba de ser homologada pelo Ministério das Cidades como uma ITA - Instituição Técnica Avaliadora, que avalia o desempenho de sistemas construtivos inovadores ou ainda não disseminados no mercado, utilizados sobretudo na construção de habitações populares do programa federal *Minha Casa, Minha Vida* (MCMV). A empresa passa a ser a primeira Instituição credenciada pelo SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores) fora do Estado de São Paulo, onde estão localizadas as outras quatro ITAs. “Essa é uma grande conquista para a construção civil da região, já que as construtoras terão mais uma opção para realizar os ensaios de desempenho”, afirma o engenheiro e diretor da TECOMAT, Joaquim Correia.

Os materiais, componentes e

sistemas construtivos de qualquer obra precisam ser analisados levando-se em consideração seus comportamentos em uso. Por esse motivo, tais ensaios de desempenho devem ser feitos para proporcionar maior qualidade às moradias. “Com o surgimento do programa *Minha Casa, Minha Vida* era previsível que as moradias não seriam construídas com sistemas construtivos convencionais de blocos cerâmicos e de concreto. Para atender aos curtos prazos das construções, novas tecnologias passam a figurar no setor, como as de paredes pré-fabricadas de concreto ou moldadas no local, de isopor, PVC, dentre outras, cujos comportamentos a médio e longo prazo precisam ser avaliados”, alerta o



diretor da TECOMAT, Joaquim Correia.

A CEF, responsável pelos financiamentos do programa MCMV, financia as habitações construídas com sistemas tradicionais e, no caso dos sistemas inovadores, ela exige, antes da aprovação do financiamento, que o sistema proposto seja avaliado utilizando-se as normas de desempenho e seguindo as diretrizes propostas pelo SINAT.

Os ensaios de desempenho analisam itens como desempenho estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade, segurança no uso e operação, desempenho térmico, acústico e de luminosidade, além de saúde, higiene e qualidade do ar. Fatores como funcionalidade e acessibilidade do projeto, durabilidade e manutenção, adequação ambiental, e conforto tátil, visual e antropodinâmico da tecnologia também são estudados.

Segundo Joaquim Correia, o setor demandará bastante esses ensaios de desempenho muito em breve, não apenas por conta das exigências da Caixa

Econômica Federal (CEF) para financiar as habitações do MCMV, mas porque entrará em vigor a Norma de Desempenho (NBR 15575), aplicável a todos os tipos de obras imobiliárias. “Ela traz uma nova filosofia de avaliação em relação ao que estamos habituados, não se preocupando exclusivamente com os materiais utilizados nas obras, mas, de forma mais ampla, com o fato de o sistema atender ou não às necessidades do usuário”, explica Correia.

Nesses termos, também as construtoras que atuam no mercado imobiliário de médio e alto padrão deverão analisar os sistemas e componentes empregados nas suas obras para atendimento às exigências de desempenho. “Trata-se de um mercado muito importante, pois as próprias empresas construtoras ainda necessitam, num primeiro momento, conhecer melhor o comportamento em uso dos seus produtos, para em seguida adequá-los a essa nova realidade normativa”. ■



Programa IBRACON de Qualificação e Certificação de Pessoal



Acreditado pelo INMETRO para certificar mão de obra da construção civil



O IBRACON é Organismo Certificador de Pessoas, acreditado pelo INMETRO.

Como primeira etapa desta conquista, o Instituto vem certificando **auxiliares, laboratoristas, tecnologistas e inspetores** das empresas contratantes, construtoras, gerenciadoras e laboratórios de controle tecnológico.

O certificado atesta que o profissional domina os conhecimentos e as práticas requeridos na atividade de controle tecnológico do concreto, entre os quais as especificações e os procedimentos de ensaios prescritos nas normas técnicas.

É a **garantia da qualificação do pessoal** de sua empresa!

Inscrições abertas!

PARA MAIS INFORMAÇÕES

Acesse: www.ibracon.org.br | Ligue: 11-3735-0202 | Email: qualificacao@ibracon.org.br

obras emblemáticas

jirau

Usina hidrelétrica Jirau

JOSÉ ANTÔNIO CLARETE ZANOTTI - GERENTE EXECUTIVO UHE JIRAU
CONSTRUÇÕES E COMÉRCIO CAMARGO CORRÊA S/A

INTRODUÇÃO

A UHE Jirau terá potência instalada de 3.750 MW e energia assegurada de 2.184 MW, energia suficiente para abastecer mais de 10 milhões de residências.

A obra está inserida no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do governo federal e o início de geração comercial está previsto para outubro de 2012.

Durante as fases de construção, está prevista a geração de 50.000 empregos, sendo 20.000 diretos e 30.000 indiretos.

Jirau é uma usina de baixa queda com operação de turbinas Bulbo, permitindo a redução da altura da barragem e área do reservatório e proporcionando um menor impacto ambiental, sendo o modelo mais indicado para região amazônica, local de implantação do projeto.

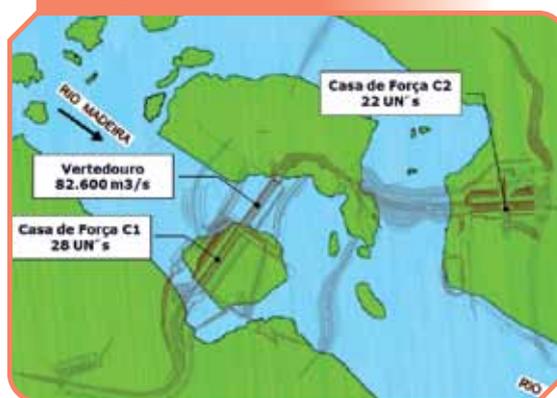
LOCALIZAÇÃO

A UHE Jirau localiza-se na Ilha do Padre, no Rio Madeira, a cerca de 120 quilômetros da capital de Rondônia, Porto Velho.

Figura 1 - Localização da UHE Jirau



Figura 2 - Arranjo geral das principais estruturas



ARRANJOS DO PROJETO

O projeto da UHE Jirau compreende, no geral, barragens de enrocamento com núcleo de argila e de material asfáltico com comprimento total do barramento de 7.570 m e cota de coroamento da crista na elevação 93,5 m, localizadas à esquerda, à direita e entre as duas casas de força, formadas por 50 unidades geradoras, sendo 28 unidades geradoras na casa de força C1 - margem direita e 22 unidades geradoras na casa de

Figura 3 - Arranjo geral com principais estruturas, canteiros e acampamentos





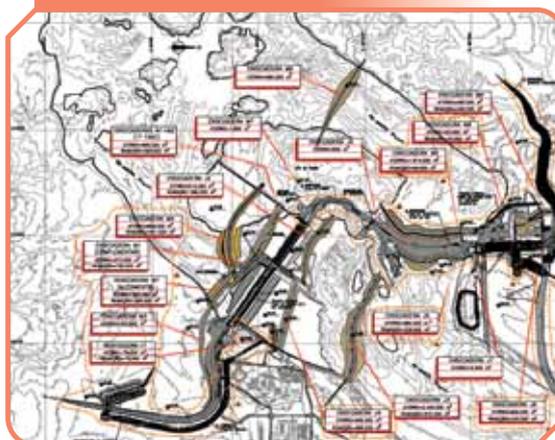
Foto 1 - Situação das obras no Vertedouro

força C2 - margem esquerda, com potência individual de 75MW; e um vertedouro central, de comportas tipo Segmento, com 18 vãos e cota de soleira de El 64m, dimensionado para uma vazão 82.600m³/s.

ETAPAS DE EXECUÇÃO

As atividades de implantação do projeto iniciaram-se em novembro de 2008 e as etapas construtivas estão em fase bastante avançada: em andamento, as estruturas das

Figura 4 - Arranjo das ensecadeiras



casas de força em ambas as margens do rio Madeira; e em fase final de execução, o vertedouro, que possibilitará realizar o desvio do rio, previsto para setembro deste ano. O início da geração comercial está previsto para abril de 2013 na casa de força C1 e, para outubro de 2012, na casa de força C2.

Dos 60 milhões de metros cúbicos de escavação em terra e rocha previstos, foram executados até o momento 41 milhões de

Tabela I - Dados técnicos da UHE Jirau

Potência instalada (50 unid x 75 MW)	3.750 MW
Turbinas - tipo	Bulbo com rotor Kaplan
Turbinas - Vazão Nominal Unitária	542 m ³ /s
Queda de referência	15,1 m
Reservatório - (NA máx normal)	El 90 m
Reservatório - Área (NA máx normal)	302,6 Km ²
Barragem - Comprimento total da crista	5.957 m
Barragem - Cota do coroamento	93,5 m
Vertedouro - Comportas tipo Segmento	18 vãos (20 x 21,82 m)
Vertedouro - Vazão (Tr 10.000 anos)	82.600 m ³ /s
Vertedouro - Cota da soleira	El 64 m

Tabela 2 – Principais quantidades

Serviço	Volumes previstos (m³)	Volumes executados até Julho/II (m³)	Avanço físico (%)
Concreto MD	1.480.991	737.680	49,81%
Concreto ME	1.175.660	329.230	28,00%
Concreto	2.656.651	1.066.911	40,16%
Escavação Comum	34.895.442	24.657.567	70,66%
Escavação em Rocha	16.021.127	12.745.010	79,55%
Recarga de Rocha	5.292.548	2.684.188	50,72%
Remoção Ensecadeira	4.377.000	1.333.579	30,47%
Escavações	60.586.117	41.420.344	68,37%
Barragem	6.445.498	1.957.791	30,37%
Enrocamento	3.688.816	3.048.541	82,64%
Transições e Filtros	812.990	459.914	56,57%
Aterro em Solo	8.477.130	5.570.131	65,71%
Aterros	19.424.434	11.036.378	56,82%

metros cúbicos, perfazendo quase 70% do total. Em fase avançada, encontram-se também os aterros das barragens, tendo sido empreendido quase 57% do previsto em projeto.

A obra demandará um volume total de concreto de 2.656.651m³, equivalente ao usado na construção de 55 Empire States Buildings. Até o momento, foram lançados 1.066.911m³, o que corresponde a 40% da quantidade prevista.

As centrais industriais são formadas por quatro centrais de concreto e três plantas de britagem, sendo, na margem esquerda, duas centrais de concreto, uma com capacidade de 120 m³ por hora, a outra com capacidade de 200 m³ por hora, ambas

equipadas com fábricas de gelo; e por duas centrais de britagem, com capacidades de 350 t por hora e de 250 t por hora. Na margem direita, mais duas centrais de concreto, ambas com capacidade de 200 m³ por hora e equipadas com fábricas de gelo e por uma central de britagem, com capacidade de 900 t por hora, equipada com retomada refrigerada para alimentação das centrais de concreto.

PRODUÇÃO, CONTROLE E LANÇAMENTO DO CONCRETO

Estão sendo utilizados concretos convencionais (CCV), com lançamento atra-



Foto 2 - Situação das obras na Casa de Força C2 (primeira etapa) - Margem Esquerda

Figura 5 – Etapas de construção

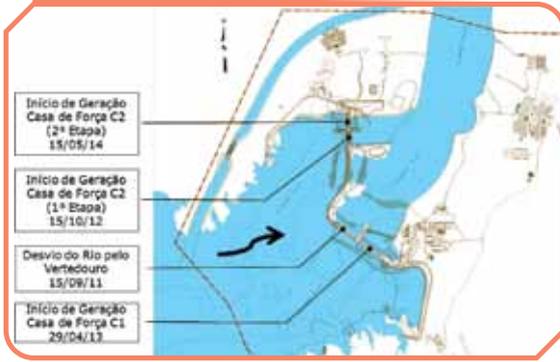
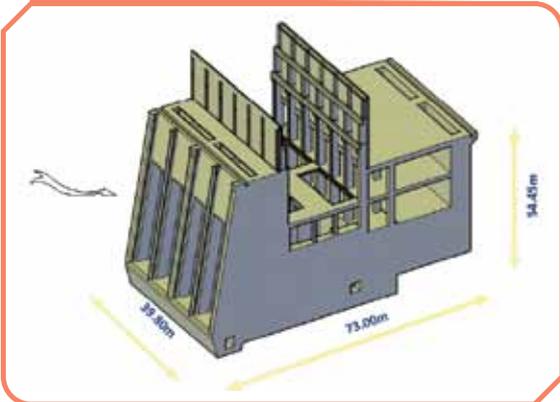


Figura 6 – Bloco típico da Casa de Força C1



vés de caçambas, correias transportadoras e bombas, além do concreto compactado com rolo (CCR) e de concretos autoadensáveis em áreas restritas.

A dosagem do concreto é feita com agregados artificiais (rocha granítica) e cimento CP IV produzido em Porto Velho (de baixo calor de hidratação, cuja pozolana consiste de argila caulínica calcinada, em teor de 33 a 35% em massa; neste cimento, a finura é maior que em cimentos com outros tipos de pozolanas). Os agregados são oriundos das escavações obrigatórias e de pedreiras. As dosagens foram realizadas no laboratório da obra, onde foram realizadas mais de 800 dosagens desde o início da obra, contemplando todas as mudanças de materiais ocorridas durante a obra, além de otimizações de aditivos e cimento. Foram especificados concretos com fck de 6, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 MPa, em idades de controle de 28, 90 e 180 dias. Os concretos da face hidráulica, além da resistência, têm estabelecido fator a/c máximo, de 0,45 (ogiva do vertedouro) e 0,50 (faces verticais).

Os concretos de maiores resistências foram dosados com aditivos superplastificantes, o que proporcionou considerável

redução de consumo de cimento e, com isso, menor necessidade de refrigeração.

As temperaturas de lançamento do concreto foram definidas em estudos térmicos, visando minimizar os riscos de fissuração térmica. São lançados concretos com temperaturas a partir de 15°C, com adição de gelo em substituição de parte da água.

PRINCIPAIS ESTRUTURAS - MARGEM DIREITA

CASA DE FORÇA C1

O bloco típico contém duas unidades geradoras e seu volume de concreto é da ordem de 54.000 m³.

A Casa de Força C1 é formada pelas seguintes estruturas:

- Tomada de água: tipo gravidade

Gráficos 1 e 2 – Principais tipos de fôrmas e métodos de lançamento de concreto nas estruturas da Margem Direita (Casa de Força C1 e Vertedouro)

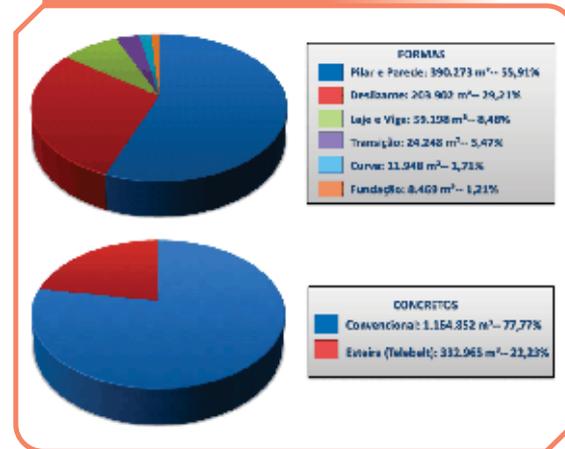
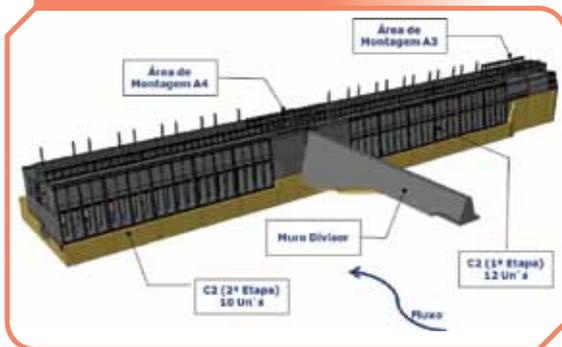


Figura 7 – Localização das barragens



Figura 8 – Arranjo da estrutura



Gráficos 3 e 4 – Principais tipos de fôrmas e métodos de lançamento de concreto da Casa de Força C2

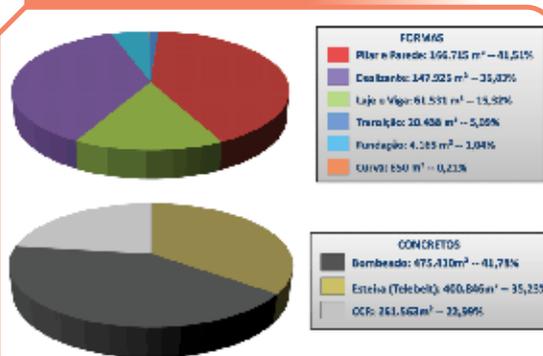
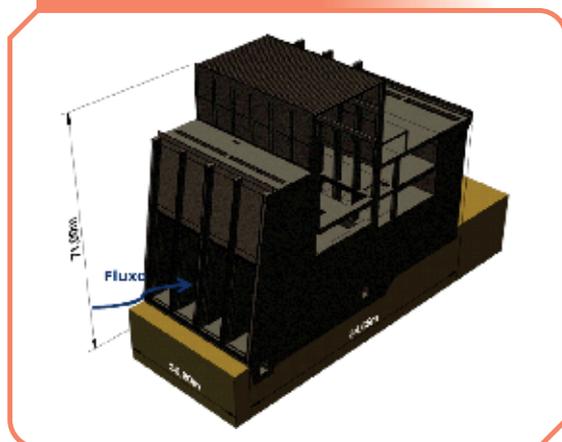


Figura 9 – Bloco típico da Casa de Força C2



- Comportas: tipo ensecadeira
- Largura das comportas: 7,3 m
- Altura das comportas: 19,1 m

O volume total de concreto para a Casa de Força C1 e suas áreas de montagem será da ordem de 965.407 m³.

VERTEDOURO

Projetado para uma vazão de 82.600m³/s, é formado por 18 vãos, com comportas tipo segmento, com 20m de largura e 21,82m de altura. Na estrutura serão usados 497.535m³ de concreto.

BARRAGEM

Barragem de enrocamento com núcleo de argila nas margens direita e esquerda da Ilha do Padre e barragem de enroca-

Tabela 3 – Principais empresas envolvidas no projeto

Consórcio empreendedor	Energia Sustentável do Brasil (Suez Energy International; Chesf; Eletrosul; e Camargo Correa)
Engenharia do proprietário	Leme Engenharia
Projeto executivo	Themag
Obras civis	Camargo Corrêa
Montagem	Enesa
Fornecedor de equipamentos	Alstom; VHS; Vatech; Dong Fang
Controle tecnológico	Techdam

mento com núcleo de asfalto no leito do rio. O comprimento total do barramento será de 7570m, com altura máxima de 57m.

PRINCIPAL ESTRUTURA – MARGEM ESQUERDA

CASA DE FORÇA C2

Formada por tomada de água tipo gravidade, com comportas tipo ensecadeira, com largura de 7,3m e altura de 19,1m. Seu bloco típico tem comprimento de 85,65m, largura de 39,8m e altura de 71m, com volume de 61.022m³.

Referências Bibliográficas

- [01] Ficha técnica do projeto
 [02] Projetos executivos ■

grandes obras - grandes profissionais

Grandes Barragens Brasileiras e suas histórias

FÁBIO LUÍS PEDROSO

A engenharia brasileira de barragens consolidou-se nos últimos cinquenta anos do século passado. Foram tempos áureos do desenvolvimento técnico nacional e da construção da matriz energética do país.

Para lembrar alguns dos episódios marcantes em termos de tecnologia construtiva e alguns dos profissionais que estiveram à frente deles, a reportagem abordará a seguir alguns dos marcos da engenharia brasileira de barragens, seja por seu pioneirismo, seja por sua grandeza.

Não se pretende com as escolhas fazer qualquer julgamento de valor, mas se trata apenas de rememorar despretensiosamente fatos e personalidades que contribuíram para o desenvolvimento da engenharia brasileira.

COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE PAULO AFONSO

A exploração hidrelétrica do Rio São Francisco remonta a uma trama política e empresarial pouco convencional. Conhecido como Rei do Couro, devido ao seu negócio de comercialização e exportação de peles de cabras e ovelhas, Delmiro Gouveia, cearense da região de Sobral, nas-



Cachoeira de Paulo Afonso, onde se observa a Usina de Angiquinhos

cido em 1863, aniquila seus concorrentes com os preços baixos praticados no Mercado Coelho Cintra, inaugurado por ele, em Recife, em 1899. Sua ousadia comercial coloca-o em desentendimento com o então prefeito da cidade, Esmeraldino Bezerra, e com o todo-poderoso da política pernambucana, o presidente do Senado, Assis Rosa e Silva. A situação leva ao incêndio criminoso do Mercado Coelho Cintra e à sua fuga para Europa.

De volta ao Brasil, com 39 anos, apaixonou-se por uma adolescente, filha natural do governador de Pernambuco no período 1899-1900, o desembargador Sigismundo Antônio Gonçalves, prócer rosista, a quem rapta. Refugia-se na remota Vila de Pedra, de apenas 6 casas, a cerca de 280km de Maceió, mas confluência estratégica de



CETENCO Engenharia

Obras civis no vertedouro de Paulo Afonso IV

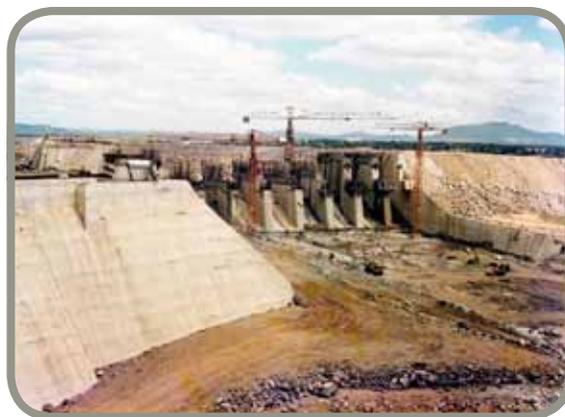
quatro estados, ali instalando seus negócios de pele.

Em 1909, Delmiro Gouveia fez contatos com as firmas Bromberg, do Rio de Janeiro, W.R. Brand Company, de Londres, e a Missão Moore, americana, encomendando projetos de eletrificação com vistas à exploração do potencial da Cachoeira de Paulo Afonso, para gerar energia elétrica para sua Companhia Agrofábrica Mercantil. Em 1911, obtém do governo alagoano a concessão para o aproveitamento hidrelétrico na Cachoeira de Paulo Afonso. Contrata o engenheiro italiano Luigi Borella para construir a Usina de Angiquinho, inaugurada em 1913, marco da geração de energia elétrica no Nordeste, com capacidade geradora de 1500HP, e que funcionou até 1960.

O pioneirismo de Gouveia foi o marco para que, em 1921, por ordem do Ministro da Agricultura, Ildefonso Simões Lopes, no governo de Epitácio Pessoa, um grupo de engenheiros, dentre eles Antônio José Alves de Souza, que, 27 anos depois, viria a ser o primeiro presidente da Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF, promovesse um levantamento topográfico da Cachoeira de Paulo Afonso. Onze anos depois, o engenheiro Franklin Ribeiro chefiasse a Comissão Federal de Estudos do Rio São Francisco e, em 1939, os engenheiros José Augusto Fonseca Rodrigues e Sebastião Penteadó Júnior elaborassem dois anteprojetos de aproveitamento da cachoeira de Paulo Afonso. Mas, foi somente em 1944, que o Ministro da Agricultura, Apolônio Jorge de Farias Sales, entregou ao Presidente da República, Getúlio Vargas, uma exposição de motivos para a construção da Usina Piloto de Paulo Afonso.

A quase totalidade das obras hidrelétricas brasileiras, até a década de 1950, foi projetada e construída por estrangeiros. Mas, com a criação da CHESF, em 1948, para o projeto e construção da Usina de Paulo Afonso I, tendo o governo federal escolhido o engenheiro Otávio Marcondes Ferraz, dono do escritório de projeto O.M.F., muito ativo na implantação de usinas de pequeno porte, como diretor técnico da CHESF, o panorama no setor elétrico nacional começou a mudar (mais tarde, em 1962, Marcondes Ferraz assumiria a presidência das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRAS).

Sob direção do engenheiro Marcondes Ferraz, em 1949, iniciaram-se as obras de barramento do rio, por meio de ensecadeiras celulares, incluindo-se a submersão de uma embarcação a montante da obra e uma treliça suportada por cabos com redes metálicas para reter o enrocamento lançado na água a montante da treliça. O sistema tinha a função de reter os blocos de enrocamento para o fechamento do rio que, devido às altas velocidades de escoamento, não se mantinham estáveis por si só. Além do desvio do rio, outro grande feito da obra foi a escavação de cavernas e túneis de adução e descarga. Com este projeto, iniciou-se, no país, o desenvolvimento de uma nova técnica, a mecânica das rochas, sob coordenação do engenheiro Ernesto Pichler, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), incumbido de realizar os ensaios de pressão em câmara escavada na rocha, para determinar seu módulo de elasticidade.



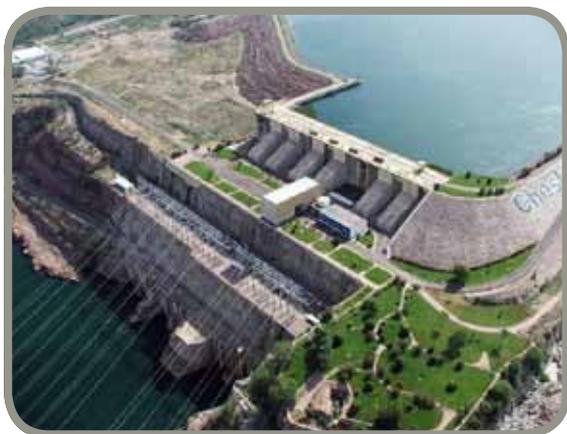
CETENCO Engenharia

Vista geral de etapa de execução do Vertedouro

Na caverna de Paulo Afonso I, inaugurada em 1955, foram instalados três grupos geradores de 65MW cada um. Por outro lado, seis diques de terra e enrocamento constituintes da barragem foram construídos com o material escavado nas cavernas e túneis de adução e descarga.

A construção da usina foi planejada para futuras expansões, viabilizadas com as Usinas de Paulo Afonso II, que entrou em operação em 1961, com potência de 443MW; Paulo Afonso III, cuja tomada de água próxima ao cânion do rio São Francisco possibilitou maior aproveitamento energético, de 794MW, que entrou em operação em 1971; e Paulo Afonso IV, maior e mais moderna do complexo, operada pelas águas desviadas do reservatório principal por um canal de 5600m, com capacidade de 2462MW, que entrou em operação em 1979.

Paulo Afonso I foi projetada e construída pela própria CHESF, com seus engenheiros sob orientação de Marcondes Ferraz, e com consultoria de especialistas franceses da Sogreah (Société Grenobleise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques). No projeto de Paulo Afonso II e III, houve uma contribuição maior da engenharia francesa, por meio da companhia Sofrelec do Brasil Engenharia (Société Française d'Etudes et de Réalisations d'Equipements). Por fim, Paulo Afonso IV, apesar de ter seu estudo de viabilidade e projeto básico elaborados pela Sofrelec, teve seu projeto executivo elaborado por uma empresa inteiramente brasileira, a Themag Engenharia de São Paulo, da qual se falará mais adiante.



Vista aérea da Usina de Paulo Afonso IV

UHE FURNAS

A exploração dos serviços de eletricidade no Brasil, até 1950, era quase um monopólio privado, a cargo, em sua maioria, de concessionárias estrangeiras, sobretudo, o Sistema Light e o Grupo AMFORP (American & Foreign Power Company). Essa situação subsistiu sem grandes problemas até o momento em que o país deixou de ser essencialmente agrícola para se tornar urbano, enveredando-se rumo à industrialização.

A dificuldade, de um lado, por parte das concessionárias, de captação de novos recursos financeiros para atender ao crescimento do consumo de energia elétrica nas suas áreas de concessão e, por outro, do isolamento dos sistemas elétricos que, sem interligação entre si, não podiam intercambiar energia, inviabilizando o aproveitamento de recursos hidrelétricos de grande porte, com potência grande demais para o mercado de cada sistema isolado, levou à convicção generalizada de que o Poder Público teria que intervir, participando do esforço de eletrificação do país.

Com o risco de apagão elétrico nos centros socioeconômicos brasileiros - São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte - o presidente Juscelino Kubitschek assinou, em 28 de fevereiro de 1957, o Decreto Federal nº 41.066, criando a empresa Central Elétrica de Furnas, com a missão de construir e operar no Rio Grande, Minas Gerais, a primeira usina hidrelétrica de grande porte do Brasil.

Os primeiros estudos de aproveitamento hidrelétrico do local começaram a ser desenvolvidos pela Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, no final da década de 1950, como parte de seu plano de fazer um estudo sistemático dos principais rios no estado. O desconhecimento do potencial hidrelétrico do país era enorme à época, sendo avaliado em meros 16000MW pela Divisão de Águas do Ministério da Agricultura. A descoberta do sítio de Furnas foi quase ao acaso. Encarregado pelo diretor técnico da CEMIG, John Cotrim, para a exploração pioneira do trecho entre a cota 900, onde se situava o conjunto hidrelétrico Itutinga-Camargos, e a cota 665, local do reservatório da Usina de Peixotos, no

Rio Grande, com o objetivo de identificar saltos ou corredeiras que pudessem ser aproveitadas para futuras usinas, o jovem engenheiro Francisco Noronha (que chegaria à presidência da CEMIG), foi convidado pelo empresário José Mendes Júnior, fundador da empreiteira que leva seu nome, para pescar nas Corredeiras de Furnas, assim denominado por causa das cavernas escavadas pelas águas nos paredões do desfiladeiro por onde passavam, e ver tais corredeiras e o desfiladeiro. Lá chegando, Noronha constatou estar diante de um sítio de barragem excepcional, uma embocadura de um longo desfiladeiro, capaz de abarcar uma barragem compacta de pelo menos 100 metros de altura.

Tendo passado quinze anos no Grupo AMFORP e vindo da CEMIG, John Cotrim foi convidado a integrar o Conselho de Desenvolvimento do Governo JK, órgão criado para formular e orientar seu Plano de Metas, na função de coordenador da Meta de Energia Elétrica, cuja responsabilidade principal era a formulação dos planos de obras de eletrificação nos quais o governo federal deveria participar. Para o Conselho de Desenvolvimento, John Cotrim trouxe o projeto básico de Furnas quase pronto, com o qual contribuiu, principalmente com os estudos de viabilidade, as consultorias Companhia Internacional de Engenharia - CIE e International Company Incorporation - IECO, que prepararam um relatório das diversas alternativas de aproveitamento do potencial hidrelétrico de Furnas, com quantidades e custos detalhados, de forma a servir de base para a Meta de Energia Elétrica.

Segundo relata Cotrim no livro “A história de Furnas”, o Projeto Furnas calhava com perfeição, em termos de capacidade geradora ao que o momento exigia. Estudos promovidos pelo Conselho do Desenvolvimento vieram mostrar que a Região Centro-Sul do país requeria uma ampliação de capacidade geradora de pelo menos 1000MW, número assustador para a época, se for levado em conta que representava quase um terço da capacidade total instalada no país. Além disso, localizava-se em

posição estratégica, numa posição equidistante do triângulo formado por Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, o que permitiria dar início à almejada integração dos sistemas elétricos da região. Outra vantagem citada é que o grande reservatório criado pela barragem de Furnas, além de aumentar a potência instalável no local, enriqueceria, pelo efeito da regularização da vazão, todos os aproveitamentos a jusante futuros, no próprio Rio Grande e, mais além, no Rio Paraná.

A hidrelétrica começou a ser construída em 1958, tendo o engenheiro John Reginald Cotrim no comando da obra. Nascido em Manchester, Inglaterra, Cotrim formou-se pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro, em 1936. Permaneceu em Furnas Centrais Elétricas por 17 anos, afastando-se dela somente para dirigir os trabalhos de construção da Usina de Itaipu, em 1974, da qual se falará adiante.

A construção das obras civis estava a cargo da Construtora Anglo-Brasileira de Construções, consórcio formado pelas empresas George Wimpey e Companhia Construtores Nacional.



Dr. John Cotrim, presidente da Eletrobras Furnas, na estrutura situada no emboque do túnel de desvio



Vista geral da Usina Hidrelétrica de Furnas

No final de 1962, as comportas dos túneis de desvio eram fechadas, ao passo que se concluíam as construções da casa de força e da barragem principal, composta por uma barragem de enrocamento com núcleo de argila, com comprimento de 550m e altura de 127m, com volume de 9,5 milhões de metros cúbicos de terra, e por uma barragem de concreto, com volume de 426.202m³. Foi também construída uma barragem auxiliar de terra e enrocamento, no Rio Pium I, com 680m de comprimento e volume de 2,6 milhões de metros cúbicos, para evitar a vazão das águas para a bacia vizinha do Rio São Francisco.

Com o fechamento dos túneis de derivação, formou-se um dos maiores reservatórios do mundo, com 1450km² de área e volume de 23 bilhões de m³, mudando para sempre a história dos 34 municípios ao seu redor.

Segundo Cotrim, foi em Furnas que se tornou patente que estava surgindo no país uma geração de técnicos genuinamente nacional, bem formada e séria, que vinha para ficar.

COMPLEXO URUBUPUNGÁ: ILHA SOLTEIRA E JUPIÁ

No contexto de crescimento econômico e industrialização do país, no pós-guerra, com a iminência de crise de abastecimento energético na Região Centro-Sul do Brasil, foi formada, em 1953, a Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai (CIBPU), num encontro de representantes dos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Mato

Grosso e Goiás. O objetivo da CIBPU era promover o estudo de aproveitamento hidrelétrico do Rio Paraná. Sete anos depois, a CIBPU contratou a Societé Edison, de Milão (Itália), para elaborar um anteprojeto de aproveitamento hidrelétrico do Salto de Urubupungá, que concluiu pela construção de duas barragens, distantes em 60km: a barragem de Jupuíá e a barragem de Ilha Solteira. Para comprometer a obra, a CIBPU, no mesmo ano, construiu a primeira ensecadeira em Jupuíá.

Em 1961, foi criada a Centrais Elétricas de Urubupungá - CELUSA, com a finalidade de construir as duas usinas. Mais tarde, a Celusa integraria, com mais 10 empresas, a Companhia Energética de São Paulo - CESP, atualmente responsável pelo Complexo de Urubupungá.

Com base no projeto da Edison, foi aberta concorrência pública para a construção da Usina de Jupuíá. A Camargo Correa venceu, com uma variante de projeto mais econômica. No projeto italiano havia



Obras civis na futura Usina de Jupuíá

Museu Virtual de Fotos Históricas de Ilha Solteira e Região - Castilho

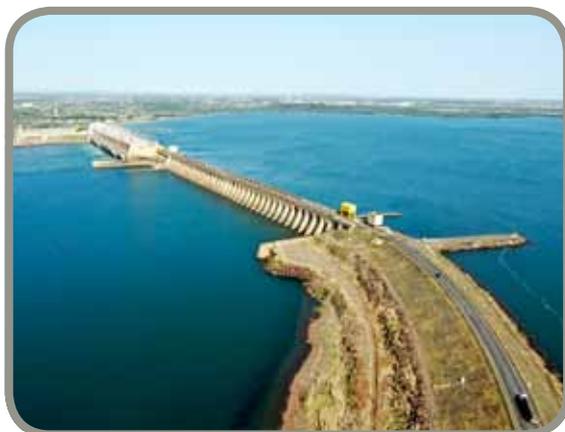


Canteiro de obras em Jupuí

um vertedouro de superfície no leito central do rio; na variante, o vertedouro era de fundo, na margem do estado de Mato Grosso, sendo o rio fechado, no canal central, por uma barragem de terra com enscadeiras de enrocamento.

A Themag, formada pelos antigos consultores das Centrais Elétricas do Rio Pardo - CHERP e da Usinas Elétricas do Parapanema - USELPA, Telemaco van Langendonck, Henrique Herweg, Eugène Josquin, Milton Vargas e Alberto Giaroli, a partir da convocação do diretor técnico de CELUSA, Eng. Souza Dias, ficou encarregada de aprofundar o projeto alternativo.

O volume de concreto usado na barragem, de 1,3 milhões de metros cúbicos, exigiu o emprego, pela primeira vez no Brasil, de equipamentos especiais: uma central automática capaz de produzir 200m³/h; um moinho de clínquer com capacidade de 24t/h; uma fábrica de pozzolana para permitir o uso de agregado da região, com grande conteúdo de sílica ativa;



Vista aérea da Usina de Jupuí

um conjunto para a britagem do agregado; e um laboratório especializado para o controle tecnológico do concreto e do solo da região. Este Laboratório de Solos e Concreto contou com a supervisão do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e estava sob o comando de José Florentino de Castro Sobrinho.

A construção da Usina Hidrelétrica de Jupuí, iniciada em 1962 e concluída em 1968, representou uma escola para os engenheiros brasileiros. A excessiva preocupação com a resistência do concreto resultou em sua retração excessiva na barragem, com o aparecimento de numerosas fissuras de origem térmica. Os engenheiros Epaminondas Mello do Amaral Filho, diretor da Camargo Correa, empresa responsável pelas obras civis, e Heraldo de Souza Gitahy, tecnólogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), correram aos Estados Unidos em busca da consultoria do professor da Universidade de Berkeley, Roy Carlson, que constatou que o concreto possuía resistência muito maior do que a necessária, sugerindo técnicas de recuperação e tratamento do concreto danificado. A consultoria do Prof. Carlson foi também importante para que o concreto massa da obra passasse a ser refrigerado, sendo lançado a baixas temperaturas (15°C).

“Além do conhecimento das alterações volumétricas decorrentes da geração de calor durante a hidratação do cimento no concreto, a construção de Jupuí possibilitou aos técnicos brasileiros dominarem outro fenômeno de deformação do concreto - as expansões decorrentes das reações álcalis agregados silicosos, com o consequente desenvolvimento no emprego de material pozolânico nas várias obras brasileiras para combater a reação deletéria”, contextualiza o engenheiro Francisco Rodrigues Andriolo, que participou, como engenheiro de serviço e como chefe do setor de laboratórios, da construção da usina de Ilha Solteira, iniciada em 1965, antes ainda de finalizada a construção de Jupuí.

O projeto de Ilha Solteira foi inteiramente nacional, desenvolvido pelos consultores da Themag. O mérito da decisão coube a CELUSA que, frente aos estudos

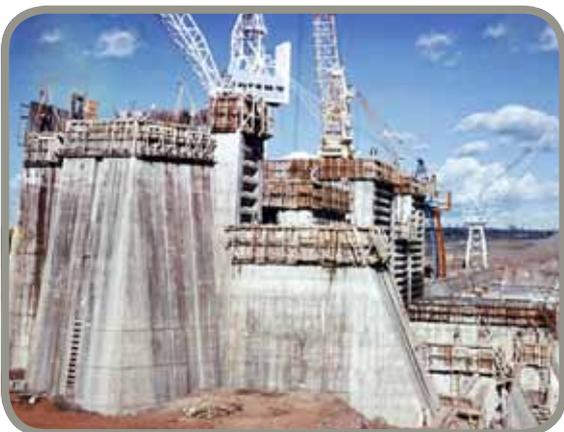


Vista aérea da ensecadeira de Ilha Solteira

de inventário do potencial hidrelétrico dos rios das Regiões Sul e Sudeste, realizados pelo consórcio canadense CANAMBRA Engineering Consultants, e num cenário de progressiva participação estatal no setor elétrico, em nível estadual e federal, já havia estabelecido, desde o começo dos anos 60, metas de nacionalização do conhecimento, no sentido de induzir à formação de empresas nacionais de projeto (Themag, por exemplo), de construção, de montagem e de controle tecnológico das obras.

A construção das obras civis, iniciada em 1965 e concluída em 1973, ficou sob responsabilidade da Camargo Corrêa. Entre os engenheiros que se sucederam na chefia das obras, citam-se: Darcy Andrade de Almeida; Fausto Vaz Guimarães; Alberto Maionchi; José Roberto Monteiro; Níveo Aurélio Villa; entre outros.

A barragem de gravidade consumiu 3,6 milhões de metros cúbicos de concreto. A moagem do clínquer e da pozzolana



Detalhe do Vertedouro de Ilha Solteira

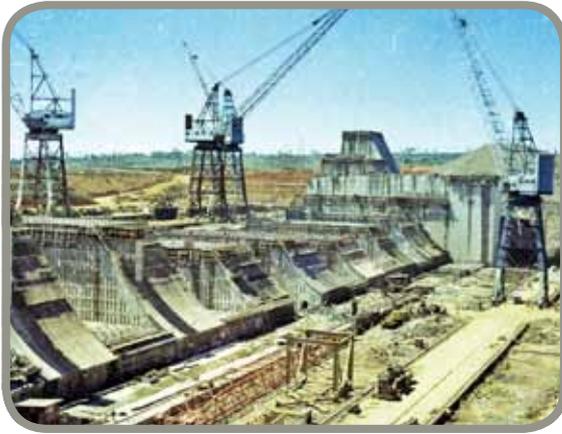
era feita no canteiro das obras de Jupuí, bem como seu controle de finura. Como agregados para o concreto, foram usados a areia e seixos rolados de uma jazida nas vizinhanças de Jupuí, em composição granulométrica com o basalto resultante das escavações das fundações de Ilha Solteira.

Da experiência adquirida em Jupuí resultou a concretagem a baixa temperatura (7°C) da barragem de Ilha Solteira, usando-se gelo no lugar de água de amassamento e agregados resfriados. Foi montada, no canteiro de obras de Ilha Solteira, a maior fábrica de gelo do país. A técnica possibilitou a concretagem mais rápida da barragem e a antecipação do desvio do Rio Paraná em oito meses. Deve ser citada mais uma vez a participação do Prof. Carlson, bem como a participação do professor da Universidade de Sacramento e ex-presidente do American Concrete Institute - ACI, Lewis Tuthill (o professor Tuthill participou de Conferência organizada pelo IBRACON, em 1982), cujas consultorias possibilitaram reduzir o consumo de material cimentício para 85 kg/m³ (cimento=64 kg/m³ e pozzolana =21kg/m³), em Ilha Solteira.

“As participações dos professores Carlson e Tuthill foram importantes para disseminar conhecimentos, práticas, metodologias, tecnologias, rotinas, organizações e sistemas de controle, que foram empregados nas obras da CESP, bem como nas várias obras do setor hidrelétrico brasileiro”, comenta Andriolo.

Por sua vez, os estudos das tensões de tração nos pilares do vertedouro da barragem, através de modelos reduzidos, necessários para a escolha do melhor traçado dos cabos de protensão, desenvolvidos no Laboratório de Estruturas de Concreto, da Escola de Engenharia de São Carlos, sob orientação do engenheiro Dante Ângelo Osvaldo Martinelli, permitiram a redução da espessura dos pilares.

Selmo Kuperman, engenheiro de projeto pela Themag na obra de Ilha Solteira, destaca ainda em termos de tecnologias e metodologias inovadoras aplicadas na obra: o uso de agregados com diâmetro máxima de 152mm; o uso de esteiras transportadoras de concreto; uso de caçambas



Vista geral do Vertedouro de Ilha Solteira

de grande capacidade ($3m^3$); a técnica de injeção de cabos protendidos com calda de injeção, ao invés do uso de argamassa.

O Complexo Urubupungá tem capacidade instalada de 4600MW, divididos em 3200MW para Ilha Solteira (cuja última unidade geradora foi incorporada em 1978) e 1400MW para Jupia (que teve a sua última unidade geradora incorporada em 1974).

UHE ITAIPU

A construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu solucionou um impasse diplomático envolvendo Brasil e Paraguai. Os dois países disputavam, desde o século XVIII, a posse de terras na região de Salto de Sete Quedas. Pelos esforços diplomáticos dos Ministros de Relações Exteriores do Brasil, Juracy Magalhães, e do Paraguai, Sapena Pastor, foi assinado, em 1966, a Ata de Iguazu, pela qual os dois países se compro-



Vista aérea da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira

metiam a estudar o aproveitamento dos recursos hidráulicos pertencentes em condomínio aos dois países, no trecho do Rio Paraná, desde e inclusive o Salto de Sete Quedas até a foz do Rio Iguazu.

A Comissão Técnica Mista Brasileira-Paraguaia, constituída para concretizar as decisões contidas na Ata de Iguazu, contratou, em 1970, o consórcio internacional de empresas americana International Engineering Company (IECO) e italiana Elektroconsult (ELC) para o estudo de viabilidade e o projeto básico do empreendimento. Pelos estudos, uma barragem única deveria ser construída a 14km a montante da Ponte da Amizade, que ligava as cidades de Foz do Iguazu e Presidente Stroessner, num local conhecido pelos tupis como Itaipu, cujo significado é 'a pedra que canta'.

Apesar de um consórcio internacional de empresas, a experiência brasileira tomou parte no projeto, na figura do responsável técnico pela obra, John Cotrin, e do presidente do Conselho dos Consultores das Centrais Elétricas do Brasil - Eletrobras (fundada em 1962), Flávio Lyra, dois profissionais brasileiros que participaram dos estudos de aproveitamento hidrelétrico em Furnas.

Para construir e operar o aproveitamento, foi constituída, em 1974, a empresa internacional Itaipu Binacional, tendo como diretor geral o general brasileiro Costa Cavalcanti e como diretor-adjunto o engenheiro paraguaio Enzo Debernardi. O consórcio IECO-ELC foi mantido como coordenador geral do projeto (cujo profissional encarregado era o engenheiro Gurmukh Sarkaria), além de ter desenvolvido o projeto de obras



Vista aérea da Usina Hidrelétrica Itaipu



Vertedouro aberto em foto aérea

de desvio, a barragem de enrocamento e as especificações dos equipamentos elétricos, mas foram selecionadas projetistas brasileiras para os consórcios responsáveis por partes do projeto executivo:

- **Engevix:** para o vertedouro e a barragem lateral direita;
- **Promon:** para a barragem principal, inclusive a tomada d'água e muros de ligação
- **Themag:** para a casa de máquinas e a área de montagem de equipamentos
- **Hidroservice:** para as barragens de terra e as obras de navegação

Foram contratados 10 consultores estrangeiros, entre os quais se destaca o já mencionado Roy Carlson.

A construção ficou a cargo de um consórcio de empresas brasileiras e paraguaias: Camargo Correa, Cetenco, Companhia Brasileira de Projetos e Obras - CBPO, Andrade Gutierrez e Mendes Junior, pelo lado brasileiro; Barrail Hermanos Construcciones, Compañía General de Construcciones, Ecca, Ecomipa e Ing. Civil Hermann Baumann e Jimenez Gaona&Lima Ingenieros Civiles, do lado paraguaio (UNICON-CO-NEMPA). O engenheiro residente em Itaipu foi Rubens Vianna de Andrade, profissional destacado por seus colegas por sua competência, seriedade, visão e honestidade.

A obra foi iniciada, em 1975, com a escavação em rocha de um canal de desvio de aproximadamente 2km de comprimento, 150m de largura e 90m de profundidade,

que exigiu a remoção de cerca de 27 milhões de m³ de rocha e terra, dos quais 9 milhões foram usados na barragem de enrocamento do lado esquerdo, com 4,3km de comprimento e 70m de altura máxima, ou como agregados para o concreto. Neste canal foi construída parte da casa de força. No leito ensecado, foi construída a outra parte da casa de força, totalizando dezoito unidades geradoras de 715MW cada uma, com espaço para mais duas unidades

de reserva, que foram implantadas apenas em 2007. Na margem direita, construiu-se um vertedouro com capacidade de vazão de 62 mil m³/s e uma barragem de terra. Entre as duas estruturas e por trás da casa de força, foi construída a barragem principal de concreto, com contrafortes, com cerca de 2km de comprimento e 195m de altura máxima.

Existiam duas alternativas para a construção da barragem de concreto: a barragem de gravidade maciça ou a barragem de gravidade aliviada, esta última concebida pelo engenheiro italiano Claudio Marcello, mas que nunca tinha sido construída com a envergadura requerida para o projeto de Itaipu. Os estudos revelaram que a barragem de gravidade aliviada (incluindo as barragens de contrafortes) representava uma economia de 24% no consumo do concreto, com volume total de 5120 mil metros cúbicos. Mesmo a contrapartida de 20% de acréscimo nas fôrmas e de 23% na escavação resultava em economia financeira de quase 30% e redução de prazos de construção. Por isso, a barragem de gravidade aliviada foi o modelo estrutural escolhido.

Em vista do grande volume de concreto em cada lançamento - no pico da produção, foram lançados, num único dia, 14995 m³ de concreto, os concretos foram produzidos a temperaturas não superiores a 7°C, com cimentos com moderado calor de

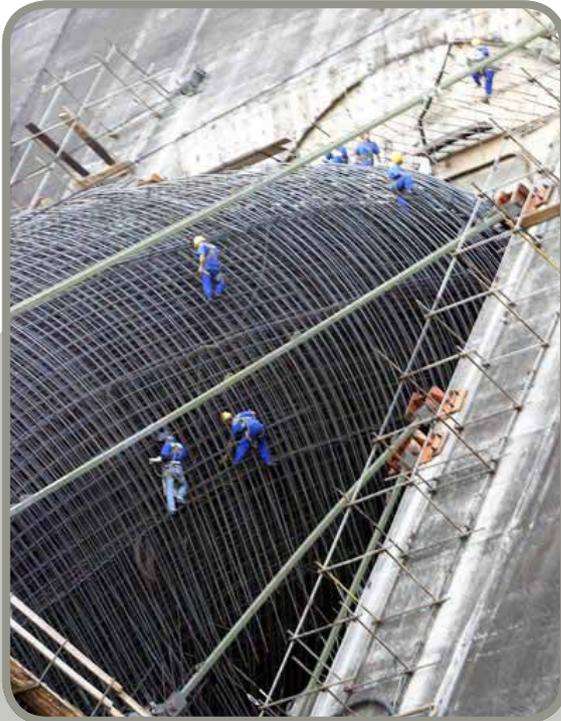


Vista lateral da barragem de Itaipu

hidratação e com cinzas volantes, sendo utilizados, sempre que possível, agregados de 152mm diâmetro máximo, para combater os problemas de origem térmica. No

total da obra, foram usados 13,3 milhões de metros cúbicos de concreto, assim distribuídos: casa de força (3.323.614); barragem principal (7.359.104); vertedouro (792.000); barragem lateral direita (775.000); subestação e linhas de transmissão (42.000). O responsável pelo controle do concreto em Itaipu foi o engenheiro Francisco Rodrigues Andriolo, chefe da divisão de controle do concreto e chefe da assistência às construções de concreto.

Segundo Selmo Kuperman, engenheiro de projeto da Themag, que intermediou as interfaces de projeto e campo em termos de tecnologia do concreto, instrumentação e métodos construti-



Novas unidades geradoras sendo implantadas em Itaipu

vos, “foram usados quase todos os tipos de concreto conhecidos e de métodos construtivos para que a qualidade fosse a melhor, os prazos obedecidos e os projetos rigorosamente seguidos”. Entre as técnicas utilizadas, ele cita: o concreto bombeado, o concreto transportado por esteiras, o espalhamento do concreto com trator de lâminas, as formas deslizantes, o concreto expansivo, o concreto com fibras, o concreto poroso, o concreto estrutural de elevadas resistências à compressão (50MPa), o concreto projetado, além dos variados concretos massa. “A tecnologia do concreto, especialmente o concreto massa, estava bem consolidada no país. No entanto, Itaipu representou um desafio em termos do volume lançado de concreto e da logística exigida na sua construção”, completa.

“Cabe destacar que, no contrapiso de depósito de Itaipu, foi usado, pela primeira vez no Brasil, em 1976, o concreto compactado com rolo (CCR)”, adiciona Kuperman.

A grandiosidade da obra pode ser constatada também pela força de trabalho mobilizada para sua execução. Entre 1978 e 1981, até 5 mil pessoas eram contratadas por mês. No pico da construção da barragem, Itaipu mobilizou 40 mil trabalhadores no canteiro de obras e nos escritórios de apoio do Brasil e do Paraguai.

Em 1982, são fechadas as comportas do canal de desvio. O enchimento do reservatório da usina leva 14 dias, formando uma lâmina de água corresponde a quatro Baías de Guanabara (área de 1400km²). Em novembro, são levantadas as 14 comportas do vertedouro, inaugurando a maior hidrelétrica do mundo em termos de potência geradora (90 bilhões de quilowatts-hora).

UHE TUCURUÍ

A ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil foi fundada em 1973 para realizar estudos do potencial hidrelétri-

co da região amazônica e para desenvolver projetos de fornecimento de energia para a Região Norte do país. A preocupação se justificava: a energia gerada seria consumida, principalmente, pela exploração de recursos minerais da região (bauxita, nos Rios Trombetas e Capim; minério de ferro em Carajás; metalurgia do alumínio das empresas Alunorte e Albrás), sendo que o excedente poderia ser fornecido ao restante do país através do sistema de transmissão interligado.

Dois anos mais tarde, diante do imenso potencial hidrelétrico da bacia do Rio Tocantins, inicia-se a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, que, na época, era uma cidade com 3000 habitantes, que viviam basicamente da pesca e da extração de castanha. “A obra impôs grandes desafios logísticos, tendo em vista ser uma construção em plena selva amazônica. Levar equipamentos, materiais e, sobretudo, pessoas, foi uma tarefa árdua. Falar em pessoas implica ter que construir casas, alojamentos, escolas, hospitais e lazer, ainda mais tendo em vista que não existia, na época, televisão com parabólica, grande fator de fixação de operários em locais distantes dos centros urbanos”, destaca o engenheiro Humberto Gama, engenheiro residente no período de construção da obra.

Foram construídas vilas residenciais com aproximadamente 6300 casas, 24 escolas, 85 alojamentos, dois hospitais, igrejas, cinemas, estabelecimentos co-



Arquivo Eletronorte

Canteiro de obras em Tucuruí

merciais, agências bancárias, clubes esportivos e sistema de captação, tratamento e abastecimento de água, para receber o enorme contingente de mão de obra empregado na obra. Além disso, foi construído um aeroporto, um porto flutuante com capacidade mensal de carga de 42 mil toneladas e outro porto flutuante para cargas unitárias de até 250 toneladas. E feitas melhorias na rede rodoviária regional e implantados mais 840km de estradas com 41 pontes.

“A falta de profissionais com experiência, em razão de outras grandes barragens estarem em construção no país, tornou imperativa a montagem de um centro de treinamento, para a formação de técnicos e de mão de obra especializada, que, mais tarde, participaram da construção das usinas de Balbina e Samuel”, complementa Gama.

Figura de destaque quanto ao projeto, programação e planejamento na UHE Tucuruí foi o arquiteto Paulo Amaro, à época, ligado à diretoria de geração da ELETRONORTE. “Além de figura humana maravilhosa”, adiciona Gama.

A construção da usina, a cargo da Camargo Correa, com base em projeto básico do consórcio Engevix-Themag, foi realizada em duas etapas sucessivas. Na primeira etapa, foram instaladas doze máquinas de 350MW, entre 1975 e 1992, sendo que a primeira unidade geradora entrou em operação em 1984. Na segunda etapa, foram instaladas mais onze unidades geradoras de 375MW, entre 1998 e 2006, totalizando a capacidade instalada de 8370MW. Além disso, foi iniciada, em 1981, a construção do Sistema de Transposição do Desnível de Tucuruí, formado por duas eclusas e dois canais, com o objetivo de assegurar a navegabilidade total do Rio Tocantins.

O volume total de concreto aplicado nas duas etapas de construção foi de aproximadamente 8 milhões de metros



Arquivo Eletronorte

Construção da barragem com lançamento do concreto massa

cúbicos, aos quais se somaram os aproximadamente 1.200.000 m³ de concreto do Sistema de Transposição. “Vale destacar quanto ao controle tecnológico do concreto usado em Tucuruí o profissional Adilson Caldeira de Oliveira, na minha opinião, o melhor técnico de laboratório de concreto que conheci, que também teve participação fundamental em Itaipu”, destaca Gama.

Para dar conta dessa imensa produção, foram montados:

- Pátio de beneficiamento de aço: projetado para um pico de produção de 5750t/mês na primeira etapa, com sua modernização, na segunda etapa, foi redimensionado para a capacidade de produção de 1800t/mês;
- Sistema de britagem: dimensionado para a produção de 1450t/hora de agregado graúdo, na primeira etapa, e de 845t/hora na segunda etapa;
- Dragagem de sucção e recalque, para extração da areia do leito do Rio Tocantins, com capacidade de 580t/hora;
- Sistema de refrigeração: capacidade de produção de gelo, para resfriamento da água de amassamento e do agregado, de 18,35t/hora, na primeira etapa, onde as temperaturas de lançamento do concreto eram de 14 a 16°C; e de 6t/hora, na segunda etapa, onde, com os novos estudos térmicos, foi possível que o concreto fosse lançado a 23 e 27°C;



Arquivo Eletronorte

Detalhe da armadura da Viga Munhão



Arquivo Eletronorte

Vista geral da Usina Hidrelétrica de Tucuruí

- Central de concreto: quatro centrais de concreto verticais, de controles analógicos de operação, com capacidade de 240m³/hora cada uma; na segunda etapa, foram reaproveitadas duas das centrais de concreto, que foram modernizadas com a informatização dos seus controles de operação;
- Laboratórios para execução de ensaios rotineiros de análise físico-química dos aglomerantes e aditivos, de caracterização física dos agregados, de dosagem do concreto e de propriedades elasto-mecânicas do concreto e aço; para a execução de ensaios especiais, como de fluência, de elevação adiabática de temperatura, de coeficiente de expansão térmica e difusividade (primeira etapa); entre outros.

Cabe destacar ainda, com relação à tecnologia do concreto, o uso pioneiro do concreto compactado com rolo

(CCR) em estruturas permanentes: as eclusas do Sistema de Transposição de Tucuruí. “Apesar de hoje em dia, o concreto compactado com rolo ser a primeira opção entre os projetistas de barragens, na época de construção da eclusa, havia fortes resistência a seu emprego como método construtivo”, contextualiza Gama.

Outro ponto a ser destacado é o vertedouro com capacidade de 110000m³/s, o que o coloca entre as maiores estruturas em operação no mundo. Composto por 22 blocos centrais e 2 laterais de transição, tem comprimento de 580m e altura de 86,50m. Foram usados, na estrutura, 2560000m³ de concreto.

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí, com seus complexos problemas logísticos, de tecnologia do projeto, construção, montagem e fabricação de equipamentos, representou a consolidação da engenharia brasileira de barragens.

Referências Bibliográficas

- [01] Brazilian Committee on Large Dams “Main Brazilian Dams: design, construction and performance”, Bcold
- [02] Cotrim, J.R. “A história de Furnas”, Furnas, Rio de Janeiro, 1994
- [03] Gama, H.R; De Menezes, J.B.; Bandeira, O.M.; Lacerda, S.S. “Barragem de Tucuruí, o maior volume de concreto no Brasil”, CONCRETO & Construções Ano XXXIV, nº 42, IBRACON, São Paulo, 2006
- [04] Marcovitch, J. “Pioneiros e empreendedores: a saga do desenvolvimento no Brasil, vol. 3, EDUSP, São Paulo, 2007
- [05] Moraes, J.C.T.B. “500 anos de engenharia no Brasil”, EDUSP, São Paulo, 2005
- [06] Vasconcelos, A.C. “O concreto no Brasil: recordes, realizações e história”, PINI, 2ª edição, São Paulo, 1992 ■

Perspectivas de expansão do parque hidrelétrico

THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA - ENGENHEIRO CIVIL

PAULO ROBERTO AMARO - SUPERINTENDENTE ADJUNTO

DIRETORIA DE ESTUDOS DE ENERGIA ELÉTRICA - DEE, DA EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE

O PLANO DECENAL

O Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE é um dos principais instrumentos de planejamento energético, orientando as decisões relacionadas ao equilíbrio e ao crescimento econômico do país. O PDE traz uma visão integrada da expansão da demanda e oferta das diversas fontes energéticas, abordando gás natural, derivados de petróleo, biocombustíveis, carvão e eletricidade, incluindo nesta última a geração hidrelétrica, termelétrica, nuclear e fontes alternativas. Os estudos associados ao PDE são elaborados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), de acordo com as diretrizes e com o apoio da equipe da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético - SPE/MME e da Secretaria de Petróleo,



Sistema de Geração Hidrelétrica: existente e planejado

Gás Natural e Combustíveis Renováveis - SPG/MME. A versão mais atual do plano, que trata da demanda e da oferta de energia no período de 2011 a 2020, ficou em consulta pública até 30 de agosto.

Tabela I – UHEs já contratadas

Ano	Sudeste/Centro-Oeste		Sul		Nordeste		Norte	
	Projeto	Pot. (MW)	Projeto	Pot. (MW)	Projeto	Pot. (MW)	Projeto	Pot. (MW)
2011	UHE Batalha UHE Símplicio	54 306	UHE Mauá UHE Passo São João UHE São José	350 77 51			UHE Estreito UHE Dardanelos	1.087 261
2012	UHE São Domingos	48					UHE Rondon 2 UHE Santo Antônio UHE Jirau	74 3.150 3.300
2013			UHE Baixo Iguaçu	350			UHE Sto. Ant. do Jari	300
2014			UHE Garibaldi	175			UHE Ferreira Gomes UHE Colider	252 300
2015							UHE Belo Monte UHE Teles Pires	11.233 1.820
Total		408		1.003		0		21.777

A respeito do setor elétrico, no horizonte dos estudos do PDE estão previstos 3.200 MW med de crescimento médio anual da carga no Sistema Interligado Nacional - SIN, algo que significa cerca de 4,6% ao ano, e isso já considerando cenários de ganhos de eficiência energética e de participação da autoprodução. Essa expansão significa investimentos da ordem de R\$ 190 bilhões até 2020.

Ainda de acordo com o PDE 2011-2020, 66% do crescimento total da carga correspondem aos subsistemas Sul, Sudeste/Centro-Oeste e Acre/Rondônia, enquanto os 34% restantes correspondem aos subsistemas Norte, Nordeste e Manaus/Amapá. Cabe observar que o subsistema Acre/Rondônia foi interligado ao SIN em 2009, enquanto a interligação do subsistema Manaus/Amapá está prevista para 2013.

Atualmente, a capacidade instalada total do sistema elétrico brasileiro, excluindo os sistemas isolados, é de cerca de 97 mil MW, que somados aos 6.365 MW da UHE Itaipu não consumidos pelo Paraguai e importados pelo Brasil, totalizam aproximadamente 104 mil MW. Os sistemas isolados, na maior parte localizados na região Norte, totalizam cerca de 2.700 MW.

O PDE 2011-2020 incorpora no seu relatório os leilões de compra de energia elétrica realizados até 2010, o que significa que, até 2013, o cenário de expansão da geração já está definido, com um conjunto de projetos já contratados e/ou em via de implantação; e, de 2014 a 2015, já está parcialmente definido. Esses leilões são promovidos para a compra de eletricidade de projetos a serem

implantados num prazo que varia de 3 a 5 anos (“A-3” e “A-5” e, eventualmente, leilões de reserva e fontes alternativas). Em 2011 e 2012, estão previstos leilões para contratar projetos cujo início de suprimento ocorrerá em 2014 e 2015.

O rol de projetos que compõem o Plano Decenal é selecionado com base nas reais possibilidades de início de geração no horizonte dos estudos, considerando sua viabilidade técnica, econômica e socioambiental. São projetos que se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento. Especificamente no caso das usinas hidrelétricas, consideradas o “carro-chefe” do sistema elétrico brasileiro, os projetos passam por estágios progressivos de desenvolvimento, passando, primeiro, pela etapa de inventário hidrelétrico de bacia e, depois, para estudos de viabilidade e de impacto ambiental. Aprovados os estudos de viabilidade e de impacto ambiental, o empreendimento estará apto a participar efetivamente dos leilões de energia.

É importante ressaltar que o PDE 2011-2020 adotou como principal diretriz a priorização de fontes de energia renovável para atendimento à demanda crescente. Isso significa que são destacados os projetos de grandes e pequenas usinas hidrelétricas, usinas eólicas e térmicas a biomassa, sendo que, desse conjunto, a energia hidrelétrica das grandes usinas tem se mostrado extremamente competitiva, com preços de comercialização de energia nos últimos leilões abaixo dos R\$100/MWh.

Buscando evitar um aumento nas emissões de CO₂, e graças à disponibilidade sufi-

ciente de projetos hidrelétricos em estágio de desenvolvimento compatível com o horizonte do Plano Decenal, bem como fontes alternativas com preços competitivos, não foram indicados novos projetos de usinas termelétricas até 2020. A participação dessas termelétricas na expansão se deve àqueles projetos que já tiveram energia comercializada e que deverão iniciar o suprimento dentro do horizonte do PDE.

A EXPANSÃO HIDRELÉTRICA

Até 2013, a expansão do parque hidrelétrico brasileiro já se encontra contratada, e de 2014 a 2015, parcialmente contratada. A Tabela 1 apresenta o elenco de usinas hidrelétricas já contratadas, até 2015, separadas por região do país. Destaca-se a grande oferta de aproveitamentos localizados na região Norte do país, principalmente na Amazônia, o que demandará muita atenção às questões ambientais e esforço para aprovação dos projetos junto aos órgãos de licenciamento.

Os 109 GW de capacidade instalada de todo o parque gerador brasileiro deverão alcançar os 171 GW em 2020. Ainda assim, de acordo com o Plano Decenal, a participação dos aproveitamentos hidrelétricos, incluindo as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), deverá se reduzir dos atuais 79% para 71% em 2020, graças à forte expansão prevista para a geração das fontes eólica e biomassa.

Conforme estimativas do PDE, os projetos responsáveis pela expansão do parque gerador hidrelétrico no período de 2011 a 2020 representam investimentos da ordem de R\$ 95 bilhões.

As tabelas 2 e 3 apresentam os proje-

tos elencados para a expansão do parque de geração hidrelétrica, até 2020. A Tabela 2 apresenta os projetos que já tiveram concessão outorgada no passado e se estima que possam iniciar sua geração a partir de 2018, enquanto a Tabela 3 apresenta os projetos previstos para contratação em leilões futuros.

Após a realização dos leilões para compra de energia dos aproveitamentos Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, e Belo Monte, no rio Xingu, essas usinas estão atualmente em construção. Espera-se que agora os esforços sejam concentrados na viabilização das usinas do rio Tapajós e Jamanxim, no Pará, especialmente a UHE São Luiz do Tapajós, aproveitamento indicado recentemente como sendo projeto estratégico de interesse público, estruturante e prioritário para efeito de licitação e implantação, na Resolução nº 3 do CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), de 5 de maio de 2011.

É muito interessante observar que a participação da região Norte na oferta de energia no SIN deve saltar dos atuais 10% para 23%, em 2020, ultrapassando os 28 mil MW de potência instalada. Sabe-se que essa região concentra grande parte do potencial hidrelétrico ainda não aproveitado no país. Somente as UHEs Belo Monte, no rio Xingu, e Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, deverão representar 10% da capacidade total do SIN em 2020. Já, as usinas do rio Teles Pires, Tapajós e Jamanxim, deverão corresponder a 4% do total instalado em 2020.

VOLUME DE OBRAS

Para dar conta da expansão prevista, um volume impressionante de obras será necessário.

Tabela 2 – UHEs com concessão outorgada no passado com previsão de implantação

Ano	Projeto	Rio	Pot. (MW)	Região
2018	UHE São João	Chopim	60	Sul
	UHE Cachoeirinha	Chopim	45	Sul
	UHE Couto Magalhães	Araguaia	150	Sudeste/Centro-Oeste
2019	-	-	-	-
2020	UHE Pai Querê	Pelotas	292	Sul
	UHE Baú I	Doce	110	Sudeste/Centro-Oeste
	UHE Tijuco Alto	Ribeira do Iguape	129	Sul
Total			786	

Tabela 3 – UHEs previstas para contratação

Ano	Projeto	Rio	Pot. (MW)	Região
2016	UHE Sinop	Teles Pires	400	Norte
	UHE Ribeiro Gonçalves	Parnaíba	113	Nordeste
	UHE Cachoeira	Parnaíba	63	Nordeste
	UHE Estreito	Parnaíba	56	Nordeste
	UHE São Roque	Canoas	145	Sul
	UHE Uruçuí	Parnaíba	134	Nordeste
	UHE São Manoel	Teles Pires	700	Norte
2017	UHE Foz do Apiacás	Apiacás	230	Norte
	UHE Água Limpa	Das Mortes	320	Sudeste/Centro-Oeste
	UHE Castelhana	Parnaíba	64	Nordeste
2018	UHE São Luiz do Tapajós	Tapajós	6.133	Norte
	UHE Riacho Seco	São Francisco	276	Nordeste
	UHE Toricoejo	Das Mortes	76	Sudeste/Centro-Oeste
2019	UHE Davinópolis	Paranaíba	107	Sudeste/Centro-Oeste
	UHE Itapiranga	Uruguai	725	Sul
	UHE Cachoeira dos Patos	Jamanxim	528	Norte
2020	UHE Marabá	Tocantins	2.160	Norte
	UHE Mirador	Tocantins	80	Sudeste/Centro-Oeste
	UHE Telêmaco Borba	Tibagi	120	Sul
	UHE Jatobá	Tapajós	2.336	Norte
	UHE Jamanxim	Jamanxim	881	Norte
	UHE Cachoeira do Cai	Jamanxim	802	Norte
	UHE Torixoréu	Araguaia	408	Sudeste/Centro-Oeste
Total			18.185	

Somente em Belo Monte, o concreto a ser aplicado é da ordem de 2,3 milhões de m³, em Concreto Convencional - CCV e 1,6 milhões de m³, em Concreto Compactado com Rolo - CCR, totalizando 3,9 milhões de m³.

As obras das usinas do Tapajós e Jamanxim, previstas no horizonte do PDE, demandarão um volume de concreto que supera os 6 milhões de m³, algo que equivale a quase 100 Maracanãs. Na bacia do Teles Pires, somando as UHE Teles Pires, São Manoel, Sinop, Colider e Foz do Apiacás, todas com construção prevista até 2020, deverão ser empregados pelo menos 2,5 milhões de m³.

O CCR, além da UHE Belo Monte, também deverá estar presente em diversas barragens. É o caso das UHEs Sinop e São Manoel, por exemplo, que deverão consumir, 350 mil e 150 mil m³, respectivamente, conforme estudos de viabilidade, de responsabilidade da EPE. Na região da UHE Sinop, a barragem de CCR é uma alternativa interessante devido à baixa disponibilidade de solo argiloso, além de permitir um cronograma mais curto.

A questão logística será crítica no planejamento de obras de diversos desses aproveitamentos na região amazônica.

NOVOS ESTUDOS

Nos últimos anos, a EPE esteve à frente dos estudos de inventário hidrelétrico de várias bacias hidrográficas, notadamente na região Norte do país. São grandes bacias, como a do rio Juruena, Branco, Jari, Araguaia, Aripuanã, Sucunduri e Trombetas, bacias amazônicas que, de uma forma geral, são marcadas pelo grande número de áreas legalmente protegidas, como unidades de conservação e terras indígenas. Ainda assim, um grande potencial já foi identificado e o próximo passo é selecionar projetos promissores, para desenvolvimento de estudos de viabilidade.

Dessa forma, além dos projetos que surgem no horizonte do Plano Decenal de Energia, há ainda uma série de aproveitamentos a serem estudados, na busca pela garantia de que novos projetos estejam disponíveis para atender o crescimento da demanda após 2020. Diante das questões socioambientais e as dificuldades logísticas e técnicas que envolvem esses projetos na Amazônia, demanda-se um longo prazo para desenvolvimento e discussão pública. Um grande desafio para todo o setor elétrico. ■

obras emblemáticas

belo monte

Complexo hidrelétrico Belo Monte

ENG. LUIZ FERNANDO RUFATO - DIRETOR DE CONSTRUÇÃO
ENG. HELIO COSTA DE BARROS FRANCO - SUPERINTENDENTE DE ENGENHARIA
ENG. OSCAR MACHADO BANDEIRA - SUPERINTENDENTE DE CONCRETO
NORTE ENERGIA S/A

1. INTRODUÇÃO

1.1 LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO

O complexo hidrelétrico Belo Monte está sendo construído no rio Xingu, nos Municípios de Altamira e Vitória do Xingu, no Estado do Pará. O principal objetivo do projeto é a geração de energia para a implantação do desenvolvimento econômico e social da região. O complexo hidrelétrico, quando totalmente construído em 2019, terá uma capacidade nominal instalada de 11.233,1 MW e se constituirá na terceira maior hidrelétrica do mundo com 24 unidades geradoras, sendo 06 turbinas do tipo Bulbo (233,1MW), no Sítio

Pimental, e 18 turbinas do tipo Francis (11.000MW), no Sítio Belo Monte. O arranjo geral do complexo hidrelétrico de Belo Monte caracteriza-se por apresentar sítios de obras distintos e distantes entre si, desde as obras do barramento propriamente dito do rio Xingu, no sítio denominado Pimental, até o sítio Belo Monte, onde será construída a Casa de Força Principal do empreendimento. A distância entre estes dois sítios, em linha reta, é de aproximadamente 40 km. Entre estes dois sítios, será construído o sistema de adução à Casa de Força Principal, constituído pelo Canal de Derivação com 20 km de extensão e pelo Reservatório Intermediário (formado por diques e canais de transposição).

Foto 1 – Vista aérea do eixo da barragem no sentido montante-jusante no Sítio Pimental



Foto 2 – Vista aérea do eixo da barragem no sentido jusante-montante no Sítio Belo Monte



Dentro dos principais quantitativos das Obras Civas - Projeto Básico, está prevista a aplicação de aproximadamente 2.284.000 m³ de concreto convencional e 1.618.000 m³ de Concreto Compactado com Rolo (CCR). A Fig.1 apresenta um arranjo simplificado com a localização dos sítios Pimental e Belo Monte, Canal de Derivação e Reservatório intermediário e as fotos 1 e 2 a situação atual nos dois sítios no eixo das estruturas.

2. SÍTIO PIMENTAL

O Sítio Pimental compreende o barramento principal do aproveitamento situado no rio Xingu, cerca de 40 km a jusante da cidade de Altamira. Nesta região, o rio Xingu apresenta vários braços com a formação de algumas ilhas. Neste Sítio, fica o conjunto de obras que efetivamente barra o rio Xingu, permitindo a formação do reservatório e a adução de água para o circuito principal de geração do Sítio Belo Monte, através do Canal de Derivação.

A Casa de Força Complementar é equipada com 6 unidades tipo Bulbo com potência unitária de 38,85 MW, totalizando uma potência instalada de 233,1 MW. Na lateral esquerda da Casa de Força, fica a Área de Montagem. A Subestação está loca-

lizada a jusante do barramento e à esquerda do canal de fuga.

O Vertedouro está localizado à direita da Casa de Força Complementar e está dimensionado para descarregar a cheia de 62.000 m³/s e uma vazão máxima provável de 72.300m³/s, com o reservatório na El. 97,50 m (nível máximo maximorum). A estrutura é provida de 20 vãos com 20,00 m de largura e crista na El. 76,00 m.

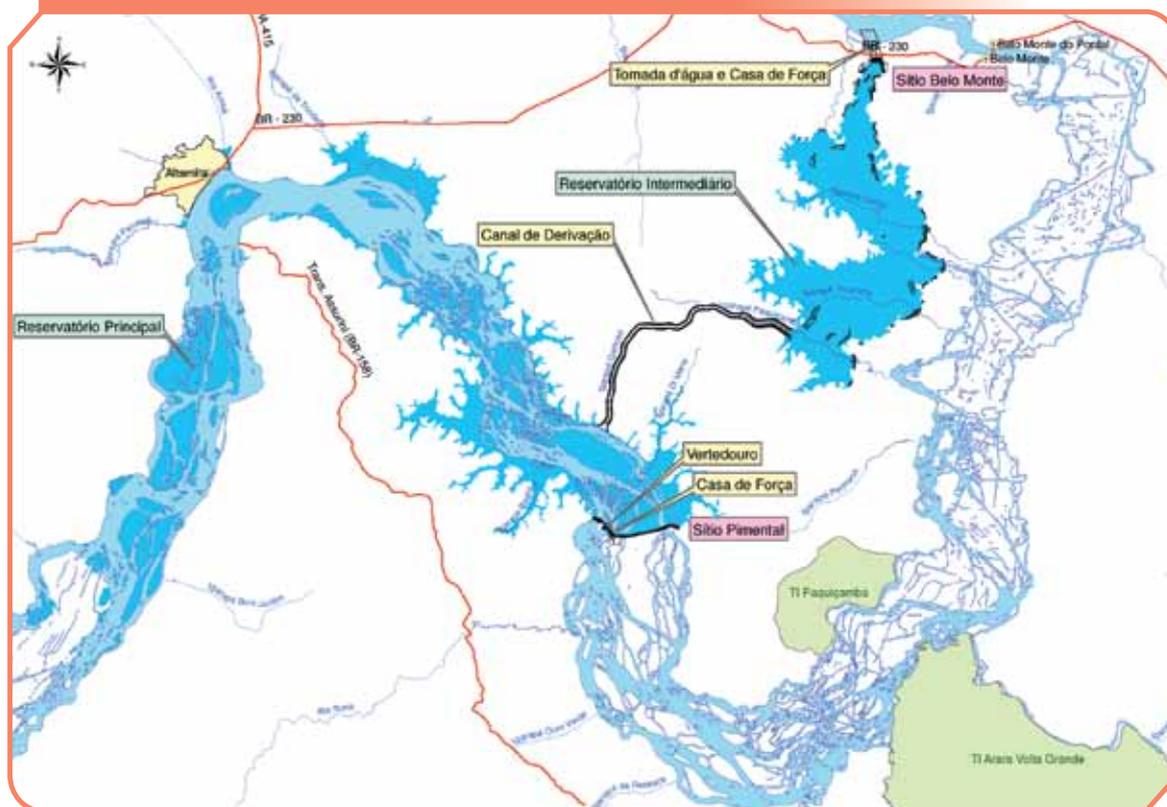
A barragem de Pimental é coroada na El. 100,00 m e é formada por diversos tramos de barragem de terra e/ou enrocamento, adjacentes às estruturas da Casa de Força e do Vertedouro.

À esquerda da Casa de Força Complementar está a Barragem Lateral Esquerda, que se estende por cerca de 5,1 km, sendo que, em grande parte, se desenvolve por sobre a Ilha Pimental. Esta barragem apresenta seção homogênea de solo compactado.

O barramento entre o Vertedouro e a Ilha da Serra, com uma extensão de 250 m, apresenta seção de enrocamento com núcleo argiloso junto à estrutura. No trecho restante, até o fechamento na ombreira, apresenta seção homogênea de terra,

A Barragem do Canal Direito, na calha principal do canal de mesmo nome, é de enrocamento com núcleo argiloso numa

Figura 1 – Arranjo do complexo hidrelétrico com o Reservatório Principal, Sítio Pimental, Canal de Derivação, Reservatório Intermediário e Sítio Belo Monte



extensão de cerca de 760 m. As ensecadeiras de 2ª Fase no leito do rio têm seção de enrocamento com vedação externa em solo argiloso e são parcialmente incorporadas à barragem de enrocamento. Nas ombreiras, a barragem apresenta seção homogênea de terra, semelhante à seção da Barragem de Ligação com a lha da Serra.

O Sistema de Transposição de Peixes será localizado à esquerda da Casa de Força Complementar e compreende um canal de derivação que busca simular as condições naturais de escoamento no rio. A entrada dos peixes está junto ao canal de fuga e é provida de uma estrutura de controle por comporta mitra para atração de peixes. A saída do dispositivo fica junto ao barramento (em posição afastada da Casa de Força) e é provida de estrutura de controle de fluxo e de monitoramento de peixes.

O Sítio Pimental também será provido de um sistema de transposição de pequenas embarcações.

A Fig.2 mostra os detalhes das estruturas componentes do referido sítio.

3. SÍTIO BELO MONTE

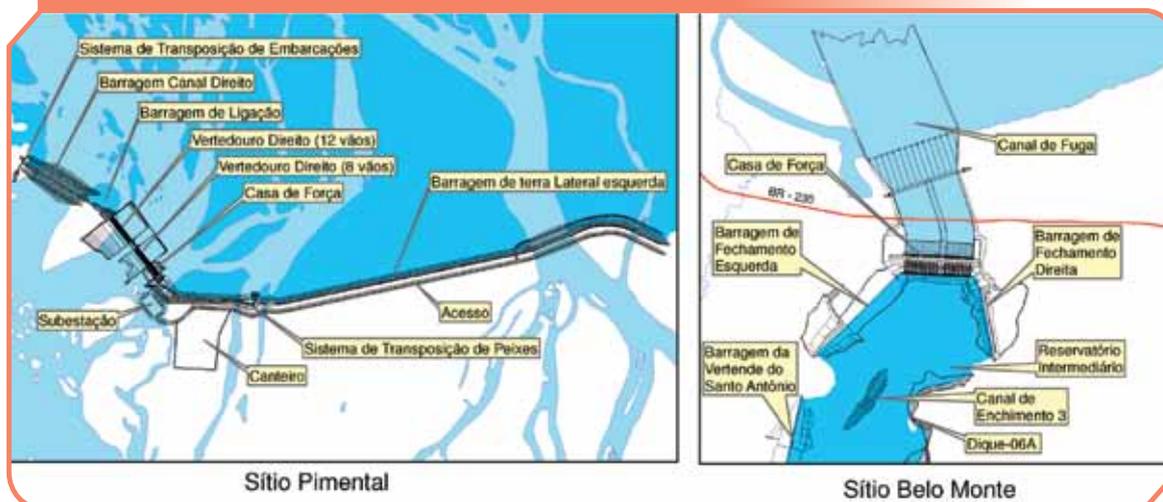
O arranjo das estruturas localizadas no Sítio Belo Monte compreende o circuito de geração propriamente dito, formado pela Tomada de Água, pelos Condutos Forçados, pela Casa de Força e pelo Canal de Fuga, duas Barragens de Fechamento Laterais de terra e enrocamento e a Barragem da Vertente do Santo Antônio.

As estruturas de concreto do barramento do sítio de Belo Monte são formadas por dezoito blocos de Tomada de Água, dois Blocos Centrais de concreto-gravidade e dois Muros Laterais de Fechamento e de abraço das barragens de terra e enrocamento das margens, com extensão total de cerca 819 m e coroadas na elevação 100,00 m.

A Tomada de Água, os Muros Centrais e os Muros Laterais de Fechamentos serão executados num misto de concreto convencional e compactado com rolo (CCR).

A Tomada de Água Principal, do tipo gravidade, é constituída de 18 blocos de 33 m de largura, dos quais partem os condutos forçados em igual número, expos-

Figura 2 – Principais estruturas dos Sítios Pimental e Belo Monte



tos e paralelos entre si, sendo um para cada unidade geradora. Esses blocos são dispostos em dois grupos, sendo que dez blocos se agrupam na direita hidráulica e os oito restantes à esquerda. Esses dois grupos são separados por dois blocos de gravidade, fechando o barramento.

A Casa de Força Principal da usina de Belo Monte abriga 18 unidades com turbinas do tipo “Francis” de eixo vertical, acopladas a um gerador de corrente alternada, trifásico. A potência unitária de cada unidade geradora é de 611,11 MW, totalizando uma potência instalada de 11.0000 MW.

Os blocos das unidades geradoras possuem 33,00 m de largura cada, sendo oito na margem esquerda e dez na margem direita, separados fisicamente por um septo natural de rocha que será remanescente da escavação do local. Este septo possui aproximadamente 52 m de largura e se estende ao longo do canal de fuga, dividindo-o em dois canais.

Existem quatro edifícios de Áreas de Montagem na margem esquerda e um na margem direita, com 33,0 m cada. Mais dois edifícios de Áreas de Descargas (AD), com 20,7 m de largura cada, sendo uma em cada margem.

A Subestação de Manobra que interliga a usina ao sistema de transmissão é do tipo blindada, isolada a gás SF₆, na tensão de 500 kV, e está localizada a montante

dos transformadores elevadores, no deck principal da casa de força principal.

A Barragem de Fechamento Esquerda tem o coroamento na El. 100,00 m, altura máxima da ordem de 88 m e extensão de 1.100 m. A Barragem de Fechamento Direita está coroada na El. 100,00 m, altura máxima da ordem de 54 m e extensão de 780 m.

A Barragem da Vertente do Santo Antônio situa-se à esquerda das estruturas da Tomada de Água em posição vizinha à Barragem de Fechamento Esquerda. A barragem apresenta a crista coroada na El. 100,00, com a cota mais baixa da fundação situando-se aproximadamente na El. 30,00, o que resulta numa estrutura com altura de 70 m. A crista possui uma largura de 5 m e extensão da ordem de 1.310 m.

A restituição das águas turbinadas ao rio Xingu é feita por um Canal de Fuga, escavado em solo e rocha, com cerca de 2 km de comprimento e 620 m de largura.

A jusante no canal de fuga, a cerca de 800 m dos blocos da Casa de Força, existirá uma ponte sobre este canal. Esta ponte faz parte da Rodovia Transamazônica e possui cerca de 720 m de extensão.

4. CANAIS DE DERIVAÇÃO E RESERVATÓRIO INTERMEDIÁRIO

Para o escoamento da vazão máxima turbinada (13.950 m³/s), desde a calha do Rio

Xingu até a Tomada de Água Principal em Belo Monte, é prevista uma série de obras de escavação a serem realizadas, de forma não contínua, ao longo dos 60 km de adução existentes entre os Sítios Pimental e Belo Monte.

Os primeiros 20,2 km da adução correspondem ao trecho onde estão concentrados os maiores volumes de escavação. Foi denominado Canal de Derivação e é dividido em três trechos principais. O trecho inicial apresenta comprimento de 475m da entrada do canal, seguido de 15.720m de um trecho revestido em CCR e terminando com 3.985m do terceiro trecho denominado de "Junção". A transição entre os dois trechos iniciais conta com uma rampa com cerca de 280 m de comprimento.

Os taludes laterais do canal serão revestidos de enrocamento com inclinação de 2,5H: 1,0V, quando escavado em solo, e 0,5V: 1,0H, quando escavado em rocha. Onde o terreno natural estiver abaixo da El. 100,00 m, as laterais do canal serão geometricamente conformadas com a criação de um dique coroado na El. 100,00 m.

O Reservatório Intermediário é formado por 27 diques de contenção que fecham selas ou talvegues de igarapés e estão distribuídos ao longo de todo o reservatório. Além destes diques, na região de Belo Monte, o reservatório é limitado pela Barragem da Vertente de Santo Antonio, pelas Barragens de fechamento lateral esquerda e lateral direita e pela própria Tomada de Água.

Para possibilitar a condução das vazões turbinadas ao longo do Reservatório Intermediário sem perdas de carga excessivas, está prevista a escavação de sete Canais de Transposição distribuídos ao longo do Reservatório Intermediário.

Os diques terão seção homogênea em terra e serão construídos com solos provenientes de áreas de empréstimo localizadas, em sua quase totalidade, dentro da área inundada, de forma a causar o mínimo impacto ambiental. Nos diques que cortam cursos d'água, estão previstos dispositivos de vazão ecológica de forma a manter uma vazão mínima a jusante.

Figura 3 – Reservatório Principal, Canal de Derivação ou de Adução e Reservatório Intermediário

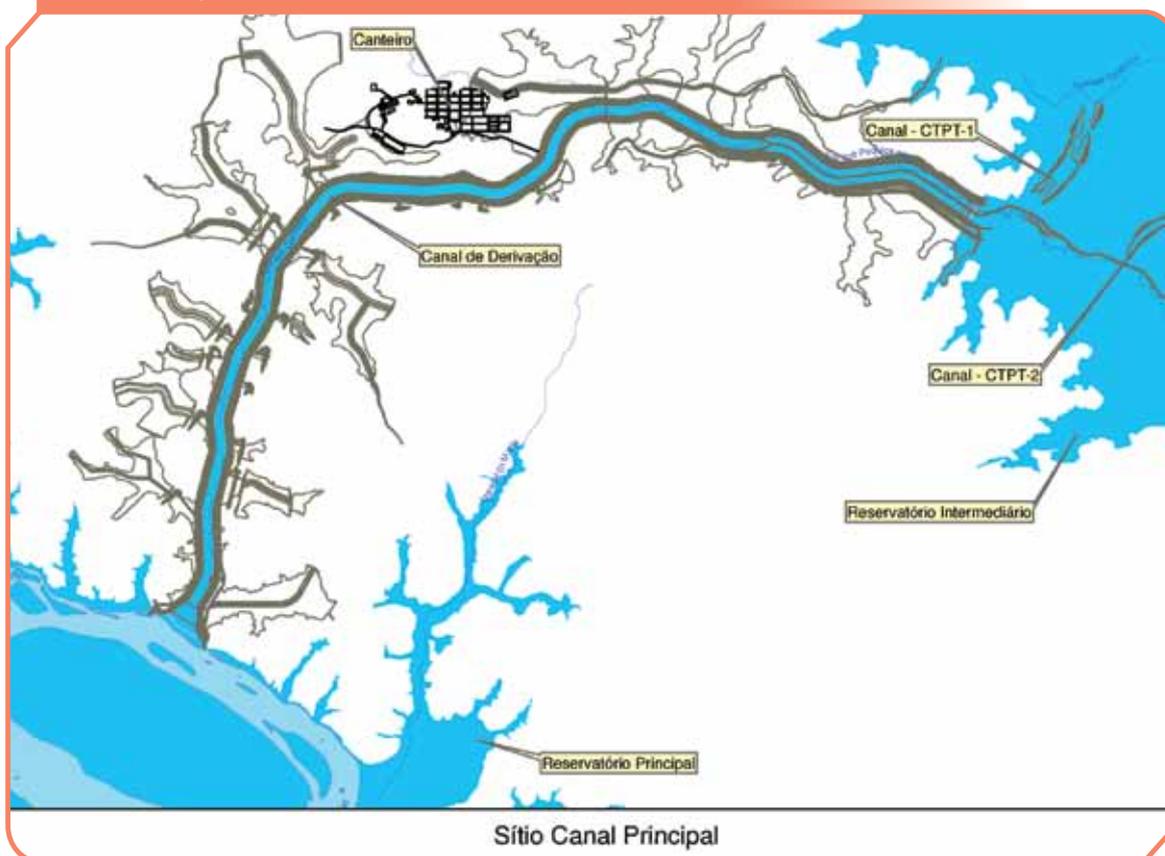


Tabela I – Quantitativos do complexo hidrelétrico de Belo Monte – projeto básico

Item	Volume (m ³)
Escavação comum - estruturas	28.012.000
Escavação em rocha - estruturas	20.454.000
Escavação comum - canais	75.024.000
Escavação em rocha - canais	35.180.000
Ensecadeiras	7.553.000
Aterro em solo	42.117.000
Aterro de enrocamento	26.916.000
Filtros e transições	5.184.000
Concreto convencional - CCV	2.284.000
Concreto compactado com rolo - CCR	1.618.000

5. DADOS PRINCIPAIS DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO

5.1 QUANTITATIVOS DE MATERIAIS DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO

Veja a Tabela 1.

5.2 DADOS PRINCIPAIS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Veja a Tabela 2.

6. PRODUÇÃO DE CONCRETO

6.1 DOSAGENS DE CONCRETO

As dosagens e materiais a serem empregados nos concretos levarão em conta os ensaios de caracterização dos aglomerantes (cimento e pozolana), os ensaios de caracterização dos agregados disponíveis, com a verificação da potencialidade de Reação Álcali-Agregado (RAA) e sua inibição, ensaios de caracterização da água, ensaios de caracterização de aditivos químicos e a caracterização das propriedades mecânicas, elásticas, viscoelásticas e térmicas do concreto com análise das temperaturas e das tensões e deformações oriundas da

retração térmica do concreto, durante seu período de resfriamento.

Com os aglomerantes definidos e os demais materiais para concreto, os estudos de dosagem deverão contemplar, separadamente, os concretos massa e estrutural (convencional e bombeado), contendo cimento comum mais a adição de materiais pozolânicos e aditivos.

A partir dos resultados dos estudos de dosagem e em atendimento às resistências requeridas de cada parte da estrutura, será determinada a resistência à compressão de cada traço, de acordo com os procedimentos contidos no ACI-214.

6.2 TEMPERATURA MÁXIMA DO CONCRETO NAS ESTRUTURAS

O construtor deverá, com base nas suas próprias dosagens, consumos de aglomerantes, alturas de camadas de concreto e intervalos de lançamento dos concretos, decorrente do planejamento de construção das estruturas, elaborar os estudos térmicos para determinar as temperaturas de lançamento dos concretos, de forma a obter as temperaturas máximas do concreto na estrutura, conforme tabela 3.

A temperatura máxima do concreto nas estruturas deverá obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 3.

6.3 CENTRAIS DE CONCRETO

Os canteiros de obra deverão ser equipados com centrais de concreto misturadoras, para produção de concreto convencional e Concreto Compactado com Rolo (CCR), com controle automático, que per-

mitirá obter dosagens que atendam aos requisitos das Especificações Técnicas. Serão dotadas de dispositivos para dosagens em peso de todos os materiais, com silos ou compartimentos, separados para todas as condições de trabalho, para cimento, material pozolânico e agregados,

Tabela 2 – Dados principais das estruturas de concreto

Casa de Força Principal – Sítio Belo Monte	
Tipo	Abrigada
Número de Unidades Geradoras	18
Largura dos Blocos das Unidades (m)	33
Largura da Área de Montagem (m)	29
Comprimento total (m)	850,60
Turbinas - Tipo	Francis
Potência Unitária Nominal (MW)	619,6
Vazão Unitária Nominal (m ³ /s)	773
Rotação (RPM)	85,71
Queda de Referência(m)	86,90

CASA DE FORÇA COMPLEMENTAR – PIMENTAL	
Tipo	Abrigada
Número de Unidades Geradoras	06
Largura dos Blocos das Unidades(m)	3 x 38,1m
Largura da Área de Montagem (m)	55,75
Comprimento total (m)	170,10
Turbinas - Tipo	Bulbo
Potência Unitária Nominal (MW)	40,05
Vazão Unitária Nominal (m ³ /s)	403
Rotação (RPM)	92,31
Queda de Referência(m)	10,80

VERTEDOURO	
Tipo	Soleira baixa com Bacia de Dissipação
Capacidade (m ³ /s) - PMF	72.300
Comprimento Total (m)	494,5
Número de vãos (unid)	20
Largura do vão (m)	20
Comportas Tipo	Segmento
Largura x Altura (m)	20 x 22,3

Tabela 3 - Limites para a Temperatura Máxima do concreto nas estruturas

Situação	Condição	Temperatura máxima no Concreto na estrutura
Junto à fundação, até 10% da altura total da estrutura	Restrição Plena	47° C
Entre 10% e 30% da altura da estrutura sobre a fundação	Restrição reduzida a 80%	51° C
Acima de 30% da altura da estrutura sobre a fundação	Restrição reduzida a 60%	59° C

com capacidade de dosar no mínimo vinte traços pré-definidos, dispondo de meios para identificar e direcionar cada mistura, balanças separadas e adequadas para a medição e controle preciso de cimento, pozolana e agregados que comporão cada betonada e de dispositivos que permitam a observação dos mostradores das balanças, a operação das comportas e a descarga dos materiais.

Além de vários recursos tecnológicos, as centrais serão dotadas de sistema para emissão de relatórios diários, semanais e mensais, que indiquem:

- (i) - todos os traços misturados, com seus respectivos volumes e locais de aplicação, constituindo base de dados (“back up”) de todas as dosagens misturadas na obra;
- (ii) - períodos operativos e não-operativos das centrais, indicando os motivos de interrupção de produção;
- (iii) - últimas calibrações realizadas, bem como datas previstas para novas calibrações.

6.4 CLASSES DE CONCRETO

Os concretos destinados às diversas estruturas e com utilização em locais específicos indicados no Projeto, como preenchimento de cavidades e irregularidades de fundação das estruturas, concreto com características massivas, superfícies hidráulicas sujeitas a diferentes velocidades de escoamento, concreto estrutural, peças pré-moldadas, concreto protendido, concreto secundário das guias de comportas, Concreto Compactado com Rolo - (CCR) nos muros e tomada d água e no fundo do canal de derivação, estão classificados de acordo com a resistência característica

de projeto, a ser obtida em determinada idade, e estão contemplados como mostra a Tabela 4.

7. MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Os métodos construtivos que serão empregados nas estruturas de concreto serão os já tradicionalmente utilizados em outras grandes hidrelétricas no Brasil e exterior, tais como: a utilização de bombas de concreto, correias transportadoras, caçambas de concreto e a técnica já consagrada para lançamento e espalhamento do Concreto Compactado com Rolo - (CCR), a ser empregado nas estruturas da Tomada D água e Muros de Fechamento Direito, Esquerdo e Central do sítio Belo Monte e na cobertura do fundo do canal de adução ou derivação.

Dimensionamentos hidráulicos realizados até o momento indicam que as espessuras da camada de CCR no fundo do canal de Derivação poderão variar entre 30 e 50

Tabela 4 - Classes de Concreto

CLASSE	Resistência característica à compressão (Fck)	
	Valor (MPa)	Idade (Dias)
A	9	90
B	15	90
C	20	90
D	20	28
E	25	28
F	30	28
G	25	90
H	30	90
CCR	8	180
CCR	20	90

cm, em função das perdas de carga e velocidades de fluxo. Testes em pistas experimentais indicarão qual a espessura máxima admissível para uma camada única do CCR.

8. PRAZOS DE EXECUÇÃO

Os trabalhos preparatórios para construção do empreendimento, como estradas de acessos para os locais de implantação dos canteiros de obras e das estruturas, tiveram início em junho de 2011 e a geração da última unidade geradora será em 2019.

9. PRINCIPAIS EMPRESAS ENVOLVIDAS NO PROJETO

- **Norte Energia S.A.** - Concessionária do empreendimento responsável pela contratação das obras civis, fornecimento e montagem das unidades geradoras e pelos programas sociais e ambientais do empreendimento.
- **Consórcio Intertechne-Engevix-PCE** - Consórcio projetista responsável pela elaboração do Projeto Básico Consolidado.
- **Consórcio Construtor Belo Monte-CCBM**, formado pelas empresas Andrade Gutierrez, Camargo Correa, Norberto Odebrecht, OAS, Queiroz Galvão, Contern, Galvão Engenharia, Serveng-Civilsan, Cetenco e J. Malucelli - Obras Civis
- **Consórcio fornecedor dos Equipamentos eletromecânicos**, formado pela ELM (Alstom, Andritz e Voith) e IMP-SA - Fornecimento dos equipamentos hidromecânicos, turbinas, geradores e sistemas auxiliares.
- **Consórcio montador** - Em fase de contratação
- **Montagem do sistema de interesse restrito** - Subestação e Linhas de Transmissão - Em fase de contratação

Referências Bibliográficas

- [01] 4.1 Projeto Básico Consolidado - . Consórcio Projetista Intertechne - Engevix - PCE ▀

Segunda Conferência Internacional sobre as Melhores Práticas em Pavimentos de Concreto



Florianópolis, Brasil

2 a 4 de Novembro 2011

Objetivo

Discutir as inovadoras tecnologias construtivas e de manutenção de pavimentos de concreto.

Temas

- Pavimentos de concreto sem juntas
- Técnicas de reciclagem de pavimentos de concreto
- Pavimentos de concreto pré-moldado
- Tecnologias inovadoras de construção e manutenção de pavimentos de concreto

Inscrições Abertas!

- **Acesse:** www.ibracon.org.br
- Preencha o formulário online
- Faça o depósito bancário
- Envie o comprovante de depósito

normalização técnica

CCP

Concreto Compactado com Rolo (CCR): importância da normalização da técnica

LUCIANA DOS ANJOS FARIAS - ENGENHEIRA CIVIL
ELETROBRAS FURNAS

WALTON PACELLI DE ANDRADE - CONSULTOR
ENGECONSOL

1. INTRODUÇÃO

O uso do concreto compactado com rolo (CCR) nas obras de grandes volumes é prática corrente e universal.

A sua aplicação acelera, notavelmente, a execução das obras por conta da possibilidade do lançamento de grandes volumes em tempos muito mais reduzidos quando comparado com o concreto convencional. Outras vantagens inerentes ao CCR é a substancial redução de material cimentício, que, além do benefício econômico, traz em contrapartida maior flexibilidade do controle da fissuração de origem térmica e, subsidiariamente, menor possibilidade da formação de produtos provenientes de reação álcali-agregado.

O sucesso da técnica do CCR, no entanto, obriga que haja aprimoramento constante de métodos de produção e de execução do material. Conhecer, validar e divulgar os melhores métodos de controle da qualidade do CCR e os parâmetros que devem ser tomados para essa avaliação torna-se essencial para garan-

tir a durabilidade da estrutura para a finalidade de aplicação requerida.

Diversas obras de barragens e de pavimentação pertencentes ao Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal empregam CCR. Garantir a qualidade do material aplicado nessas e em outras obras pelo Brasil é o objetivo da normalização dos métodos de ensaio para controle do concreto compactado com rolo, como também o é estabelecer, por meio de práticas recomendadas, rotinas de trabalho que permitam a otimização do emprego do CCR da mesma maneira como é estabelecida para o concreto convencional.

2. CONSCIENTIZAÇÃO PARA NORMALIZAÇÃO

Pela importância existente e pelo uso já consagrado do CCR em grandes obras, vê-se a necessidade de se implantar normas técnicas e práticas recomendadas para uso desse material no Brasil. Atualizar-se nesse quesito representará um grande avanço, visto que muitos documentos disponíveis

para tanto são resultados de pesquisas realizadas, especificações e práticas recomendadas, tais como as fornecidas pelo American Concrete Institute (ACI) e pelo US Army Corps of Engineers. Ter um documento em forma de Norma Técnica seria o ideal para compilar todas as informações relevantes dos documentos existentes, conciliando com o que usualmente é realizado para o controle de qualidade do concreto compactado com rolo, além de garantir em um mesmo documento o fácil acesso a informações de maneira ampla.

Com isso, no ano de 2008, foi instalada a Comissão de Estudos, CE 18.300.04, no âmbito do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB18), para discussão de métodos de ensaios com concreto compactado com rolo. O objetivo das discussões era buscar métodos de ensaios pertinentes ao CCR, de maneira a realizar procedimentos adequados ao material que, muitas vezes, não poderia seguir orientações fornecidas para métodos de ensaios de concretos convencionais. Essas observações foram respaldadas por pesquisas realizadas com CCR e que comprovaram que, em muitos casos, não é possível tomar decisões no controle de qualidade do CCR quando avaliado por métodos de ensaios específicos para concreto convencional. O início dos trabalhos se deu com a participação dos engenheiros Walton Pacelli de Andrade, Selmo Chapira Kuperman, José Marques, Inês Battagin e Luciana dos Anjos Farias, os quais contribuíram para a elaboração dos textos-base que seriam utilizados nas discussões das normas técnicas.

Os trabalhos estão em andamento e a CE será reaberta com uma configuração que favoreça a discussão das normas técnicas propostas. Como grande parte do corpo técnico que se faria presente nas discussões não poderia comparecer às reuniões por conta dos deslocamentos de seus locais de trabalho para São Paulo, ficou definido que seria estabelecida para a Comissão de Estudos a discussão de maneira interativa pelo aplicativo

Livelink, da ABNT, a iniciar no segundo semestre do ano de 2011. Os convites de participação serão enviados pelo ABNT/C-18, que providenciará, junto à ABNT, login e senha aos interessados para participação das discussões.

3. FASE I: NORMALIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ENSAIO EM CCR

Os textos-base considerados para essa fase incluem documentos para terminologia, preparação do CCR em laboratório e ensaios de laboratório.

As propostas de textos-base para discussão no âmbito do CB-18 são apresentadas a seguir.

3.1 TERMINOLOGIA

Propõe definir os termos relativos ao concreto compactado com rolo empregado em barragens no que diz respeito à técnica, aos dispositivos de obtenção das propriedades do CCR, às propriedades e características do material e à aplicação em campo.

3.2 PREPARAÇÃO EM LABORATÓRIO

Nesse texto-base é sugerida uma metodologia recomendável para produção de concreto compactado com rolo em laboratório, de forma a obter um material possível de ser analisado com o intuito de fornecer parâmetros adequados para aplicação da técnica em campo.

Tabela 1 – Sugestão para análise: moldagem de corpos de prova de concreto compactado com rolo

Consistência obtida, em s (Cannon time)	Tipo de moldagem dos corpos de prova
5 – 20	Moldagem em mesa vibratória, conforme a ABNT 5738
15 – 25	Moldagem em mesa vibratória, com peso de 6,0 kg
> 25	Moldagem com uso de compactador pneumático

Figura 1 – Moldagem do concreto: compactação seguida de vibração, com peso



Dentre os assuntos abordados, recomenda-se a execução de diferentes tipos de vibração, conforme a consistência do concreto compactado com rolo, segundo resultados de pesquisas realizadas por Schrader (2003) e pelos laboratórios de Furnas, conforme apresentado na tabela 1.

A discussão sobre a moldagem de corpos de prova de CCR é um item importante a ser levado em consideração. Em várias obras percebem-se condições diferentes para esse procedimento. Dentre essas observações, existem os “pesos” para a moldagem dos corpos de prova, porém, com massas diferenciadas (com variações entre 4,0 kg e 6,0 kg), sendo utilizadas para qualquer faixa de consistência da mistura. Em outros casos, esses “pesos” não são levados em consideração, qualquer que seja a consistência do concreto compactado com rolo. Já foi percebido em diversos estudos de dosagens e em acompanhamentos em campo que, dependendo do valor de *Cannon Time* (parâmetro indicativo da consistência) do concreto, se este for baixo (entre 5s e 10 s, por exemplo), não são percebidas incoerências no valor da resistência à compressão de corpos de prova que foram moldados com ou sem o “peso”. Padronizar essas infor-

mações facilita o processo de controle de qualidade do material e aumenta a confiabilidade do resultado do concreto no seu estado endurecido, visto que haverá um padrão para a concepção do corpo de prova.

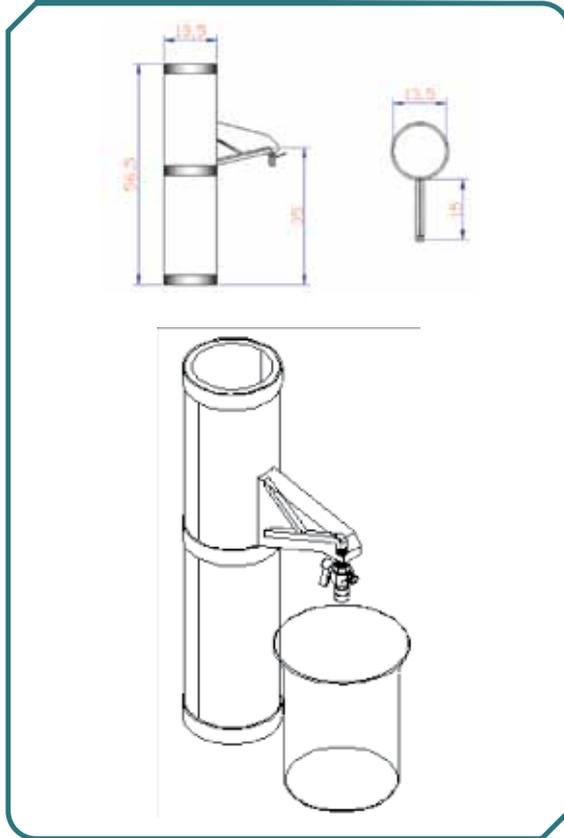
De maneira complementar, esse texto-base propõe a consideração de parâmetros necessários ao concreto compactado com rolo que não obedecem às normas técnicas em vigor empregadas para o controle de qualidade do concreto convencional. Dentre esses parâmetros está o teor de material fino presente no agregado. Recomenda-se que, no CCR, seja empregada, como agregado miúdo, a areia artificial obtida das rochas utilizadas para a produção do agregado graúdo. A areia artificial recomendada ao traço de CCR deve assegurar um mínimo de material fino pulverizado, capaz de garantir a produção de um concreto trabalhável, com boa compactabilidade e que permita um acabamento adequado. Com isso, pode-se obter um teor não condizente com o prescrito na norma ABNT NBR 7211, já que se trata de um concreto cujo teor de material fino mais alto, até um determinado teor avaliado em estudos de dosagens de laboratório, torna-se interessante para a sua aplicação.

Além disso, são sugeridos procedimentos de proporcionamento dos agregados e realização de ensaios de tempo

Figura 2 – Tempo de vibração e massa unitária: VeBê modificado



Figura 3 – DMA: Primeiro aparato desenvolvido (ANDRADE et al, 2003)



de vibração (*Cannon Time*), massa unitária e teor de umidade, antes de proceder com a moldagem para ensaios mecânicos, cujas metodologias de ensaio são prescritas no texto referente a Ensaios de Laboratório.

3.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Trata-se de um conjunto de textos em que são apresentados os procedimentos de ensaio do concreto compactado com rolo no estado fresco. São contemplados os ensaios de consistência (*Cannon Time*), massa unitária (VeBê modificado, gravimétrico e DMA) e teor de umidade.

Uma sugestão de ensaio, bastante simples e útil, para a determinação da massa unitária e da água unitária pelo DMA (Dispositivo Medidor de Água) é apresentado. Tal dispositivo já foi utilizado em várias barragens construídas no Brasil.

A determinação da água unitária no CCR pode complementar o controle de

qualidade. A vantagem desse método é a simplicidade e a rapidez com que o ensaio é realizado durante a produção do concreto ou até mesmo durante o lançamento em campo. Por meio do DMA, é possível determinar a quantidade de água de maneira expedita, sendo possível observar alguma irregularidade nas centrais de produção de concreto. Pelas próprias características da técnica de concepção e aplicação do CCR, a quantidade de água determinada para a

Figura 4 – Novo formato do dispositivo medidor de água – DMA

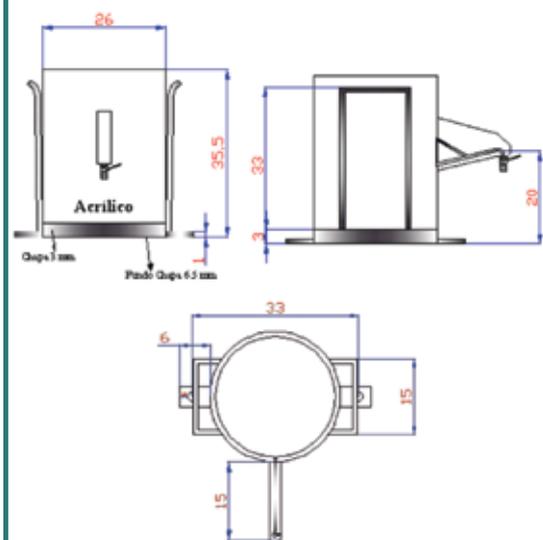


Figura 5 – Aparato disponível em laboratório de campo (Laboratório da Holcim, na Cidade do México, 2007)



Figura 7 – Colocação do concreto no DMA utilizando o volume do cilindro de VeBê (Laboratório da Holcim, na Cidade do México, 2007)



dosagem deve atender aos requisitos de compactação, sendo sua mudança uma possível fonte de porosidade excessiva no terço inferior da camada. Com isso,

Figura 6 – Sistema em ensaio após determinação da água de equilíbrio (Laboratório da Holcim, na Cidade do México, 2007)



o controle da água torna-se um fator essencial, recomendando-se uma avaliação ao longo de toda a seqüência executiva (ANDRADE et al., 2003).

Basicamente, o aparato é provido de um sifão, até o qual o volume de água conhecido é denominado *volume de equilíbrio*. A grande maioria dos ensaios já realizados com utilização do DMA se deu com o dispositivo apresentado na Figura 2.

Atualmente, vem sendo estudado um novo tipo de dispositivo adequado para concretos com agregado graúdo com $D_{máx}$ a partir de 37,5 mm. Isso porque o dispositivo idealizado inicialmente pode promover um confinamento dos grãos, de maneira a prejudicar a confiabilidade dos resultados obtidos.

Resumidamente, o procedimento de execução do ensaio é como se segue (Traboulsi et al, 2009):

- Após o recipiente ser preenchido com água até um nível acima do sifão,

Figura 8 – Final do escoamento da água na determinação do volume deslocado (Laboratório da Holcim, na Cidade do México, 2007)



este é aberto para que a água em excesso escoe. A água remanescente no dispositivo com o sifão aberto é chamada de *água de equilíbrio*;

- Coleta-se uma amostra de concreto para introdução no recipiente. Sugere-se utilizar o equivalente à massa do cilindro de VeBe sem compactar. Essa massa é determinada para, em seguida, adicionar o volume da água de equilíbrio determinada;
- Por meio de agitação manual (com haste) ou mecânica do dispositivo, retiram-se as bolhas de ar da mistura;
- Com isso, é possível determinar a massa unitária do concreto, já que são conhecidos os valores da massa e do volume do concreto.

Com a determinação da água unitária, é possível se estabelecer uma curva de calibração massa específica x água unitária, específica para cada dosagem. Para tal, é recomendável haver pelo menos quatro variações da água unitária, sendo constante o consumo de cimento e a percentagem de areia.

Essas calibrações podem ser utilizadas no laboratório, central de concreto ou na praça de lançamento, possibilitando efetuar medidas expeditas de determinação dos parâmetros, com possibilidade de efetuar eventuais correções na dosagem de CCR. Na figura 9, é apresen-

tado um exemplo de curva de calibração de CCR.

Por fim, é apresentado um método para a determinação do teor de umidade, após mistura do CCR em amostras de concreto integral ou na porção peneirada. O conhecimento do teor de umidade no CCR permite o controle da água unitária e, conseqüentemente, da sua massa unitária, contribuindo para o controle de qualidade dos materiais utilizados na obra.

Para ensaios de laboratório não foram definidos textos para ensaios com concreto endurecido, visto que várias normas direcionadas para o concreto convencional podem ser utilizadas, sem maiores problemas, para o concreto compactado com rolo.

Para estudos de laboratório em concreto endurecido, os laboratórios da Eletrobras Furnas têm adicionado superplastificante nas dosagens para facilitar moldagem de corpos de prova para caracterização de propriedades.

Alguns problemas já observados foram encontrados durante a execução dos ensaios de índice de vazios, absorção e massa específica (ABNT NBR 9778) que, dependendo do tipo de material, não permitem a obtenção de resultados confiáveis, em alguns casos, por conta da porosidade do concreto.

Outro problema já observado se dá com a execução do módulo de elástici-

Figura 9 – Exemplo de curva de calibração do DMA: para um mesmo consumo de cimento, diferentes valores de massa específica para um determinado consumo de água (FARIAS, 2006)

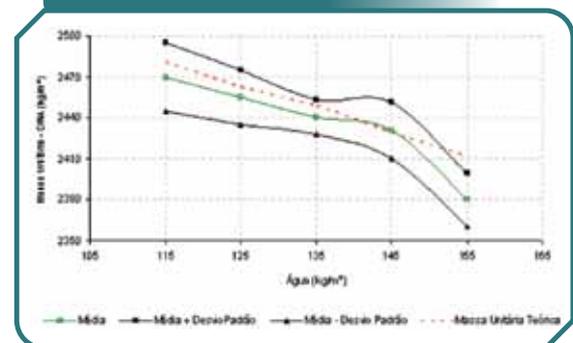
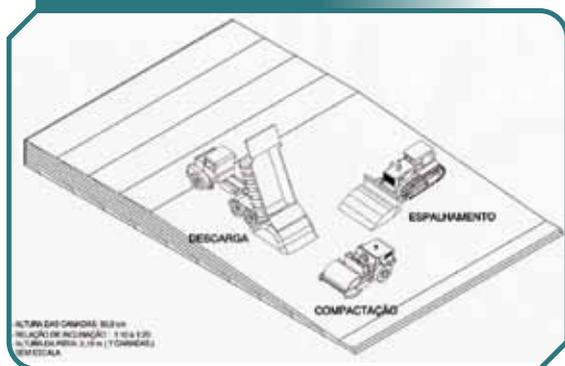


Figura 10 – Lançamento em rampa



dade do concreto (ABNT NBR 8522) com o uso de compressômetro. Alguns ensaios em corpos de prova com compressômetro mecânico fixado através de pinos, utilizado em concreto com baixa resistência como o CCR, pode permitir um pequeno deslocamento de acomodação que conduz a um aumento do módulo de elasticidade. Com isso, outro tipo de recurso torna-se mais adequado, como o LVDT, por exemplo.

Dessa forma, faz-se necessário que as normas técnicas vigentes sejam utilizadas com critério e bastante observação em concreto compactado com rolo.

4. FASE II: PRÁTICAS RECOMENDADAS - CONTROLE DE QUALIDADE NO CAMPO

As práticas recomendadas para CCR propõem apresentar os principais cuidados e observações a serem tomados em questões relacionadas a equipamentos de produção, transporte, lançamento, compactação, cura e acabamento. As características do CCR permitem lançamentos do concreto por meio de caminhões basculantes, correias transportadoras ou trombas. O espalhamento é efetuado utilizando-se equipamentos convencionais de terraplanagem e compactação com rolo vibratório liso.

Além disso, são apresentados critérios e sugestões retirados de experiência em campo, adequados para execução de pistas experimentais na obra, segundo o

método tradicional ou o método rampado de lançamento. Por meio de execução de pistas experimentais é possível realizar as seguintes atividades: capacitar a equipe de trabalho; avaliar os equipamentos a serem empregados; definir parâmetros por meio de avaliações de controle para espessuras de camadas, intervalo de lançamento de camadas, preparação de juntas de construção, número de passadas do rolo compactador, inclinação da rampa e tempo ideal de exposição das juntas (método rampado), entre outros.

Dentre as discussões esperadas para o desenvolvimento das práticas recomendadas de CCR, serão abordadas as principais características executivas das juntas entre camadas de lançamento. Esse assunto faz parte de uma das situações mais críticas de execução da técnica, tanto no que diz respeito à resistência mecânica quanto à permeabilidade. Dessa forma, é primordial que sejam estabelecidos, durante a fase de projeto, critérios necessários para garantia da qualidade de aplicação do concreto, principalmente no que diz respeito ao tempo de exposição da junta e intervalo de lançamento entre camadas, de maneira a garantir o controle da permeabilidade da estrutura (Traboulsi, 2007; Marques Filho, 2005).

O CCR é um material com características e técnicas executivas bem peculia-

Figura 11 – Lançamento tradicional (Marques Filho, 2005)



res. Para este material, o grau de compactação é um importante parâmetro de controle em obra durante o lançamento. Ele é a razão entre a massa unitária obtida e a massa unitária teórica, tendo uma importância equiparável à resistência à compressão. O grau de compactação tem relação direta com o transporte de fluidos, tal como a permeabilidade.

Para que a massa unitária de uma praça, utilizada para a determinação do grau de compactação, seja conhecida, podem ser realizados ensaios com densímetro nuclear, dispositivo Vebê e DMA. Em alguns casos de obra, frasco de areia e membrana plástica também são utilizados para este fim. No entanto, eles

apresentam certa vulnerabilidade, principalmente em casos de concretos mais plásticos ou mais úmidos. Alterações no volume considerado para o cálculo da massa específica são observadas, fato que influencia consideravelmente no valor real do grau de compactação do concreto aplicado (em alguns casos são obtidos valores de grau de compactação bastante superiores a 100%).

Por fim, procura-se sugerir uma prática de controle tecnológico do CCR com base no ACI 214R-02, de forma a contribuir para o controle de qualidade do concreto endurecido e fornecer um panorama geral de cada dosagem de CCR aplicada em uma obra.

Referências Bibliográficas

- [01] ANDRADE, M.A.S.; PIMENTA, M.A.; BITTENCOURT, R.M.; FONSECA, A.C.; FONTOURA, J.T.F.; PACELLI DE ANDRADE, W. DMA - a simple device for measuring unit water in RCC mixtures. In: SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 2003, Madri. **Proceedings...** Madri, Espanha; 2003, p.883-890.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 8522: **Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
- [03] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.
- [04] FARIAS, L.A. Implementação do Método de Dosagem Científica para o Concreto Compactado com Rolo (CCR) de Barragens -. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2006.
- [05] HANSEN, D.K., REINHARDT, W.G. **Roller compacted concrete**, 1a. Ed., EUA: McGraw-Hill, 1991.
- [06] MARQUES FILHO, J. Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo Aplicado às Barragens. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 278 f.
- [07] SCHRADER, E. Appropriate Laboratory Compaction Methods for Different Types of Roller Compacted Concrete (RCC). In: SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 2003, Madri. **Proceedings...** Madri, Espanha; 2003, p.1037-1044.
- [08] TRABOULSI, M.A. Análise do comportamento de juntas de CCR com alto teor de finos - Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 2007.
- [09] TRABOULSI, M.A.; FERREIRA, R.B.; RODRIGUES, P.F.; PEREIRA, F.M.; CARVALHO, C.L.; PACELLI DE ANDRADE; W., CASTRO, A. Validação de modificações de aprimoramento no dispositivo para determinação da massa unitária e água unitária (DMA) de Concreto Compactado com Rolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2009. ■

ensino de engenharia

lições técnicas

É o fenômeno, estúpido!

GEÓL. ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS

CONSULTOR EM GEOLOGIA DE ENGENHARIA, GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE

Foto: ARSantos

Para explicar aos pasmos a surpreendente superioridade eleitoral de Clinton sobre o velho Bush nas eleições de 1992, o estrategista eleitoral dos democratas, James Carville, cunhou a frase que viria a ficar famosa: “É a economia, estúpido!”. Na verdade, uma melhor tradução para a língua portuguesa falada no Brasil seria algo como “É a economia, sua múmia!”

Diante de seu obtuso espanto frente ao colapso de uma obra de engenharia geotécnica, caberia perfeitamente parafrasear a expressão para explicar aos nossos pasmos as razões do desastre: “É o fenômeno, sua múmia!”.

A foto que acompanha esse artigo é simbólica. Uma alentada tela argamassada, com fios de aço de 5mm, totalmente destruída pela continuidade do processo de ruptura de um enorme talude de corte em importante rodovia brasileira. Situações como essa, onde transparece o total desencontro entre o real fenômeno geológico-geotécnico em curso e a solução aventada para estabilizá-lo, estão a multiplicar-se crescentemente por todo o país.

O fato é que estamos em plena era dos modismos tecnológicos em nossa engenharia geotécnica. Nesse contexto de empobrecimento do exercício inteligente e crítico da engenharia, a decisão



por uma determinada solução técnica já não advém mais como decorrência de um preciso diagnóstico geológico e geotécnico do problema e dos fenômenos com que se está lidando. Já não é mais o problema que busca a solução, mas sim a solução *prêt-à-porter* (“pronta para usar”), que comercialmente busca problemas, sejam esses quais forem, para oferecer-se como desejada panacéia tecnológica. Como o caricato “médico de bula”, abunda entre nós o “geotécnico de catálogo”.

Lembremos algumas dessas numerosas e onipresentes ofertas tecnológicas: gabiões, tela argamassada, geossintéticos, geomembranas, solo grampeado, solos reforçados, jet-grouting, CCP, enfilagens especiais, microestacas, estacas-raiz, geogrelhas, blocos intertravados, malhas metálicas ancoradas, etc., etc., etc.

Claro, sem dúvida alguma, o aper-

feijão de nosso leque de soluções é necessário e bem-vindo, por disponibilizar continuamente novas e eficazes ferramentas para o trato de novos e velhos problemas geotécnicos, e as anteriormente mencionadas são todas boas ferramentas para suas específicas finalidades. A questão apontada não está na qualidade das soluções disponibilizadas, mas no risco em se abordar um problema geotécnico com a predisposição, ou com a pré-intenção, de se utilizar dessa ou daquela solução. Donde a profusão de situações de total insucesso técnico da consolidação geotécnica pretendida. Casos de mesma natureza são as situações de insucesso financeiro, em que a solução adotada, ainda que possa ter sofredivelmente resolvido o problema, tenha resultado um preço exorbitante, muito maior do que aquele que seria naturalmente decorrente de uma solução fenomenologicamente correta.

A reversão dessa disfunção de abordagem técnica passa pela disposição da

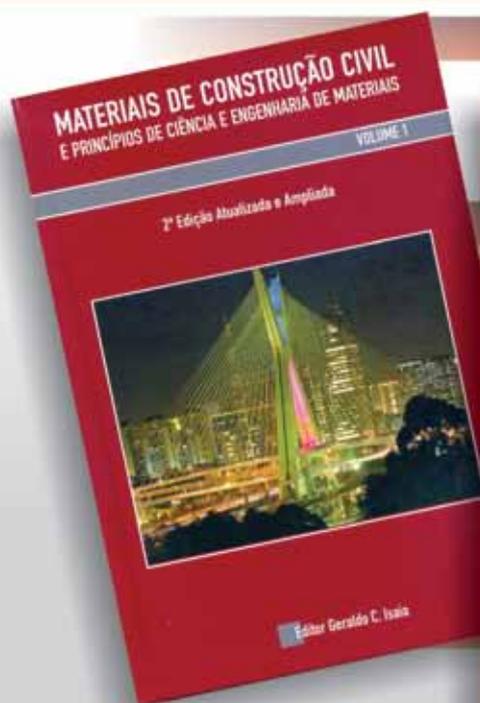
Geotecnia brasileira, geólogos de engenharia e engenheiros geotécnicos, em retomar na plenitude as rédeas de seu exercício profissional, recuperando em teoria e prática a velha e sábia verdade de ordem metodológica: a execução de serviços geotécnicos, de qualquer natureza, inicia-se, indispensavelmente, pela exata compreensão qualitativa e quantitativa do fenômeno geológico-geotécnico que se está enfrentando. Somente essa compreensão, para a qual uma rica e colaborativa integração entre os conhecimentos geológicos e geotécnicos é essencial, permitirá a adoção de uma solução perfeitamente solidária e adequada ao fenômeno enfrentado. Adicionalmente, a segurança proveniente dessa compreensão libera o projetista para uma maior ousadia na escolha da solução de engenharia e para a adoção de Coeficientes de Segurança mais reais e modestos. Do que decorrerão, em relação direta, obras mais econômicas e eficazes. ■

Livro “Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais”



Edição Revisada e Ampliada

Editor: Geraldo Cechella Isaia



SINOPSE

Livro-texto sobre materiais de construção civil, escrito por profissionais brasileiros, referenciado nas normas brasileiras e nas práticas nacionais de engenharia.

PÚBLICO

Estudantes de engenharia civil e de arquitetura; profissionais do setor construtivo; professores e pesquisadores

FICHA TÉCNICA

- 2 Volumes
- 1776 páginas
- Capa dura

VENDA

Loja Virtual no site www.ibracon.org.br

INVESTIMENTO

Não-sócios: R\$ 250,00
Sócios: R\$ 200,00

Projeto estrutural de barragens de concreto

SÉRGIO CIFU - GERENTE DE ÁREA CIVIL
THEMAG ENGENHARIA

1. INTRODUÇÃO

O projeto, planejamento e construção de grandes obras de geração teve um enorme desenvolvimento tecnológico a partir da segunda metade do século passado, mais precisamente no início da década de 60, em razão das necessidades cada vez maiores de recursos energéticos que o país exigia para o seu crescimento industrial. Nesta época, houve um acentuado aumento do número de construções e projetos de grandes usinas hidrelétricas, em especial aquelas situadas em importantes bacias hidrográficas, tais como: as dos rios Paraná, Grande, São Francisco e Paraíba.

Os projetos de elementos de barramentos constituídos de estruturas de concreto de grandes dimensões, como Vertedouros, Tomadas D'Água e Casas de Força, exigiram um aprimoramento cada vez maior dos profissionais envolvidos e uma busca incessante de uma metodologia adequada, de forma a garantir a sua qualidade e segurança. A partir do final da década de 70 e início dos anos 80, o surgimento das ferramentas computacionais com base no Método dos Elementos Finitos permitiu a adoção de modelos matemáticos cada vez mais completos na representação e simulação do comportamento das estruturas e o seu emprego passou a fazer parte integrante da metodologia empregada no desenvolvimento destes projetos. No início, as dificuldades para o emprego de modelagem matemática em projeto foram

enormes, face à capacidade limitada dos computadores da época, bem como à falta de recursos computacionais gráficos que permitissem agilizar a construção dos modelos e facilitar a interpretação dos seus resultados.

Ao mesmo tempo, a definição de critérios de projeto mais consistentes e completos passou a ter uma importância cada vez maior na garantia e segurança das estruturas, servindo de base e orientação aos inúmeros profissionais integrantes das equipes alocadas nestes projetos.

Hoje em dia, a definição prévia de critérios de projeto, bem como o emprego de modelos matemáticos mais próximos da representação geométrica e do comportamento real das estruturas, estão totalmente inseridos e fazem parte obrigatória da metodologia empregada no desenvolvimento de grandes projetos estruturais, em especial aqueles ligados à engenharia de barragens. Deve-se ressaltar que o emprego cada vez mais frequente de modelos estruturais completos só se tornou viável graças ao acelerado desenvolvimento a que as ferramentas computacionais foram submetidas, principalmente aquelas ligadas à computação gráfica, permitindo o desenvolvimento de programas de cálculo automáticos mais eficientes, não só na construção destes modelos, como também na rapidez da sua resolução e interpretação dos seus resultados.

Este artigo discorre sobre as etapas de estudo e projeto de aproveitamentos hi-

drelétricos, dando ênfase às atividades da engenharia de estruturas em cada uma dessas fases. Aborda ainda os aspectos ligados à segurança das estruturas de concreto a partir da definição dos critérios de projeto estrutural, descrevendo e classificando as ações atuantes nas estruturas. Em sua segunda parte, a ser publicada na próxima edição da revista CONCRETO & CONSTRUÇÕES, serão abordados os aspectos ligados à segurança das estruturas de concreto a partir da definição dos critérios de projeto estrutural, apresentando as condições de segurança em relação aos estados limites possíveis e indicando os modelos estruturais a serem utilizados no projeto dos elementos de um dado aproveitamento, com a exemplificação de estruturas de concreto de barragens já projetadas.

2. ETAPAS DE ESTUDO E PROJETO DE UMA BARRAGEM

O projeto de uma barragem, em qualquer das etapas de seu desenvolvimento, tem caráter multidisciplinar, pois envolve todas as especialidades da área de Engenharia Civil, a saber: Hidrologia, Hidráulica, Geologia, Geotecnia, Mecânica dos Solos e das Rochas, Estruturas, Métodos Construtivos, Tecnologia de Materiais, etc., e das áreas de Engenharia Mecânica, Elétrica e Meio Ambiente.

Devido à sua complexidade, se faz necessária uma completa interação entre todas as especialidades envolvidas, bem como entre a projetista e a empreiteira. O desenvolvimento do projeto só se processará dentro dos padrões de qualidade exigidos, desde que os trabalhos sejam conduzidos por uma coordenação técnica eficiente entre os grupos atuantes, principalmente durante a fase de projeto executivo. Além disso, é de extrema importância que se tenha conhecimento de dados preliminares, tais como: topografia, condições hidrológicas e geologia da região, para que se possa viabilizar a obra de uma barragem.

Assim, a implantação de um dado aproveitamento, desde a sua viabilização até a sua construção, deve obedecer aos procedimentos normativos estabelecidos pela Eletrobrás, que indicam as etapas de estu-

do e projeto a serem seguidas, bem como as atividades de engenharia a serem desenvolvidas em cada uma delas. As etapas de implantação são:

- Estimativa do Potencial Hidrelétrico, que se faz a partir de uma análise preliminar das características da bacia hidrográfica, principalmente quanto aos aspectos topográficos, geológicos, hidrológicos e ambientais;
- Estudo de Inventário, onde se avalia o potencial hidrelétrico da bacia, estabelecendo-se a melhor divisão de queda, tendo em conta o máximo de geração com o mínimo de impacto ambiental e determinando-se as principais características e estimativas de custo dos aproveitamentos;
- Estudos de Viabilidade, em que são analisadas as alternativas viáveis e feita a escolha daquela que conduza a uma otimização técnica-econômica do aproveitamento;
- Projeto Básico, onde se procede a um aprofundamento dos estudos para o aproveitamento escolhido na viabilidade e se elaboram os documentos eletromecânicos para licitação das obras civis e dos equipamentos e se determinam os quantitativos de materiais para o orçamento;
- Projeto Executivo, onde se elaboram os documentos detalhados das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos e implantam-se os programas ambientais para possibilitar a sua execução.

Concluída a implantação, inicia-se a fase de operação, onde serão de grande importância os trabalhos a serem desenvolvidos na manutenção e monitoramento das obras civis.

3. ATIVIDADES DA ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

As atividades da engenharia de estruturas nos estudos e projetos de um aproveitamento hidrelétrico se iniciam com a viabilidade e continua de forma mais intensa ao longo das etapas seguintes de projeto e na fase de operação.

A seguir, são relacionados os trabalhos

desenvolvidos pela engenharia de estruturas em cada uma das etapas de estudo e projeto anteriormente relacionadas.

Dentro da etapa de Estudos de Viabilidade, a participação da engenharia de estruturas se faz necessária quando do Estudo de Alternativas, desenvolvendo as seguintes atividades:

- Pré-dimensionamento das estruturas das diversas alternativas essencialmente em relação aos aspectos ligados à segurança quanto à estabilidade global como corpo rígido (análises de estabilidade);
- Pré-dimensionamento das partes que compõem as estruturas de concreto da alternativa selecionada, para todos os elementos do aproveitamento (Tomada D'Água, Casa de Força, Vertedouro, Área de Montagem, etc.);
- Cálculo dos volumes de concreto e estimativa do consumo de armadura, para fins de comparação de custo das alternativas.

Na etapa de Projeto Básico, a engenharia de estruturas participa de uma forma mais ampla, desenvolvendo as seguintes atividades:

- Elaboração dos Critérios de Projeto das estruturas, onde são definidas as ações atuantes e as combinações possíveis de ocorrerem, indicando ainda a sua classificação em relação à segurança; são também definidos os modelos estruturais a serem empregados nas diversas análises;
- Análise de estabilidade de todos os elementos do aproveitamento;
- Pré-dimensionamento de todas as estruturas de concreto, para as condições de carregamento definidas nos critérios de projeto, tendo em conta os estados limites último e de utilização;
- Elaboração dos desenhos de forma e armadura típica, para todos os elementos do aproveitamento;
- Cálculo dos quantitativos correspondentes aos volumes de concreto por classe e peso das armaduras;
- Participação na elaboração do Relatório Final do Projeto Básico, contendo as tabelas de quantitativos das obras civis e os documentos para licitação.

A participação da engenharia estrutural na etapa de Projeto Executivo é bas-

tante grande e envolve a aplicação de uma metodologia de projeto pré-definida e que se aplica ao projeto estrutural de todos os componentes do aproveitamento. Esta metodologia engloba:

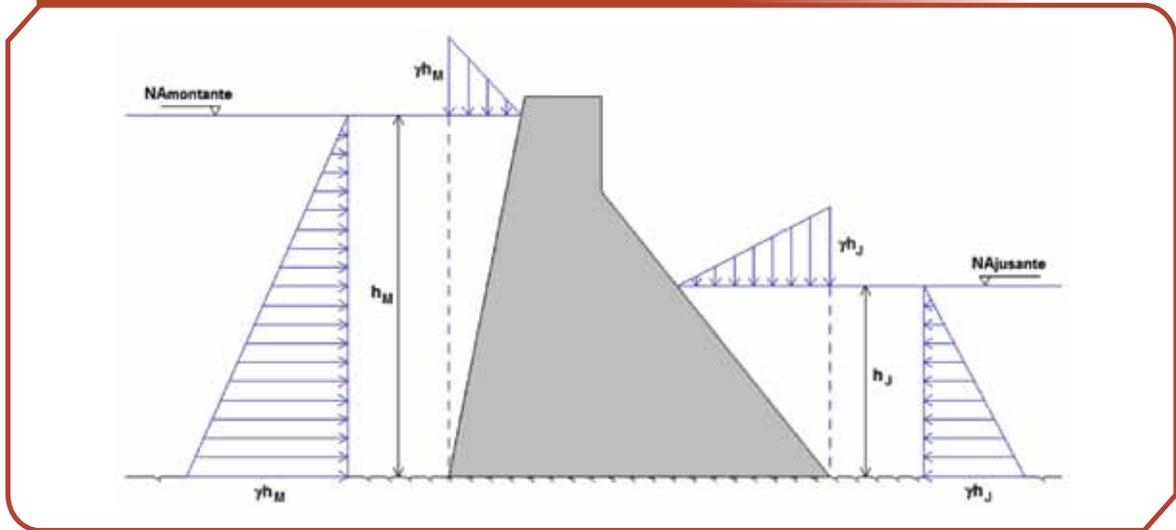
- Reavaliação dos Critérios Gerais de Projeto, em especial os Critérios de Projeto das Estruturas de Concreto, tendo em conta a atualização e consolidação dos seus dados finais;
- Definição dos modelos estruturais a serem empregados na resolução das estruturas, levando em conta as fases construtivas;
- Interpretação dos resultados das análises estruturais e definição dos critérios para dimensionamento e detalhamento das armaduras;
- Elaboração dos desenhos de forma e armadura das estruturas, com respectivas listas de materiais;
- Elaboração das memórias de cálculo.

É importante ressaltar que, durante o desenvolvimento do projeto executivo das estruturas, há necessidade de uma perfeita coordenação entre as diversas especialidades envolvidas, de forma a permitir entre elas o fluxo de informações necessárias ao bom desenvolvimento do projeto. Para que um projeto executivo se desenvolva de forma a atender os cronogramas com um mínimo de refazimento, é de suma importância que as informações e os dados de projeto cheguem às áreas das especialidades envolvidas com qualidade e em tempo hábil. Além disso, é importante que se estabeleça um permanente contato, através de reuniões periódicas na obra, entre a projetista e a empreiteira, a fim de possibilitar adequações do projeto aos métodos construtivos a serem empregados.

4. AÇÕES ATUANTES NAS BARRAGENS DE CONCRETO

Como já se observou, os Critérios de Projeto das estruturas de concreto, elaborados na fase de projeto básico e consolidados quando se inicia o projeto executivo, têm um papel relevante na garantia da qualidade e da segurança das estruturas. Neste sentido, é de extrema importância

Figura I – Distribuição das pressões hidrostáticas



que esses critérios contêm a definição e quantificação das ações atuantes sobre as estruturas, definam os carregamentos a partir das suas combinações e as classifiquem quanto às condições de segurança que devam ser atendidas.

O objetivo deste item é apresentar as principais ações atuantes sobre as barragens de concreto, classificando-as quanto à sua variabilidade no tempo e indicando os seus valores característicos.

Entende-se por ações as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. As ações se classificam de acordo com a sua variabilidade no tempo em:

- **Ações Permanentes:** São as ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno do seu valor médio, durante praticamente toda a vida da construção, tais como: peso próprio da estrutura; peso próprio de todos os elementos construtivos permanentes (revestimentos, alvenarias, etc.); peso próprio dos equipamentos fixos; empuxos de terra; pressões hidrostáticas e sub-pressões associadas a níveis normais;
- **Ações Variáveis:** São as ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno da média, durante a vida da construção, tais como: cargas acidentais decorrentes do uso da construção (pessoas, veículos, etc.) e seus efeitos dinâmicos (frenagem, im-

pacto, forças centrífugas); efeito de vento; variação de temperatura; pressões hidrostáticas e sub-pressões associadas a níveis normais com variações significativas em torno da média; e pressões hidrodinâmicas devido ao escoamento;

- **Ações Excepcionais:** São as ações que tem duração extremamente curta, e baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, tais como as pressões hidrostáticas e sub-pressões associadas a níveis d'água excepcionais, efeito de onda, ações decorrentes de sismos e sub-pressões decorrentes de falhas no sistema de drenagem.

A seguir, indicam-se os valores característicos das principais ações atuantes sobre as barragens e suas respectivas classificações.

4.1 PESO PRÓPRIO DA CONSTRUÇÃO

O peso próprio da construção é uma *ação permanente*. O peso próprio das estruturas de concreto será avaliado a partir do seu peso específico, o qual é função do diâmetro máximo ϕ_{\max} do agregado empregado. Adotam-se, normalmente, para o peso específico γ_c do concreto os valores abaixo:

$$\phi_{\max} \leq 38 \text{ mm} \quad \gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi_{\max} > 38 \text{ mm} \quad \gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

Para o concreto compactado a rolo, pode-se adotar o valor de $\gamma_c = 23 \text{ kN/m}^3$.

4.2 PRESSÕES HIDROSTÁTICAS

Os valores das ações correspondentes à pressão hidrostática são determinados a partir dos níveis característicos d'água a montante e a jusante do barramento, e do seu peso específico ($\gamma_a = 10 \text{ kN/m}^3$). A Figura 1 ilustra estas ações sobre os paramentos de uma barragem.

A classificação das pressões hidrostáticas fica associada às condições de permanência e probabilidade de ocorrência dos níveis d'água característicos, os quais são abaixo definidos:

- **Nível normal:** aquele que ocorre durante quase toda a vida da construção e cuja variação em torno da média é muito baixa; as pressões hidrostáticas associadas aos níveis normais são *ações permanentes*;
- **Nível normal máximo e nível normal mínimo:** são aqueles níveis normais cuja variação em torno da média não é baixa; as pressões hidrostáticas associadas a estes níveis são *ações variáveis*;
- **Nível máximo (ou máximo maximorum) e nível mínimo (ou mínimo minimorum):** são aqueles níveis que tem duração curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção; as

pressões hidrostáticas associadas a estes níveis são *ações excepcionais*.

4.3 SUBPRESSÕES

As subpressões são ações que se manifestam no contato da estrutura com a fundação, devido à percolação de água que se processa no maciço onde a mesma se apóia.

Os valores característicos desta ação dependem essencialmente dos níveis d'água a montante e a jusante da obra, da existência ou não de tratamentos de fundação e da construção ou não de sistemas de drenagem instalados na estrutura. Estes fatores, que interferem nas condições de percolação no maciço de fundação, determinam os valores característicos das ações de subpressão.

No caso de não se fazer uma análise de percolação, há vários critérios para definição dos diagramas de subpressão nas situações em que existem ou não sistemas de drenagem associados às cortinas de injeção. O critério mostrado a seguir é do Bureau of Reclamation, órgão do Ministério do Interior que regulamenta o projeto de barragens nos Estados Unidos e é largamente usado nos projetos de barragens.

A Figura 2 indica o diagrama de subpressões na fundação de uma barragem onde existe uma linha de drenos e uma galeria de drenagem com sistema de bombeamento eficiente. O diagrama de subpressão obedecerá às diretrizes abaixo indicadas, ou seja:

- O nível piezométrico na extremidade de montante da estrutura corresponde ao nível d'água de montante;
- O nível piezométrico na extremidade de jusante da estrutura corresponde ao nível d'água de jusante;
- Na galeria de montante, o nível piezométrico será estabelecido em função do desnível entre o nível d'água a montante e o nível d'água a jusante ou o nível do piso da galeria, tomado o mais alto entre eles. Assim, a cota piezométrica na linha de drenos será:

$$H_1 = H_{DJ} + (H_M - H_{DJ})/3 \quad (I)$$

Figura 2 – Diagrama de Subpressão. Drenos Operantes. Critério Bureau of Reclamation

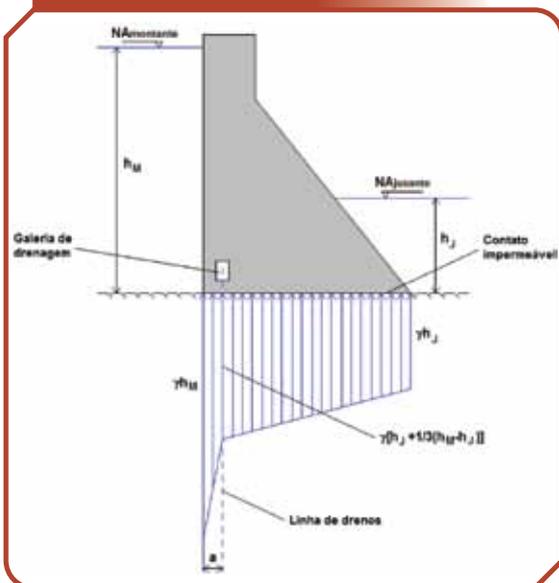
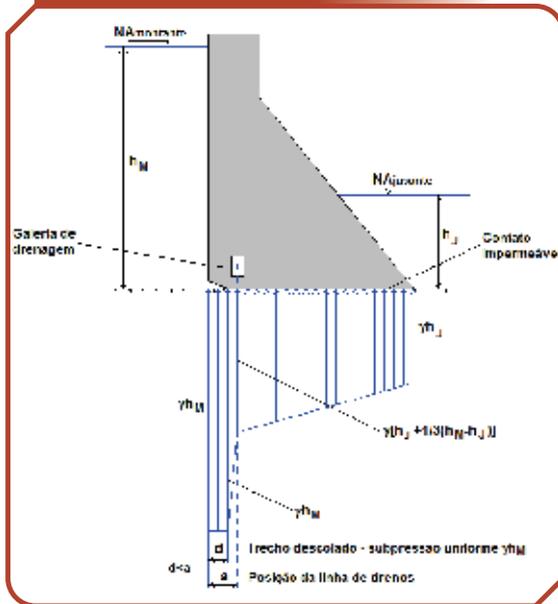


Figura 3 – Diagrama de Subpressão. Drenos Operantes com descolamento a montante $d < a$



onde:

H_1 - cota piezométrica na linha de drenos

H_{Dj} - cota do nível d'água de jusante ou nível do piso da galeria (o mais alto entre eles)

H_M - cota do nível d'água de montante.

A adoção dos diagramas de subpressão no contato estrutura-fundação, conforme definido acima, exige que este contato esteja comprimido ao longo de toda a sua extensão. Caso haja descolamento da extremidade de montante da estrutura com a fundação (contato não resistente à tração), o diagrama de subpressão deverá ser uniformizado ao longo de todo o trecho descolado, conforme ilustrado na Figura 3. No caso de o descolamento se dever exclusivamente a uma ação de curta duração, por exemplo, sismo, não se procederá à uniformização do diagrama de subpressão. Obviamente, a extensão d do trecho descolado deve ser inferior à distância a da linha de drenos, pois, caso contrário, o sistema de drenagem deixará de ser operante.

Os diagramas de subpressão correspondentes à situação de operacionalidade dos drenos são ações *permanentes*, *variáveis* ou *excepcionais*, de acordo

com os níveis d'água que as definem.

Quando houver qualquer deficiência no sistema de drenagem que o torne inoperante, independente de os níveis d'água caracterizarem ações permanentes, variáveis ou excepcionais, a ação correspondente à subpressão será sempre *excepcional*.

As barragens que não possuem sistemas de drenagem terão os diagramas de sub-pressão igual ao indicado na Figura 4, porém estas ações serão permanentes, variáveis ou excepcionais, de acordo com a situação dos níveis d'água que as definem.

4.4 PRESSÕES HIDRODINÂMICAS

São ações correspondentes às pressões atuantes nas estruturas devido ao escoamento d'água.

A sua determinação, na maioria das vezes, é feita através de ensaios em modelos hidráulicos. Os valores característicos destas ações são definidos durante a elaboração do projeto executivo e consensu-

Figura 4 – Diagrama de Subpressão – Drenos inoperantes ou inexistência de sistema de drenagem

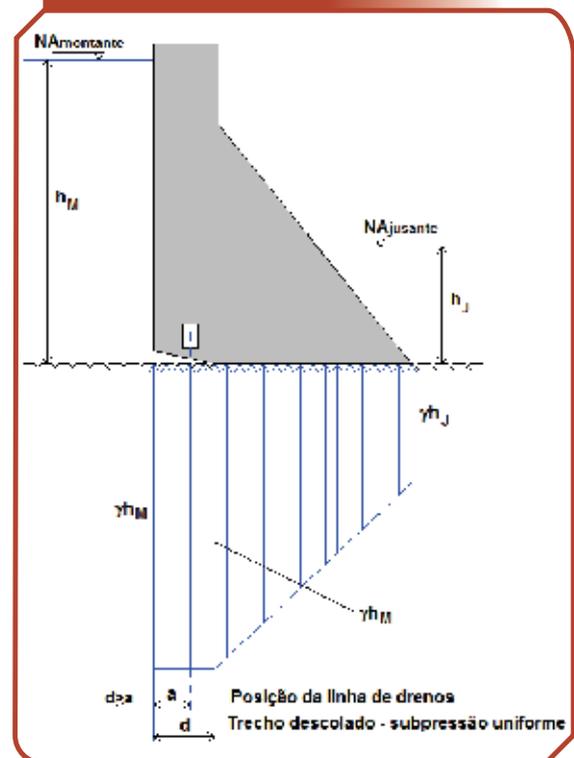
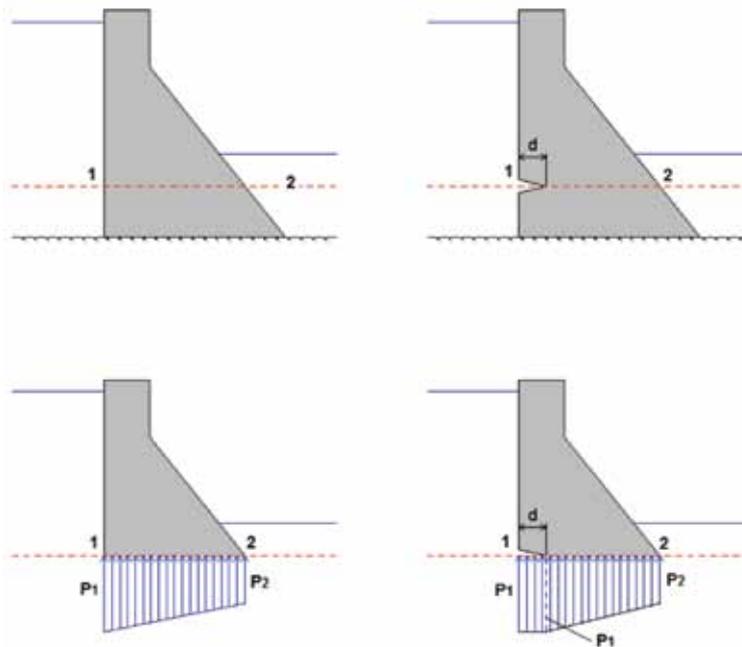


Figura 5 – Pressão intersticial considerando concreto permeável



ados por meio de relatórios específicos.

A classificação destas ações é feita de acordo com os níveis que as definem, ou seja:

- **Permanentes:** quando decorrem de níveis normais e em condições normais de operação e geração dos equipamentos eletromecânicos;
- **Excepcionais:** quando são devido a situações de fechamento rápido das comportas ou das pás do pré-distribuidor, curto circuito ou rejeição de carga (condições eletromecânicas).

4.5 IMPACTO DE ONDAS

A quantificação desta ação é feita a partir do estudo de ondas, que depende da área do reservatório e das condições de vento, sendo sempre classificadas como *excepcionais*.

4.6 PRESSÃO INTERSTICIAL

São as ações decorrentes da percolação de água nas estruturas de concreto ou pelas fissuras e juntas de construção. Embora o concreto seja um material de baixa permeabilidade, devido à retração,

à variação de temperatura e às tensões originadas pelo processo construtivo, o panorama de fissuração fica alterado, de forma a permitir o estabelecimento de pressões hidrostáticas internas nas estruturas de concreto. A atuação da pressão intersticial provoca um aumento do grau de fissuração e, portanto, a sua consideração é importante na garantia da durabilidade da estrutura.

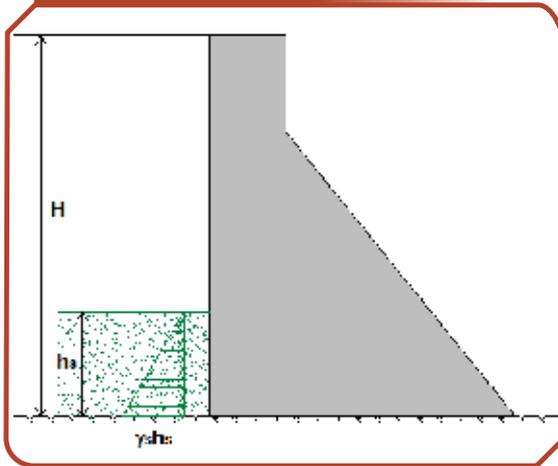
Na hipótese de se considerar o concreto permeável, a sua determinação se faz conforme ilustrado na Figura 5 e a sua classificação se faz de acordo com os níveis d'água que as definem.

Atualmente, alguns critérios de projeto consideram a ação da pressão intersticial, quando se verifica a segurança em relação ao Estado Limite Último, de forma diferente daquela adotada quando da verificação em relação ao Estado Limite de Utilização.

4.7 EMPUXOS DEVIDO AO ASSOREAMENTO

Estas ações ocorrem devido ao depósito de materiais no pé da barragem, que se devem ao assoreamento das margens do reservatório.

Figura 6 – Empuxo devido ao assoreamento



Na falta de estudos mais detalhados, as ações devidas ao assoreamento serão determinadas considerando-se um fluido de peso específico $\gamma = 9,0 \text{ kN/m}^3$, com coeficiente de empuxo $k_h = 0,39$, o que corresponde a uma pressão horizontal $\gamma_s = 3,5 \text{ kN/m}^3$, agindo em 10% da altura da estrutura e que se soma ao empuxo hidrostático. Esta ação é considerada *permanente* e encontra-se representada na Figura 6.

4.8 AÇÕES SÍSMICAS

As ações sísmicas são decorrentes da movimentação por acomodação das camadas da crosta terrestre, muitas vezes provocadas pelas elevadas cargas hidráulicas que se instalam na área do reservatório.

Seu efeito dinâmico sobre as estru-

turas é avaliado de uma forma estática equivalente, a partir da determinação das forças induzidas pelas acelerações nas massas das estruturas e na água ou aterros contidos pelas mesmas. Na falta de estudos sobre a sismicidade na área do reservatório, são sugeridos os valores de $a_h = 0,05g$ e $a_v = 0,03g$, respectivamente, para as componentes das acelerações horizontal e vertical aplicadas às massas.

As sobrepressões hidrodinâmicas correspondentes às massas d'água de montante e jusante são calculadas pela formulação proposta por H. M. Westergaard, em "Water Pressure on Dams during Earthquakes", da ASCE, vol. 98, 1933.

As expressões mostradas a seguir fornecem a resultante das sobrepressões e o seu ponto de aplicação e estão ajustadas para as unidades (m, kN)

$$E_s = \frac{2}{3} C_e \alpha h^2 \quad z = \frac{2}{5} h \quad (2)$$

onde:

$$C_e = \frac{8,17}{\sqrt{1 - 7,75 \left(\frac{h}{1000 t_e}\right)^2}} \quad (3)$$

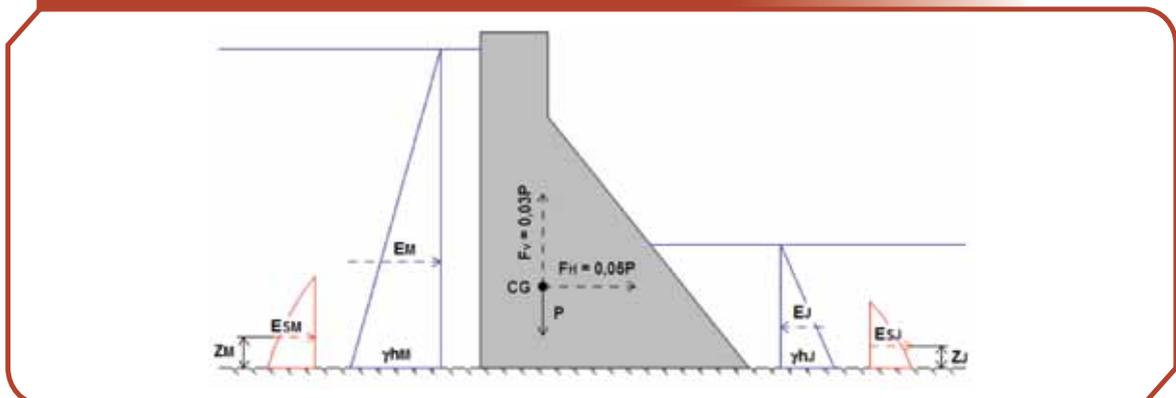
t_e - período do sismo (adota-se $t_e = 1s$)

h - altura da lâmina d'água em relação ao plano considerado na análise

α - componente da aceleração do sismo em relação à aceleração da gravidade

As sobrepressões horizontais produzi-

Figura 7 – Representação das ações sísmicas



das pelas massas de solos submersos ou não, atuantes sobre as estruturas, são determinadas com base no artigo “Dynamic Soil and Water Pressures of Submerged Soils”, publicado no Journal of Geotechnical Engineering, Volume III, de 10/1985.

Nos carregamentos que levam em conta as ações sísmicas, as componentes finais F_h e F_v agem no sentido mais desfavorável e não atuam concomitantemente, ou seja, as acelerações horizontal e vertical atuam de forma desacoplada.

A Figura 7 ilustra os valores e as posições das ações sísmicas sobre as estruturas.

As ações sísmicas são ações *excepcionais* quando associadas aos níveis normais; não serão consideradas ações sísmicas associadas a níveis excepcionais.

4.9 AÇÕES DEVIDO AO VENTO

São ações decorrentes da pressão dinâmica provocada pelos ventos sobre as estruturas.

Deverão ser aplicadas às edificações existentes nas áreas do barramento, tais como: as estruturas de cobertura e fechamento lateral das Casas de Força e Áreas de Montagem, os Edifícios de Comando, as pontes sobre a barragem, as torres, etc.

A pressão dinâmica deverá ser calculada com base na ABNT NBR 6123/88, “Forças devidas ao Vento em Edificações”, a partir da velocidade característica do vento V_k (m/s), dada pela expressão:

$$q = \frac{V_k^2}{1,6} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (4)$$

A velocidade V_k depende da velocidade básica do vento V_0 e dos fatores topográficos, de rugosidade e estatísticos.

Em qualquer caso, porém, tais cargas uniformemente distribuídas, não deverão ser inferiores a 1,0 kN/m² (item 5.11 - Critérios de Projeto Civil/Eletróbrás).

Estas ações são consideradas *variáveis*.

4.10 AÇÕES DEVIDO AOS EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO

As ações decorrentes dos equipamentos de geração são fornecidas pelos fabricantes que identificam as intensidades e seus pontos de aplicação.

São considerados como *permanentes* o peso próprio dos equipamentos e os esforços dinâmicos originados pelas turbinas quando em operação normal. As ações originadas por disparo e rejeição de carga da turbina são consideradas *excepcionais*.

Além das ações até aqui citadas, os critérios de projeto relacionam ainda os valores das seguintes ações:

- Cargas acidentais uniformemente distribuídas a serem consideradas nas diversas áreas da usina, em especial, sobre as lajes das Áreas de Montagem e dos níveis das galerias eletromecânicas;
- Cargas acidentais móveis devido ao tráfego de veículos rodoviários normais ou especiais, equipamentos de montagem, tais como: pontes rolantes ou de construção.

5. CARREGAMENTOS ATUANTES

A ABNT NBR 6118 define como carregamento o “conjunto das ações que tem probabilidade não desprezível de atuarem simultaneamente sobre uma estrutura, durante um período de tempo preestabelecido”.

“Em cada tipo de carregamento, as ações devem ser combinadas de diferentes maneiras, a fim de que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Devem ser estabelecidas tantas combinações de ações quantas sejam necessárias para que a segurança seja verificada em relação a todos os possíveis estados limites da estrutura”.

Durante o período de vida da construção, podem ocorrer os seguintes tipos de carregamento:

5.1 CARREGAMENTO NORMAL (CN)

O carregamento normal é aquele que decorre do uso previsto para a construção

e que, portanto, tem duração igual ao período de referência da estrutura. É composto da combinação das ações permanentes, de uma ação variável principal, e das demais ações variáveis consideradas como secundárias e com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea.

Nas barragens, as ações que compõem um carregamento normal são:

- Permanentes: peso próprio, pressões hidrostáticas e subpressões associadas a níveis normais, empuxo de terra e assoreamento;
- Variáveis: cargas acidentais decorrentes do uso da construção, pressões hidrostáticas e subpressões associadas a níveis normais variáveis (normal máximo, normal mínimo), pressões hidrodinâmicas devido a escoamentos normais, ação de vento, ações de variação volumétrica.

5.2 CARREGAMENTO EXCEPCIONAL (CE)

O carregamento excepcional é transitório, com duração extremamente curta e composto, portanto, de ações de baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção.

As combinações que compõem os carregamentos excepcionais consideram a ocorrência de somente uma ação excepcional, acompanhadas pelas demais ações normais.

Nas barragens, as ações excepcionais que devem ser consideradas juntamente com as demais ações normais, na definição de um carregamento excepcional,

são: pressões hidrostáticas e subpressões associadas a níveis excepcionais, ações sísmicas, efeito de onda, subpressões decorrentes de falhas no sistema de drenagem, pressões hidrodinâmicas decorrentes do fechamento rápido das comportas ou pás do pré-distribuidor, pressões hidrodinâmicas e ações dos equipamentos devido ao curto-circuito do gerador ou rejeição de carga.

5.3 CARREGAMENTO LIMITE (CL)

O carregamento limite é transitório, com duração extremamente curta e composto de ações de muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção.

As combinações que compõem os carregamentos limites consideram a ocorrência de duas ações excepcionais, acompanhadas pelas demais ações normais.

5.4 CARREGAMENTO DE CONSTRUÇÃO (CC)

O carregamento de construção é considerado nas estruturas como decorrente das ações atuantes previstas durante a fase construtiva da obra.

Eles dependem essencialmente do conhecimento detalhado das etapas construtivas e dos equipamentos a serem utilizados durante a fase de construção.

6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Eng^a Pollyana Gil Cunha pelas sugestões apresentadas e pela revisão do texto final.

Referências Bibliográficas

- [01] Diretrizes para elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas - Eletrobrás - Outubro, 1995.
- [02] Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas - Eletrobrás - Outubro, 2003.
- [03] NBR 8681 - Ações e Segurança nas Estruturas - ABNT, 2003.
- [04] NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento - ABNT, 2007.
- [05] H. M. Westergaard - Water Pressure on Dams during Earthquakes, ASCE, vol. 98, 1933.
- [06] Dynamic Soil and Water Pressures of Submerged Soils, Journal of Geotechnical Engineering, Volume III, 10/1985.
- [07] Bureau of Reclamation. ■

solucionando problemas

deterioração de barragens

Deterioração, proteção e reabilitação de barragens de concreto

LUIZ PRADO VIEIRA JUNIOR

TECHNOCRET ENGENHEIROS CONSULTORES S/S LTDA.

MARCELO CARDOSO GONTIJO

CARPI BRASIL LTDA.

1. INTRODUÇÃO

As últimas três décadas, tem sido verificada a ocorrência de um número cada vez mais significativo de estruturas hidráulicas de concreto afetadas por processos que acarretam a sua deterioração. É preocupante a condição de muitas barragens e suas estruturas associadas, afetadas por processos que reduzem sua vida útil, normalmente projetada para 50 anos, no mínimo, e que obrigam o proprietário a gastos, em geral elevados, para sua reabilitação.

O presente artigo aborda, resumidamente, as causas que conduzem à degradação de barragens e apresenta um sistema destinado a sua proteção e reabilitação.

2. PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Diversas são as causas de deterioração de estruturas hidráulicas em concreto. A água acelera o processo de deterioração do concreto por diversas razões. O sintoma mais comum de envelhecimento das estruturas hidráulicas de concreto

é a deterioração das superfícies, com o surgimento de manchas, de fissuração e deslocamento.

No caso de barragens de concreto, especialmente para o corpo da barragem, além dos erros de projeto e construção, movimentação de fundação e ombreiras, sismos, erosão e cavitação e, até mesmo, deficiências na manutenção, as causas principais, objeto do presente artigo, são as seguintes:

■ Reações químicas:

- águas de contato agressivas, ácidas ou lixiviantes;
- reações tardias dos óxidos de cálcio e magnésio cristalinos;
- reações com sulfatos;
- reações álcali-agregado (RAA),

■ Concreto poroso;

■ Juntas “abertas”;

■ Fissuração por efeitos térmicos, umidade, retração e devido ao comportamento estrutural.

Vale lembrar que muitos agregados no concreto são susceptíveis a reações expansivas, que, ao longo do tempo, acabam afetando as condições de operação e de segurança, sendo, portanto, essencial que sejam feitos estudos prévios para adoção de medidas para proteção das estruturas.

2.2 REAÇÕES QUÍMICAS

ÁGUAS ÁCIDAS E LIXIVIANTE E AÇÃO DOS ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO CRISTALINOS

O concreto de cimento Portland é um material muito alcalino e, portanto, pouco resistente a ataques de ácidos. De acordo com Mehta e Monteiro (1), *os processos de deterioração do concreto desencadeados por reações químicas, em geral, mas não necessariamente, envolvem as interações químicas entre os agentes agressivos do ambiente e os constituintes da pasta de cimento.*

Os ataques químicos ao concreto provocam aumento de permeabilidade e porosidade, redução da alcalinidade do concreto, perda de massa e redução da resistência mecânica. No caso de águas puras (águas moles), é facilitada a remoção dos íons Ca^{++} , aumentando a permeabilidade e a porosidade do concreto. O mecanismo de lixiviação do concreto por águas puras e a influência do anidrido carbônico são abordados por Coutinho(2). Em resumo, em ambos os casos ocorre a lixiviação da pasta no contato com a água, facilitando seu ingresso na massa e potencializando os processos de deterioração.

Em barragens de rejeitos, é possível a ocorrência de águas de contato ácidas, função da natureza dos rejeitos. Pode ocorrer o mesmo em reservatórios onde não tenha sido executada a remoção da vegetação antes do enchimento (ex. Balbina/AM) e em locais onde ocorram, naturalmente, íons agressivos dissolvidos na água (ex. Main Outfall Drain, Iraque). As águas puras, no caso de barragens, ocorrem, geralmente, em reservatórios abastecidos por água de degelo.

A ocorrência de quantidades excessivas de óxidos de magnésio (MgO) e de cálcio (CaO) no cimento pode causar expansão e fissuração do concreto. O fenômeno é conhecido há mais de um século e, para evitar sua ocorrência, a grande maioria das especificações de

cimento Portland estabelece limites para os teores desses compostos.

REAÇÕES COM SULFATOS, DE ORIGEM INTERNA OU EXTERNA

O ataque por sulfatos ao concreto é uma causa relativamente comum de sua deterioração. Na maioria dos casos, o íon sulfato é proveniente de uma fonte externa e, sob certas condições, devido à reação com a alumina do cimento ou dos agregados, origina a formação de etringita, muito expansiva em meio de pH elevado e com disponibilidade de água, como nas barragens.

Têm sido relatados, nas últimas duas décadas, inúmeros casos de formação retardada de etringita, sem suprimento de sulfatos por fontes externas, o que significa que a reação pode ser originada por sulfatos presentes no concreto. Quando da concretagem, sob determinadas condições de cura, a etringita primária é instável e não se forma e os sulfatos podem permanecer na solução intersticial da pasta. No entanto, podem dar origem à etringita tardia, posteriormente, sob certas condições de umidade e temperatura. Tal reação provoca a expansão e a microfissuração, em especial, no entorno dos grãos do agregado.

REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

No Brasil, no campo da construção de barragens, os estudos referentes à RAA começaram, na prática, na década de 1960, com a construção da Usina de Jupia. No Brasil, a Usina de Moxotó foi afetada pelo fenômeno (década de 1980) e gerou o recrudescimento de tais estudos. O tema tem sido abordado por especialistas em diversos seminários, em especial nos Congressos Brasileiros do Concreto, do IBRACON. Em termos de normalização, o Brasil, através da ABNT, é um dos países mais atualizados no assunto (3).

O mecanismo de reação é fartamente documentado em diversas publicações, não sendo necessário descrevê-lo neste artigo. Vale lembrar que, neste caso, a

presença de água no concreto desempenha um papel bastante importante. O Boletim 79 do ICOLD (4) afirma que:

“É necessário haver provisão de umidade para que ocorra a RAA, a qual consiste na formação de um gel expansivo. Admite-se que o problema não ocorrerá, ou que o mesmo cessará, se a umidade relativa for inferior a 80%. A umidade ambiente não precisa ser contínua - a reação ocorrerá toda vez que a umidade exceda o patamar de 80%. Algumas autoridades acreditam que ciclos de molhagem e secagem podem causar dano mais intenso do que a exposição a condições de saturação ou quase-saturação contínuas e há algumas evidências que comprovam isto. Todo concreto exposto, mesmo contendo apenas pequenas quantidades de materiais deletérios, devem ser considerados susceptíveis à RAA. O concreto só pode ser considerado não susceptível à reação se puder secar até que sua umidade interna caia abaixo de 80% e depois seja permanentemente protegido das intempéries e de outras fontes de umidade, incluindo condensação, capilaridade e infiltrações”.

2.3 CONCRETO POROSO

O concreto é um material razoavelmente impermeável, porém, apresenta certa porosidade que permite a saturação com água da sua porção mais superficial. Esta região é, também, a mais susceptível às variações térmicas. Assim, as variações de temperatura, inclusive de gelo e degelo, juntamente com as alternâncias de enchimento e esvaziamento do reservatório, fazem com que fenômenos de expansão de causas diversas, com fissuração do concreto, sejam mais intensos nesta zona.

A deterioração superficial conduz a aumento de permeabilidade do material a partir da superfície e, portanto, permite a penetração d'água no interior da estrutura. A penetração d'água no interior do concreto traz diversas consequências danosas à estrutura. Inicial-

mente, pode-se dizer que as infiltrações d'água dissolvem o ligante do concreto e, ao longo do tempo, como consequência do desprendimento de finos, pode-se ter a colmatação do sistema de drenagem (no caso de barragens).

Uma vez que o sistema de drenagem não mais funcione, a lixiviação estende-se por toda a seção da estrutura até que se formem depósitos carbonáticos na outra face. O prosseguimento do fenômeno causa modificações importantes na estrutura por reduzir o conteúdo de cimento no concreto e o próprio peso da estrutura. Ademais, a saturação completa do corpo da estrutura com água implica a ocorrência de pressão intersticial, com a introdução de subpressões muitas vezes não previstas no projeto.

2.4 JUNTAS “ABERTAS”

Com relativa frequência, ocorrem percolações de água através de juntas de construção, verticais ou entre camadas, e até mesmo, em juntas entre blocos, devido a falhas de veda-juntas ou de injeção. Os efeitos são praticamente os mesmos daqueles citados no caso de concreto poroso, no que tange a lixiviação do concreto.

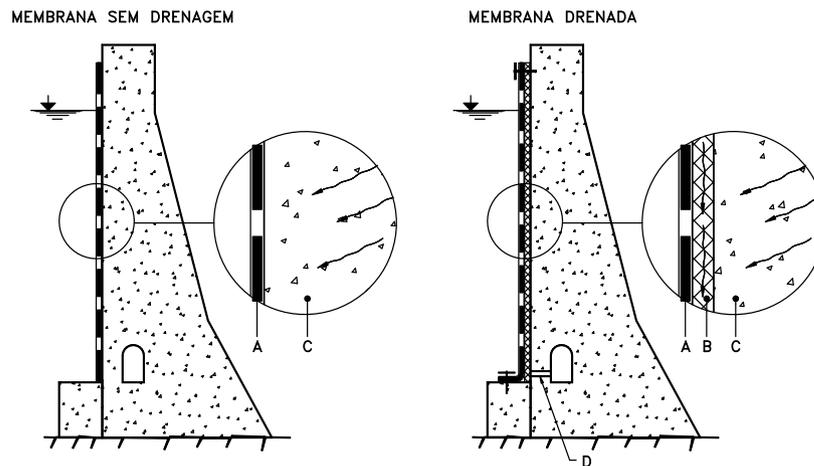
2.5 FISSURAÇÃO

Pode ocorrer a fissuração superficial ou profunda da massa de concreto devido a diversas causas: fissuração térmica, por retração, por variação de umidade, gelo e degelo e, até mesmo, por comportamento estrutural. Em contato com a água, os efeitos observados são praticamente os mesmos daqueles citados nos subitens anteriores. No caso de fissuras “isoladas”, elas podem ser vedadas como se fossem juntas.

2.6 CONSIDERAÇÕES

Do que foi acima exposto, fica claro que, mesmo havendo outros fatores que contribuam para a ocorrência de deterioração das estruturas hidráulicas de

Figura 1 – Membrana impermeável drenada



A: membrana – B: georrede – C: estrutura – D: sistema coletor da drenagem

concreto, a proteção das mesmas contra a água é uma medida essencial contra o fenômeno, tanto como prevenção como em associação a alguma ação corretiva.

O objetivo do presente trabalho é ilustrar um sistema que pode ser considerado um método corretivo potencial para os problemas de deterioração acima descritos, uma vez que cria uma barreira contra a infiltração de água e, também, promove uma desidratação parcial do interior da estrutura.

3. O SISTEMA

3.1 APRESENTAÇÃO

O Sistema Carpi/Sibelon é um processo patenteado de aplicação de revestimentos impermeabilizantes há mais de 30 anos na Europa em diversos tipos de utilização. O sistema foi concebido para reabilitar obras hidráulicas, tais como: barragens, canais, reservatórios e túneis, deterioradas e com vazamentos. Recentemente, o processo foi adaptado para ser aplicado também subaquaticamente, em situações onde o rebaixamento do nível d'água seja impossível ou muito dispendioso.

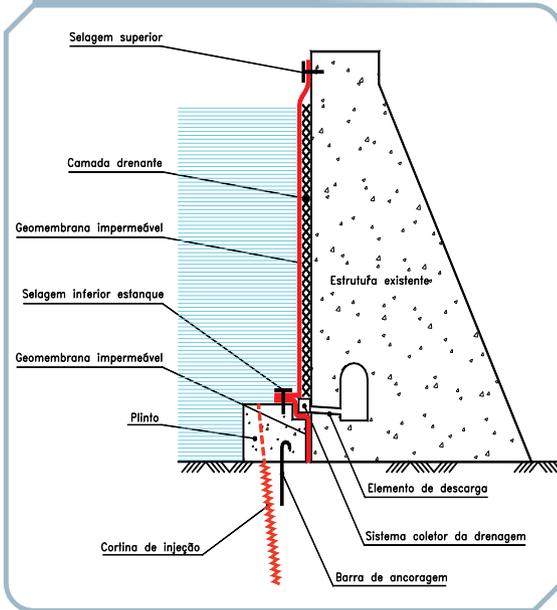
Seu emprego também é muito difundido para a impermeabilização de estruturas novas. Dentre elas, o Sistema

foi especialmente desenvolvido para ser aplicado na face de montante de barragens de concreto compactado com rolo (CCR), como alternativa ao processo de impermeabilização com concreto rico, permitindo reduzir prazos e preços. Há também uma utilização muito interessante do Sistema, que é a aplicação em barragens de enrocamento com face de concreto, onde a estanqueidade é conferida exclusivamente pela membrana, que compõe uma barreira impermeável flexível que suporta grandes acomodações do enrocamento. Outra utilização freqüente é a vedação de juntas “abertas” com vazamentos.

No Brasil, o Sistema foi adotado para reabilitação da estanqueidade do canal de adução da UHE Itutinga, em Minas Gerais, e da barragem de CCR da UHE Dona Francisca, no Rio Grande do Sul. Foi também empregado na vedação de juntas na barragem de concreto da Usina da Pedra, na Bahia. Atualmente, está sendo instalado em barragens de CCR na Paraíba e no Paraná.

Uma vantagem incomparável do Sistema é a possibilidade de promover a secagem progressiva da estrutura, ao introduzir um elemento de drenagem entre a barreira impermeável e a estrutura (Figura 1). De fato, a aplicação de um material impermeável diretamente so-

Figura 2 – Componentes básicos do Sistema



bre a face de concreto, se, por um lado, impede a penetração de água do reservatório dentro da estrutura, por outro, pode criar uma barreira que também impede a saída da água já presente no interior da estrutura, que tende a migrar para a superfície seja por evaporação ou por condensação.

Na figura 1, é apresentado esquema de aplicação do sistema em paramento de montante de barragem.

3.2 DESCRIÇÃO

Os componentes básicos do Sistema, para reabilitação de barragens, estão indicados na Figura 2.

Deve-se ressaltar que os elementos do Sistema são definidos no projeto de cada caso particular, com base em estudos preliminares do problema. Conforme o caso, podem não ser necessários alguns dos elementos indicados e, em outros, elementos não descritos neste trabalho.

O elemento impermeável é um geocomposto formado por uma geomembrana de PVC, com espessura definida em função das condições de solicitação (1,0 a 3,0 mm), e por um geotêxtil de fibra de poliéster, com gramatura também em função da solicitação (200 a 800 g/m²).

O PVC é um composto de alta qualidade, cujos plastificantes e estabilizantes possibilitam sua aplicação exposta à ambientes hostis, com elevadas variações de temperatura e alta incidência de radiações UV. A finalidade da geomembrana é conferir impermeabilidade e a do geotêxtil é proteger a geomembrana contra punção e dar estabilidade dimensional ao geocomposto, além de servir como elemento drenante. O geocomposto é fornecido em rolos que são estendidos verticalmente e o material é fixado ao longo de linhas por um par de perfis metálicos. As emendas do material são executadas por meio de maçarico de ar. Normalmente, a superposição das folhas de PVC, para se efetuar sua emenda, é feita sobre os perfis.

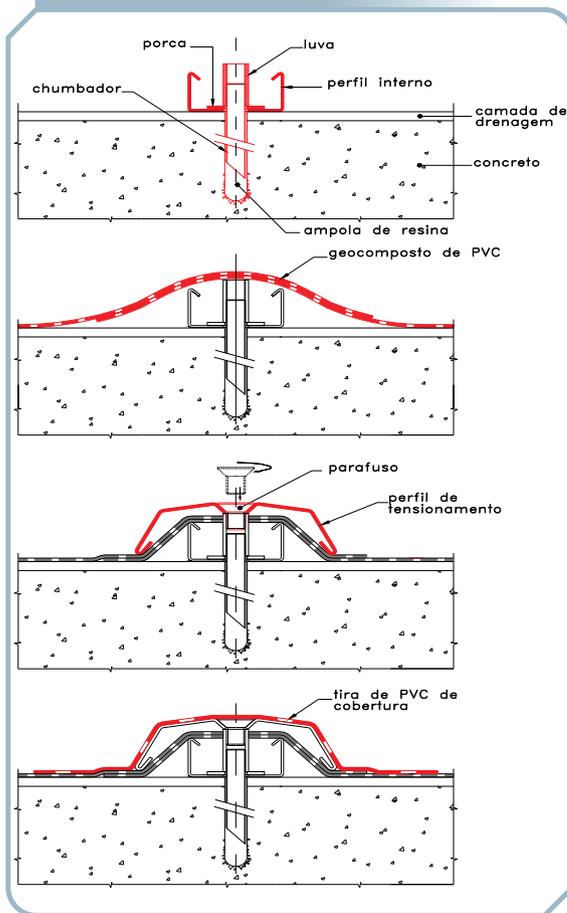
O elemento drenante do Sistema é uma georrede de polietileno de alta densidade, instalada por trás do elemento impermeável. Este dispositivo permite e facilita a drenagem, tanto de água que possa penetrar por eventual descontinuidade existente no revestimento ou na selagem perimetral como da água presente nos interstícios da estrutura. Isto possibilita o monitoramento da eficiência do sistema e a localização de eventual dano, reduz a pressão hidrostática que poderia se desenvolver entre a membrana exposta e a superfí-

Foto 1 – Barragem Winscar, Reino Unido



O efeito do tensionamento é visível: no lado direito, os dois perfis ainda não foram acoplados e o geocomposto está frouxo; no lado esquerdo, os dois perfis já estão acoplados e o geocomposto está esticado e sem dobras.

Figura 3 – Sistema de fixação da manta



cie de concreto no caso de alguma falha, garantindo, assim, que a estrutura fique sempre livre de infiltrações. Para facilitar o escoamento da água drenada, podem-se instalar tubos de ventilação para que

a mesma possa escoar livremente através dos perfis de fixação, os quais funcionarão como dutos sob pressão atmosférica, conduzindo a água até o sistema de coleta e descarga, instalado no perímetro inferior da estrutura, embutido no concreto e conectado a tubos transversais que desembocam no lado externo (ou numa galeria de inspeção, se houver).

A fixação do geocomposto à superfície da estrutura é feita por meio de um par de perfis de metal não oxidável, que mantém o revestimento independente da face de concreto. Os perfis internos são instalados sobre a face de concreto, num espaçamento que varia de acordo com as particularidades de cada projeto. Os perfis externos são instalados após a colocação do revestimento impermeável e provocam uma tensão horizontal na geomembrana (Foto 1), impedindo que a mesma fique frouxa no futuro em razão da relaxação decorrente de variações de temperatura, empuxo e cargas tangenciais.

Os perfis internos e externos são unidos por meio de parafusos e porcas ajustáveis. Tiras de PVC são instaladas sobre os perfis externos para restaurar a total impermeabilidade da face de montante. A Figura 3 ilustra o sistema de fixação.

A fixação estanque de todo o perímetro submersível do revestimento impermeável é feita comprimindo-se o geocomposto contra a superfície de concreto da estru-

Foto 2 – Tubos de descarga da face de montante até a galeria, antes de serem embutidos no CCR; Miel I, Colômbia

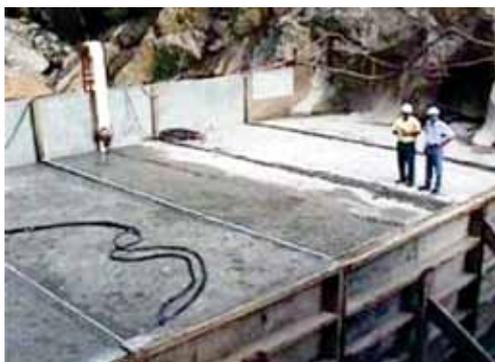


Foto 3 – Faixa de georrede longitudinal instalada como coletor no pé da barragem de CCR de Boussiaba, Argélia



Foto 4 – Detalhe da georrede de drenagem; Olivenhain, barragem de CCR, 97 m de altura, EUA 2003



tura, através de perfis metálicos atuando sobre gaxetas apropriadas para distribuir a pressão, de modo a impedir a infiltração de água pelas bordas da membrana. A impermeabilidade do sistema é garantida para coluna d'água de até 250 m. No pé da estrutura é construída uma viga de concreto (plinto), através da qual se faz uma injeção de contato, que impede que a água passe para trás da membrana no contato concreto/rocha. A selagem inferior estanque da membrana é feita sobre este plinto.

3.3 SEQUÊNCIA DE INSTALAÇÃO

A sequência usual de instalação do Sistema para reabilitação de barragens é a seguinte:

- **Sistema de coleta e descarga da água drenada:** é instalado no pé da estrutura e conectado a tubos transversais que desembocam no lado externo ou numa galeria de inspeção (Foto 2);
- **Sistema de drenagem:** a georrede é instalada sobre a estrutura, em geral, sem a necessidade de grandes preparativos, a menos da remoção de material solto e acerto de irregularidades muito pronunciadas (Fotos 3 e 4);
- **Perfis verticais de ancoragem:** os perfis internos são instalados sobre a face de

concreto, num espaçamento que varia de acordo com as particularidades de cada projeto, desde o dreno inferior até a crista da barragem;

- **Revestimento impermeável:** após o término da instalação da georrede e dos perfis internos, os rolos de membrana são pendurados na crista da barragem e, a seguir, as folhas são desenroladas e emendadas, e o revestimento é fixado à superfície de concreto e tensionado por meio dos perfis externos, os quais, por fim, são cobertos por faixas de PVC;
- **Selagem perimetral:** concluída a instalação do revestimento impermeável, é executada a selagem de todo o perímetro do mesmo; para execução da selagem estanque do perímetro submersível do revestimento, empregam-se gaxetas apropriadas para distribuição da pressão feita por meio de um perfil metálico, que comprime o revestimento impermeável contra um berço de resina epóxi, executado sobre a superfície de concreto da estrutura. No pé da estrutura, a selagem é feita sobre o plinto de concreto, previamente construído.

Diversos aspectos da instalação do Sistema podem ser observados nas fotos 5 a 10.

3.4 VEDA-JUNTAS

A vedação das juntas do concreto tra-

Foto 5 – O geocomposto de PVC é instalado na face da barragem de CCR Taishir, Mongólia



dicional, na crista e no corpo da barragem, é garantida através da instalação de veda-juntas apropriados, expostos, do mesmo material da membrana, que

podem ser soldados ao revestimento impermeável ou ser fixados à superfície da barragem por meio de chumbadores mecânicos (Foto 12).

Fotos 6 e 7 – O perfil Ω é instalado sobre o PVC e, posteriormente, parafusado ao perfil U



Foto 8 – Os perfis são vedados com tiras de PVC



Foto 9 – Geocomposto impermeável exposto reveste a face da barragem de CCR Taishir



Fotos 10 e 11 – Selos superior e inferior na barragem de CCR de Balambano, Indonésia



4. DURABILIDADE DO SISTEMA

Com base no desempenho dos revestimentos de PVC expostos, executados há mais de 30 anos, pode-se admitir, hoje, que este material mantém suas características por diversas décadas, dependendo do meio ambiente e da espessura da geomembrana.

No entanto, caso seja necessário reabilitar o revestimento exposto, tal operação pode ser feita a baixo custo, fácil e rapidamente, pela substituição de painéis individuais de membrana. Para tanto, o perfil externo é solto, o painel de membrana é removido e substituído, é feita sua fixação com a recolocação do perfil externo e, então, é executada a selagem do perfil com uma tira de PVC.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, durante mais de 30 anos, em instalações operando nas condições mais difíceis, mostram que a aplicação de uma barreira impermeável de PVC na face de montante de uma estrutura hidráulica é uma solução plenamente válida para problemas de envelhecimento e proteção futura. Porém, é fundamental que o material usado para o revestimento seja confiável e que o mesmo seja fixado mecanicamente, de modo a tornar possível a drenagem por trás de si.

A situação ideal para se poder definir a solução mais eficaz e econômica de pro-

Foto 12 – Camada de sacrifício do geocomposto instalada sobre as juntas verticais induzidas, embaixo do geocomposto de PVC, vedando as juntas, Balambano, Indonésia



teção é considerar a instalação do revestimento impermeabilizante desde a fase de projeto. No entanto, o Sistema é adequado para solucionar quase todo tipo de problema de infiltrações em estruturas hidráulicas diversas, de maneira fiável e economicamente competitiva.

Referências Bibliográficas

- [01] Mehta, P. K. e Monteiro, P.J. M . Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais,. - Ed. Ibracon, Brasil, 2008;
- [02] Coutinho, A. de Souza . Fabrico e Propriedades do Betão, , Ed. LNEC, Portugal, 1974;
- [03] Associação Brasileira de Normas Técnicas.: Agregados - Reatividade Álcali- Agregado. NBR 15577, Brasil 2008;
- [04] Bulletin 79” - International Committe on Large Dams/ICOLD - 17th ICOLD Congress, Junho 1991
- [05] Scuero A. M. and Vaschetti, G. L. Waterproofing of hydraulic structures with flexible synthetic drained geomembranes: installations in the dry and underwater, Proceedings of the Internationales Wasserbau Symposium, Aachen, Germany, 1997;
- [06] Gontijo, M.C. e Scuero, A.M. Utilização de Geomembrana de PVC como Elemento de Vedação em Barragens de CCR, XXII Seminário Nacional de Grandes Barragens, São Paulo, Brasil, 1997. ■

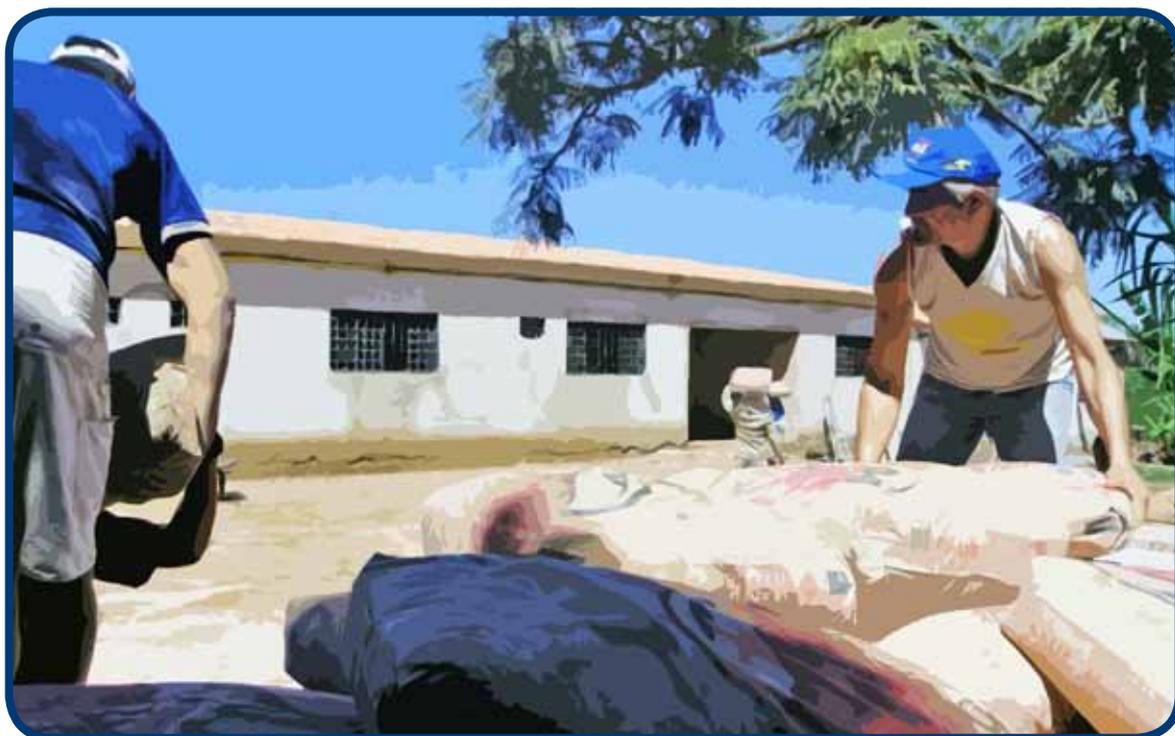
Como armazenar cimento?

O cimento é um produto perecível. Por isso, é preciso estar atento aos cuidados necessários durante seu transporte e seu armazenamento. O objetivo é a conservação de suas propriedades, pelo maior tempo possível, no depósito ou no canteiro de obras. Por esse motivo, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) preparou algumas dicas sobre o tema.

Durante o transporte, os sacos devem estar protegidos por meio de lonas de cobertura e bem acondicionados para evitar rasgos. Mas é na armazenagem que a atenção deve ser redobrada. “A estocagem correta do produto é fundamental não só para impedir perdas de material, mas, principalmente, para evi-

tar alterações nas características e nas propriedades do produto (pega e perda de resistência), o que pode afetar as estruturas da obra e ocasionar acidentes”, afirma o técnico responsável pelos laboratórios da ABCP Arnaldo Battagin.

O cimento é embalado em sacos de papel kraft de múltiplas folhas. Trata-se de uma embalagem usada no mundo inteiro, sendo adequada ao transporte e à aplicação rápida. O saco de papel é o único material que permite o preenchimento com o produto ainda bastante aquecido por ensacadeiras automáticas, imprescindíveis ao atendimento do fluxo de produção (ao contrário de outros tipos de embalagem já testados, como a de plástico).



Mas o saco de papel, apesar de todo o cuidado e adequação da embalagem, não impede a ação direta da água. “Se o cimento entrar em contato com a água durante o transporte inadequado, sem proteção da chuva, por exemplo, ou durante a estocagem, ele vai empedrar ou endurecer antes do tempo, inviabilizando sua utilização na obra, fábricas de pré-moldados e artefatos de cimento etc”, explica Battagin.

A água é a maior aliada do cimento na hora de elaborar argamassas e concretos, e depois da obra pronta por ocasião das operações de cura. Mas é sua maior inimiga antes da aplicação. Portanto, é preciso evitar a todo custo que o cimento estocado entre em contato com a água. A água não vem só da chuva, de uma torneira ou de um vazamento. Ela existe também sob forma de umidade no ar, na terra, no chão e nas paredes.

Por esse motivo, o cimento deve ser estocado em local seco, coberto e fechado, bem como afastado do chão, do piso e das paredes externas ou úmidas. Também longe de tanques, torneiras e encanamentos ou pelo menos separado deles.

DICAS

Recomenda-se iniciar a pilha de cimento sobre um tablado de madeira, montando-a, pelo menos, a 30 cm do piso, e não formar pilhas maiores do que dez sacos. Quanto maior a pilha, maior o peso sobre os primeiros sacos. Isso faz com que seus grãos sejam de tal forma comprimidos que o cimento contido nesses sacos fique quase endurecido. Neste caso, será necessário afofá-lo de novo antes do uso, o que pode acabar levando ao rompimento do saco e à perda de boa parte do material. A pilha recomendada de dez sacos também facilita a contagem, na hora da entrega, no controle dos estoques ou na aplicação final, além de estar prescrita nas normas da Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT).

É recomendável utilizar primeiro o cimento estocado há mais tempo, o que evita que um lote fique guardado por tempo excessivo. O cimento bem esto-

cado é próprio para uso por três meses, no máximo, a partir da sua data de fabricação. Toda sacaria estampa a data de fabricação, de acordo com o Código de Defesa do Consumidor.

Nas regiões de clima frio, a temperatura ambiente pode ser tão baixa que ocasionará um retardamento do início de pega. Para que isso não ocorra, convém estocar o cimento em locais protegidos de temperaturas abaixo de 12 °C.

FABRICAÇÃO

A fabricação do cimento processa-se rapidamente. O clínquer de cimento Portland sai do forno a cerca de 80 °C, indo diretamente à moagem, ao ensacamento e à expedição, podendo, portanto, chegar à obra ou ao depósito com temperatura de até 60 °C. Não é recomendável usar o cimento quente, pois isso poderá afetar a argamassa ou o concreto com ele confeccionado. Deve-se deixá-lo descansar até atingir a temperatura ambiente e, para isso, recomenda-se estocá-lo em pilhas menores, de até cinco sacos, deixando um espaço entre elas para favorecer a circulação de ar. Isso fará com que eles sejam resfriados mais rapidamente.

CIMENTO COMPROMETIDO

Tomados todos os cuidados na estocagem adequada do cimento para alongar ao máximo sua vida útil, ainda assim, alguns sacos de cimento podem estragar. Às vezes, o empedramento é apenas superficial. Se esses sacos forem tombados sobre uma superfície dura e voltarem a se afogar, ou se for possível esfarelar os torrões neles contidos entre os dedos, o cimento desses sacos ainda poderá ser usado normalmente. Caso contrário, ainda é possível tentar aproveitar parte do cimento peneirando-o. O pó que passa numa peneira de malha de 5 mm (peneira de feijão) pode ser utilizado em aplicações de menor responsabilidade, tais como pisos, contrapisos e calçadas. Mas não deve ser utilizado em peças estruturais, já que sua resistência pode ter ficado comprometida. ■

Estimativa da resistência do concreto em campo: ensaios normalizados ou não no Brasil

E. PEREIRA - MESTRANDO

DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (DCC)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR)

J. C. FRÉZ - ENGENHEIRO CIVIL

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA)

M. H. F. MEDEIROS - PROFESSOR DOUTOR

DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL (DCC)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR)

1. INTRODUÇÃO

A avaliação das propriedades do concreto em construções já em uso tem sido uma necessidade da Engenharia Civil ao longo dos tempos. O ensaio mais utilizado para o controle de qualidade do concreto é a determinação da resistência à compressão do material através de ensaios em corpos de prova utilizando o mesmo concreto da estrutura. Este ensaio é de fácil execução, quer em termos de preparação de amostras, quer em termos da obtenção de resultados; porém, apresenta a limitação de ter que ser planejado antes da moldagem do concreto, não favorecendo inspeções em obras acabadas, nem o controle do desenvolvimento da resistência do material ao longo do tempo, caso não

seja prevista a moldagem dos corpos de prova para este fim.

Nos últimos 50 anos, verificou-se o desenvolvimento dos chamados ensaios não destrutivos, que, através de processos rápidos, simples e econômicos, permitem obter informação das propriedades do concreto e uma estimativa da resistência à compressão “in situ”. Estas técnicas produzem pouco ou nenhum dano à peça inspecionada, podendo ser executadas nas estruturas em uso e permitem a detecção de problemas em estágios ainda incipientes. Os ensaios mais populares são os ensaios de esclerometria e de velocidade de ultrassom, sendo estes normalizados no Brasil; porém, existem outros, como a penetração de pinos, o “Pull Off” e o “Pull Out”, que se apre-

Tabela 1 – Panorama geral da especificação normativa dos ensaios

Ensaio	Normas que regulamentam cada método de ensaio	
	Brasil	Outros países
Esclerometria	ABNT NBR 7584:1995	ASTM C805: 2008 BS 1881:Part 202: 1986 EN 12504-2: 2001
Penetração de Pinos	-	ASTM C803: 2010 BS 1881:Part 207: 1992
Ultrassom	ABNT NBR 8802:1994	ASTM C597: 2009 BS 1881:Part 203: 1986 ISO 1920-7: 2004
Pull Off	-	BS 1881:Part 207: 1992
Pull Out	-	BS 1881: part 207: 1992 ASTM C900: 2006

sentam como alternativas em trabalhos de inspeção de estruturas.

A escolha do método depende de vários fatores, tais como: custo, danos causados, rapidez de execução, disponibilidade de equipamentos, suas características e o tipo de avaliação que se pretende realizar (PEREIRA, 1999). Desse modo, este trabalho visa produzir um panorama geral sobre os métodos existentes nesta área, contribuindo para a sua divulgação, uma vez que alguns deles são consagrados no exterior, sendo inclusive normalizados, enquanto, no Brasil, poucos são prescritos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (Tabela 1).

Todos estes métodos podem ser aplicados sobre a própria estrutura, sem ser necessário a extração de amostras, sendo, no entanto, necessário, em algumas situações, realizar pequenos reparos localizados. Cabe ao engenheiro

especializado determinar a localização dos ensaios, de forma a garantir que os resultados sejam representativos do elemento inspecionado. Na Tabela 2, são apresentadas as quantidades mínimas de determinações para cada ensaio representar uma área de inspeção, o intervalo de resistência do concreto para os quais cada ensaio é recomendado e os coeficientes de variação típicos para cada tipo de método.

A seguir abordam-se cada ensaio individualmente, de forma a apresentar um panorama geral sobre cada metodologia.

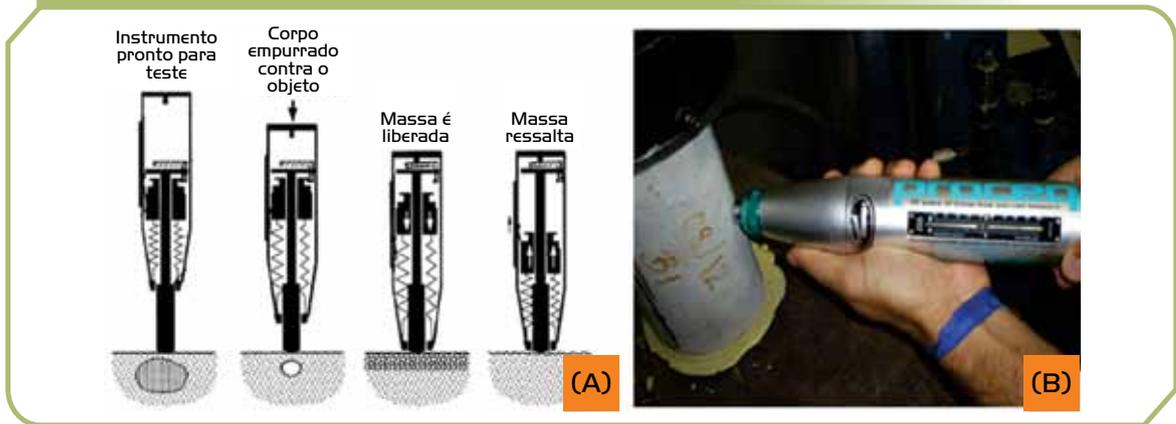
2. ENSAIOS NORMALIZADOS NO BRASIL

No Brasil, os ensaios não destrutivos mais populares são os ensaios de esclerometria e velocidade de propagação por ultrassom, sendo estes normalizados pelas ABNT NBR 7584:1995 e ABNT NBR 8802: 1994, respectivamente.

Tabela 2 – Detalhes dos ensaios não destrutivos (BS 1881, 1992; PEREIRA, 1999; NEPOMUCENO, 1999)

Ensaio	Nº de ensaios recomendados	Intervalo de resistência (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Esclerometria	12	10 - 40	12
Penetração de Pinos	3	10 - 40	5
Ultrassom	1	1 - 70	2
Pull Off	6	2 - 130	8
Pull Out	4	2 - 130	8

Figura 1 – (A) Esquema do ensaio de esclerometria (Malhotra e Carino, 1991); (B) Esclerômetro de reflexão em uso



2.1 ESCLEROMETRIA

O ensaio não destrutivo mais usado na atualidade é, sem dúvida, a determinação do índice esclerométrico. O método baseia-se na medição da dureza superficial do concreto e possui como variável de resposta, um índice de reflexão, que pode ser usado para a estimativa da resistência a partir da construção de curvas de correlação entre o resultado do ensaio e a resistência real determinada em laboratório. Para o DNER (1994), por ser um ensaio bastante antigo e difundido, já existe uma experiência consolidada sobre ele, inclusive com curvas de correlação (índice x resistência do concreto) bastante confiáveis. No entanto, para Malhotra e Carino (1991), este ensaio deve ser encarado como uma técnica adicional e ser utilizado em conjunto com outros ensaios não destrutivos.

O ensaio esclerométrico deve ser empregado principalmente nas investigações de uniformidade e dureza superficial do concreto, na comparação do concreto com um referencial e na estimativa da resistência à compressão do concreto, utilizando curvas de correlação adequadas. O próprio equipamento utilizado nos ensaios fornece curvas de correlação do índice esclerométrico com a resistência do concreto; porém, a ABNT NBR 7584:1995 recomenda que as curvas de correlação sejam obtidas por meio de ensaios realizados com materiais da região onde o concreto será fabri-

cado e que se atente para a influência de fatores listados na norma quanto à variabilidade do ensaio, garantindo-se, assim, maior segurança nos resultados.

O aparelho utilizado no ensaio é constituído por um tubo cilíndrico em cujo interior há um êmbolo e uma mola ligada a uma massa metálica [Figura 1(A)]. O êmbolo é colocado em contato com a superfície do concreto e o operador o pressiona, de modo a deslocar a massa metálica por dentro do tubo cilíndrico e a mola padrão é estendida. Quando a massa metálica chega no final do tubo, um dispositivo do aparelho o libera, de modo que, pela ação da mola, ele se choca no êmbolo e rebota em certo grau. O índice esclerométrico é proporcional à distância percorrida pela massa no rebote e a resistência do concreto é diretamente proporcional à distância na qual a massa é refletida no interior do aparelho, após o choque. A Figura 1(B) mostra o equipamento em operação.

As leituras através do esclerometro são bastante sensíveis às variações locais no concreto, especialmente a agregados e buracos próximos da superfície e ainda a descontinuidades próximas da área ensaiada. Segundo Malhotra e Carino (1991), os fatores que mais influenciam os resultados do ensaio esclerométrico são o tipo de acabamento da superfície, o tipo de agregado, o proporcionamento do concreto, a inclinação do esclerômetro, a carbonatação, idade, umidade e tipo de cimento.

Figura 2 – Ensaio de ultrassom



2.2 ULTRASSOM

Os primeiros estudos baseados na medição da velocidade de propagação de uma onda sônica pelo concreto datam de meados dos anos 40. Estes estudos permitiram demonstrar que a velocidade de propagação relaciona-se com as propriedades elásticas e com a densidade do material, sendo praticamente independente da geometria do elemento inspecionado (BUNGEY, 1989).

Atualmente, os equipamentos comercializados são constituídos por uma unidade central, que possui um gerador de impulsos elétricos, um par de transdutores, emissor e receptor, um amplificador e um dispositivo eletrônico para medição do tempo que decorre entre o pico (amplitude máxima) do pulso gerado no transdutor emissor e a chegada do pico ao transdutor receptor [Figura 2]. Neste ensaio, mede-se o tempo de trânsito (ou percurso) de uma onda através de um corpo, buscando-se determinar a velocidade de propagação.

O método da medição da velocidade de propagação de ultrassom é provavelmente, dentre os ensaios não destrutivos, aquele que tem mais aplicações. O método tem a vantagem de oferecer uma grande quantidade de informação e avaliar o concreto no seu interior. É um ensaio fácil e rápido de realizar. As suas principais aplicações são a determinação da homogeneidade do concreto, a existência e estimativa da profundidade de fissuras, a existência de grandes vazios ou buracos, a estimativa da resistência à compressão, a determinação do módulo de elasticidade¹ e do coeficiente de Poisson.

A velocidade de propagação pode ser influenciada por vários fatores, sendo os mais importantes: o comprimento de percurso; as dimensões da peça a ensaiar; a presença de armaduras; a temperatura e estado de umidade do concreto. Para obter resultados com um elevado grau de precisão, é necessário ter atenção quanto à preparação da superfície a ser ensaiada e à ligação e colocação dos transdutores.

3. ENSAIOS NÃO NORMALIZADOS NO BRASIL

Além dos ensaios não destrutivos normalizados no Brasil, outros ensaios normalizados, por exemplo, na Europa e nos Estados Unidos, apresentam potencial de utilização para a nossa realidade. A seguir, serão detalhados os ensaios de Penetração de pinos, “Pull Off” e “Pull Out”, que se mostram como alternativas interessantes para os métodos já consagrados no nosso país.

3.1 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE PINOS

A técnica de disparar parafusos ou pinos contra uma superfície de concreto é bastante difundida, sendo a profundidade de penetração do dispositivo proporcional à resistência do material (PEREIRA, 1999). O método relaciona a profundidade de penetração de um pino disparado contra a superfície do concreto com a sua resistência à compressão. Dentre as técnicas de ensaio existentes para determinar a resistência à penetração, a mais conhecida e mais utilizada mundialmente é aquela que se baseia na Pistola de Windsor (“Windsor Probe Test System”).

A Pistola de Windsor é constituída basicamente por uma unidade base, que dispara a sonda e a faz penetrar no concreto, e por um elemento de posicionamento e de guia da própria sonda [Figura 3 (A)]. O elemento de posicionamento funciona como fator de segurança contra a desintegração do concreto. A pistola e o cartucho de pólvora utilizados transmitem à sonda uma determinada quantidade de energia. Deve-se pressionar firmemente a unidade base contra o elemento de posicionamento colocado na superfície do concreto e disparar a pistola [Figura 3 (B)].

¹ Módulo dinâmico de elasticidade do concreto, que pode ser utilizado para avaliações a partir de correlações com o módulo estático obtido conforme metodologia estabelecida na ABNT NBR 8522:2008.

Figura 3 – (A) equipamento da pistola de Windsor; (B) execução do ensaio (NEPOMUCENO, 1999)



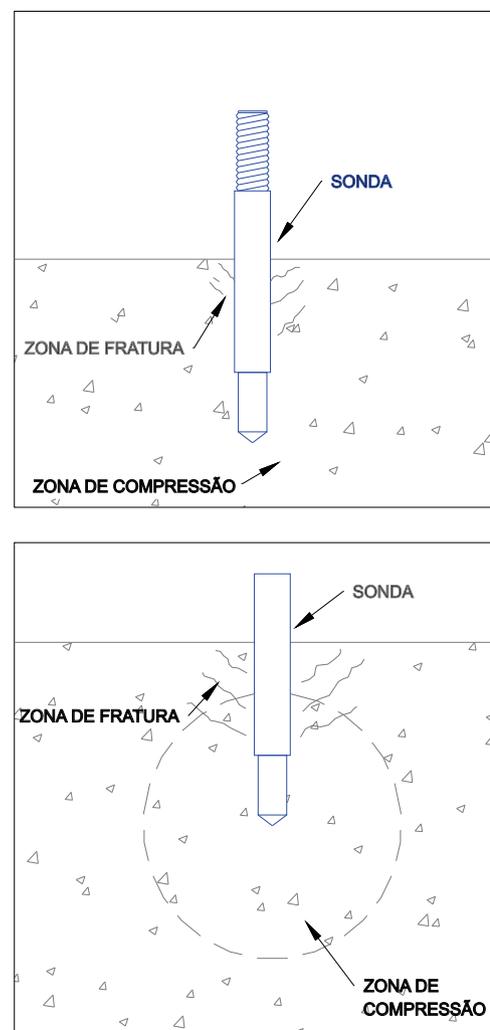
Após a projeção das sondas, retira-se o elemento de posicionamento da sonda e escovam-se os pedaços que se desagregaram do concreto. Antes de se proceder às medições, é necessário verificar se todas as sondas estão firmemente cravadas no concreto (bater levemente com um martelo). A variável de leitura é o comprimento do pino que fica exposto, que tem relação direta com a resistência mecânica do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A superfície a ser ensaiada deve ser lisa e se encontrar limpa, devendo ser regularizada uma área suficiente para o posicionamento da guia da sonda. A localização de cada ensaio deve ser escolhida, de modo a evitar a desintegração do concreto e a sobreposição da zona de influência (bulbo de compressão) de cada sonda.

É muito difícil descrever teoricamente a penetração de um pino no concreto, devido à existência de uma complexa combinação de esforços de compressão, tração, cisalhamento e atrito. O ensaio envolve uma determinada quantidade inicial de energia cinética do pino, que é absorvida durante a penetração, através do esmagamento e fratura do concreto e, em menor parte, através da fricção entre o pino e o concreto (MALHOTRA e CARINO, 1991). Segundo o ACI 228 (1989), a essência do método envolve a energia cinética inicial do pino e a absorção de energia.

A penetração da sonda provoca uma fratura no concreto com propagação das fissuras até a superfície [Figura 4]. A penetração da sonda é, em grande parte,

Figura 4 – Configuração da zona de ruptura do concreto no ensaio de Penetração de pino (Adaptado de PEREIRA, 1999)



resistida pela compressão no material adjacente (NEPOMUCENO, 1999). A energia vai sendo dissipada pela formação de fissuras, pelo atrito e pela formação do bulbo de compressão.

Ao contrário do método de medição da dureza superficial (Esclerômetro), este ensaio avalia a qualidade do concreto a uma profundidade significativamente maior (25 a 75 mm). Este teste pode determinar áreas homogêneas e estimar a resistência à compressão. As principais vantagens do método são o seu baixo custo e a rapidez e facilidade de execução (PEREIRA, 1999).

3.2 ENSAIO “PULL OFF”

Nos anos 70, a Inglaterra enfrentava problemas relacionados com concretos produzidos com cimentos de alto teor de alumina. Com o objetivo de determinar a resistência destes concretos “in loco”, desenvolveu-se o ensaio “Pull Off”, que tem sido usado desde então com sucesso para avaliar a resistência de concretos (LONG e MURRAY, 1984).

O ensaio “Pull Off” baseia-se na idéia de que a força de tração necessária para arrancar uma peça metálica colada a uma camada na superfície do concreto está relacionada com a resistência à compressão do material.

No ensaio, a tração é transmitida axialmente a uma peça metálica colada previamente ao concreto. Depois de decorrido o tempo suficiente de cura da resina (cola), uma força de tração é aplicada a este disco, usando-se um sistema mecânico portátil. A Figura 5 apresenta a execução do ensaio em

placas de concreto moldadas em laboratório.

O aumento gradual da força exercida pelo equipamento sobre o concreto pode ser observado no aparelho, diretamente numa escala, e seu valor é registrado assim que se dá o arrancamento da peça. A força de tração que causa ruptura, em conjunto com as curvas de calibração baseadas num grande número de ensaios, torna possível uma estimativa da resistência à compressão do concreto (LONG e MURRAY, 1984).

O ensaio “Pull Off” não é normalizado no Brasil, porém, países como Inglaterra e Estados Unidos reconhecem este método como uma ferramenta em trabalhos de estimativa da resistência à compressão em campo. Esta metodologia tem revelado resultados bastante consistentes e de grande confiança, além do fato de que os resultados não satisfatórios são visíveis pela observação da superfície de ruptura.

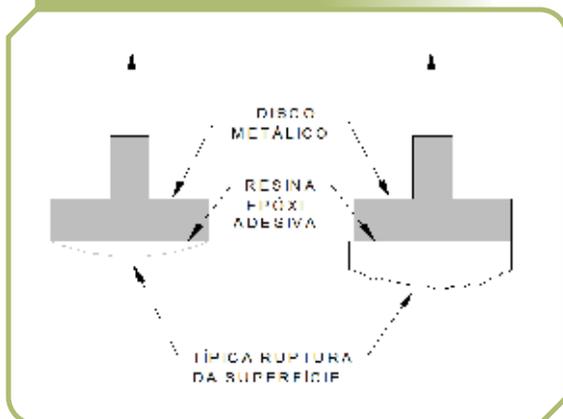
Como vantagens deste ensaio, pode-se ressaltar sua simplicidade, não necessitando de um operador altamente qualificado. Além disso, não têm sido verificados problemas em utilizar este ensaio em superfície vertical ou em vigas e lajes, nem em elementos estruturais de pequena seção. Este ensaio não necessita de planejamento prévio à execução da estrutura e o equipamento utilizado na sua execução é o mesmo utilizado nos ensaios de aderência em argamassas, já normalizado no Brasil há alguns anos, o que poderia facilitar sua aplicação em trabalhos de inspeção de estruturas de concreto armado.

Como desvantagem, pode ser citada a necessidade de pequenos reparos nos locais

Figura 5 – Ensaio de arrancamento e equipamento de ensaio



Figura 6 – Método "Pull Off" com e sem corte (Adaptado de MALHOTRA e CARINO, 1991)



onde foram executados os ensaios, uma vez que, na região de ensaio, o concreto sofre fratura local na superfície de contato da pastilha metálica com o concreto. Também se deve considerar o tempo de espera necessário para a cura da resina usada na colagem do disco antes da aplicação da carga, que pode chegar a 24 h, dependendo do tipo de cola adotada.

Existem vários fatores que podem influenciar os valores obtidos e que precisam ser conhecidos para o domínio das variáveis de influência atuantes neste caso. Além da composição e propriedades do concreto, influi também a orientação e posição dos agregados sob o disco, material do disco (aço ou alumínio), diâmetro e espessura do disco, sistema de contrapressão (anel ou tripé) e velocidade de aplicação da carga (PEREIRA, 1999).

Outro fator de grande importância é o fato de que o ensaio pode ser executado de duas formas: com corte superficial seguindo a dimensão do disco, ou sem a execução do corte [Figura 6]. No primeiro caso, a fratura deverá ocorrer mais profundamente no concreto, representando melhor a peça como um todo e cuja tensão de ruptura é praticamente tração pura. No segundo caso, haverá a distribuição dos esforços para áreas adjacentes do concreto abaixo da pastilha, resultando em medidas que representam um estado de tensões mais complexo. A execução do corte pode ser feita também para evitar a influência das condições de superfície do

concreto, como o caso das superfícies carbonatadas (BS 1881 part 207: 1992).

3.3 ENSAIO "PULL OUT"

O ensaio "Pull Out" teve seu surgimento e suas primeiras aplicações nos Estados Unidos e na União Soviética, na década de 30. Porém, seu grande desenvolvimento ocorreu na década de 60, na Dinamarca, chegando a modelos semelhantes aos disponíveis atualmente (PEREIRA, 1999). O método é baseado no conceito de se medir a força necessária para extrair um dispositivo embutido no concreto.

Uma forma bastante tradicional deste ensaio foi designada como "Lok Test" (PEREIRA, 1999). Consiste em inserir no concreto ainda fresco um disco metálico, com sua extremidade alargada de diâmetro 25 mm, com um orifício central [Figura 7(A)]. Neste orifício é aparafusado um aparato composto por um eixo e um tampão [Figura 8(A)], os quais são retirados após a concretagem [Figura 8(B)]. Então, após o endurecimento do concreto, um pino metálico é conectado ao orifício central do disco e é tracionado por meio de um macaco hidráulico [Figura 7(B) e Figura 8(C)].

Há um anel de reação que repousa na superfície do concreto, promovendo o apoio necessário para execução do arrancamento do pino. A carga é aplicada lentamente, com velocidade constante e perpendicularmente à superfície a testar. A evolução da carga pode ser verificada através de um dinamômetro, sendo o valor obtido convertido em resistência à compressão por meio de correlações. Para o mesmo ensaio, os dispositivos devem ser colocados à mesma profundidade e perpendiculares à superfície a ensaiar.

Na ruptura, é extraída uma porção do concreto em forma cônica [Figura 8(D) e Figura 9]. A forma idealizada de ruptura, na superfície do concreto, é circular, devendo ser rejeitadas as amostras com configuração diferente deste formato (PEREIRA, 1999).

Uma das aplicações do ensaio "Pull Out" é a determinação da resistência do concreto requerida para a desforma da estrutura. Segundo Mehta e Monteiro (2008),

Figura 7 – (A) dispositivo para ser moldado na peça de concreto; (B) equipamento de ensaio (NEPOMUCENO, 1999)



nesse caso, o ensaio não precisa ser levado até o fim, sendo suficiente a aplicação de uma carga pré-estabelecida. Se a peça não for arrancada, pode-se admitir que o concreto atingiu a resistência correspondente. Malhotra e Carino (1991) defendem que este ensaio é preferível ao esclerométrico, pois envolve maior volume de concreto.

Durante a execução do ensaio, um estado de tensão complexo se configura no interior do concreto e os critérios que regem a ruptura não são claros, incluindo: (a) ruptura causada por esmagamento do concreto; (b) tenacidade à fratura do concreto; e (c) interligação de fissuras circunferenciais aos agregados. Devido a esse fato, recomenda-se construir previamente uma relação entre o ensaio “Pull Out” e a resistência à compressão. Ao contrário de outros métodos (método da medição da dureza superficial e método da medição da resistência à penetração), neste método existe uma correlação muito

próxima entre a força de arranque e a resistência à compressão permitindo obter excelentes correlações (PEREIRA, 1999).

Os fatores que mais influenciam este ensaio são a dimensão máxima do agregado graúdo, o tipo e percentagem dos agregados, a velocidade de aplicação da carga e as dimensões do dispositivo de arranque. A dimensão da peça a ensaiar, bem como a distância dos dispositivos aos bordos da peça e às armaduras são fatores de influência a serem considerados.

Como vantagens deste ensaio, podem-se destacar: a simples execução, a rapidez no procedimento e a possibilidade de medir a resistência do concreto na obra. Em contrapartida, sua principal desvantagem é a necessidade de reparos no local de aplicação do teste, haja vista que o volume arrancado de concreto é superior ao da maior parte dos ensaios não destrutivos. Outro detalhe importante é que deve

Figura 8 – (A) disco colocado na concretagem; (B) remoção do tampão; (C) aplicação da carga; (D) ruptura do concreto (Adaptado de PEREIRA, 1999)

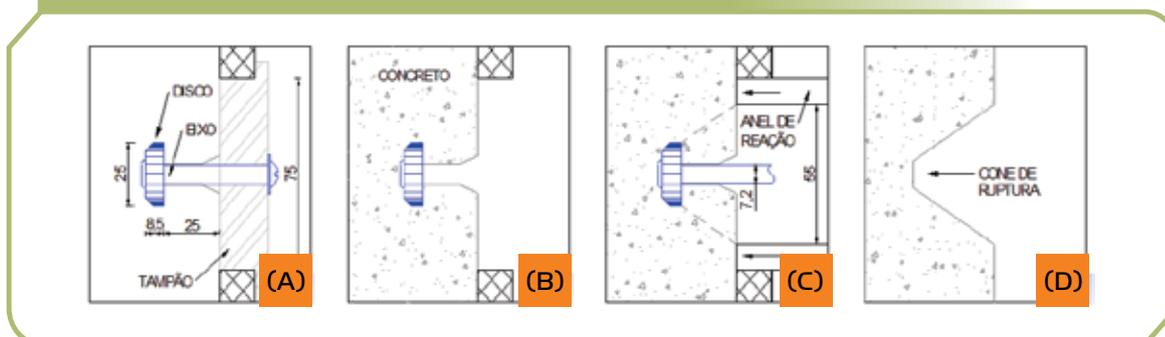


Figura 9 – Arranque do concreto em forma de cone (DANIELETO, 1986)



haver planejamento e execução parcial do ensaio previamente à concretagem, ao contrário da maioria dos ensaios “in situ” (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Porém, vale destacar que existe uma variação deste ensaio, designado “Capo Test”, que possibilita a execução do ensaio em estruturas sem planejamento prévio.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios não destrutivos são ferra-

mentas adequadas e bastante úteis no monitoramento de estruturas de concreto e para a estimativa de sua resistência medida em campo. A utilização racional dos vários métodos disponíveis, bem como uma possível combinação de mais de uma técnica, pode ser muito interessante, principalmente pelo ponto de vista da validade dos resultados.

As técnicas não destrutivas produzem pouco ou nenhum dano à peça inspecionada, podendo ser executadas nas estruturas de concreto em uso e permitindo a detecção de problemas ainda em estágios incipientes. Isto pode ser uma vantagem, principalmente pelo ponto de vista financeiro, pois, ao se detectar um problema no estágio inicial, pode-se proceder às intervenções necessárias antes do comprometimento da estrutura.

Observa-se, no entanto, que a estimativa da resistência do concreto a partir de ensaios não destrutivos deve ser realizada com base em correlações com ensaios específicos e tradicionalmente utilizados, em função das incertezas possíveis na avaliação dos resultados.

Referências Bibliográficas

- [01] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. In-place methods for determination of strength of concrete. **ACI 228**. Detroit, 1989.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto endurecido - avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. **NBR 7584**. Rio de Janeiro, 1982.
- [03] _____. Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. **NBR 8802**. Rio de Janeiro, 1994.
- [04] BUNGEY, J.H. **The testing of concrete in structures**. Surrey University Press, 2nd Edition, Glasgow, 1989.
- [05] DNER. **Manual de inspeção de obra de arte especial**. Ministério dos transportes - Departamento nacional de estradas de rodagem. Rio de Janeiro, 1994.
- [06] LONG, A. E.; MURRAY, A. “The Pull Off” partially destructive test for concrete, in: In-situ non-destructive testing of concrete, SP-82, American concrete institute, Detroit, 1984.
- [07] MALHOTRA, M.V.; CARINO, N.J. **Handbook on non-destructive testing of concrete**. CRC Press: Boston, 1991.
- [08] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3ª edição. Ed. IBRACON. Brasil. 2008.
- [09] NEPOMUCENO, M. C. S. **Ensaos não destrutivos em betão**. Dissertação de mestrado. Universidade da Beira Interior. Covilhã, Portugal, 1999.
- [10] PEREIRA, J. P. V. V. **Avaliação da resistência à compressão do betão através de ensaios não destrutivos**. Dissertação de mestrado. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal, 1999. ■

melhores práticas
controle tecnológico

Técnicas e tecnologias do concreto na UHE Santo Antônio

ANTONIO DE PÁDUA BEMFICA GUIMARÃES - ENGENHEIRO CIVIL - DIRETOR TÉCNICO
SANTO ANTONIO ENERGIA

JOSÉ FRANCISCO FARAGE DO NASCIMENTO - ENGENHEIRO CIVIL
ESPECIALISTA EM TECNOLOGIA DO CONCRETO E COORDENADOR GERAL POR FURNAS PARA O CONTROLE TECNOLÓGICO DE UHE SANTO ANTÔNIO

ANTÔNIO SERGIO BARBIN - ENGENHEIRO CIVIL - GERENTE GERAL DO SISTEMA
DE GESTÃO DA QUALIDADE NA OBRA PELO CSAC
CONSÓRCIO SANTO ANTÔNIO CIVIL

RESUMO

A UHE Santo Antônio está vinculada à sociedade de propósito específico (SPE) denominada Santo Antônio Energia SA. Está sendo implantada no Rio Madeira, no estado de Rondônia, distante 10 km da capital - Porto Velho. Prevista para ser concluída em 2015, quando terá uma capacidade instalada para geração de 3.150,4 MW, através de 44 turbinas tipo Bulbo, a UHE Santo Antônio se encontra atualmente entre as maiores hidrelétricas em construção no mundo. Considerando sua posição geográfica, os volumes envolvidos, a diversificação de atividades envolvidas e o efetivo de pessoal necessário, a implantação do projeto exige uma logística diferenciada em todos os segmentos.

No âmbito das técnicas e tecnologias direcionadas à execução das estruturas de concreto e dos materiais requeridos - cimento, adições, aditivos químicos, aço para armadura, elastômeros e peças embutidas -, o empreendimento conta com

Foto 1 - Vista geral do empreendimento



eficientes sistemas de gestão da qualidade e de engenharia, atuando na elaboração de uma logística eficaz e, sobretudo, no seu cumprimento de forma que a garantia da qualidade, durabilidade, confiabilidade e segurança das estruturas estejam sempre acima de qualquer dúvida.

O objetivo deste trabalho é divulgar a tecnologia do concreto e sistemas construtivos empregados na obra, bem como seus reflexos no produto final: a estrutura

Foto 2 – Detalhe do desvio do rio através do Vertedouro Principal



concluída com funcionalidade e confiabilidade. Para isso, o empreendimento conta com uma intensa participação conjunta das equipes da qualidade do Consórcio Santo Antônio Civil-CSAC, constituído pelas empresas Construtora Norberto Odebrecht SA (líder do consórcio) e Construtora Andrade Gutierrez SA, e do Centro Tecnológico de Furnas, na obra e em Goiânia.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é divulgar o sistema de gestão da qualidade implantado para construção da UHE Santo Antônio, no âmbito da tecnologia do concreto e dos sistemas construtivos empregados,

bem como seus reflexos no produto final: a estrutura concluída com funcionalidade e confiabilidade.

2. MATERIAIS E DOSAGENS DOS CONCRETOS

Antes de iniciar a implantação do projeto, todos os materiais tiveram suas propriedades previamente caracterizadas em laboratório externo especializado, seguido de um amplo estudo de dosagem, nas dimensões máximas características do agregado de 25 mm e 50 mm, para os tipos de concreto convencionais, bombeáveis e compactado com rolo.

A partir do desenvolvimento dos trabalhos na obra e da obtenção dos materiais em escala industrial, diversas ações foram tomadas, introduzindo melhorias no desempenho dos concretos, com benefícios técnicos e econômicos, no que concerne à redução de cimento e ao desempenho térmico.

Dentre as medidas introduzidas, podem ser destacadas as seguintes:

- Melhoria na obtenção dos agregados, com alteração nas faixas granulométricas e redução de finos;
- Introdução de adição mineral ao cimento - sílica ativa, com a finalidade principal de:

Tabela I - Principais características do empreendimento

Discriminação	Unidade	Quantidade
Comprimento total Casa de Força	m	935m
Potência instalada	MW	3.150,4
Potência unitária	MW	73,1
Turbina bulbo com rotor kaplan	un	44
Área do reservatório	Km ²	271
Volume do reservatório – NA normal	m ³	2,075x10 ⁶
Vazão média anual	m ³ /s	18.630
Capacidade do vertedouro	m ³ /s	84.000
Escavação comum	m ³	27.600.000
Escavação em rocha	m ³	21.200.000
Aterros	m ³	15.150.000
Concreto convencional – CCV	m ³	2.526.000
Concreto compactado com rolo – CCR	m ³	560.000

- Reduzir o consumo de cimento - associado aos aspectos térmicos e econômicos;
 - Melhorar a microestrutura do concreto - associada à melhoria de eficiência e da durabilidade;
 - Introdução da adição de fibras no concreto;
 - Introdução de novos aditivos, por meio de estudos comparativos envolvendo vários fornecedores;
 - Ensaios interlaboratoriais com cimento.
- De posse de todas as alterações obtidas para os materiais, considerando os materiais já próximos de suas características finais, foi desenvolvido um novo estudo de dosagem, desta vez no laboratório da obra. Para que a obra não sofresse qualquer paralisação, as dosagens de concreto em uso foram sendo ajustadas conforme as necessidades impostas pelo material.

3. VIABILIDADES TÉCNICA E CONSTRUTIVA

Devido aos prazos estabelecidos para o cumprimento das etapas de implantação do projeto, nas estruturas principais, notadamente os Grupos de Geração GG1 a GG4, Vertedouros e Barragem de Gravidade a ser executada em CCR, as camadas de concreto foram projetadas com dimensões específicas para a obra de Santo Antônio, com blocos de fundação chegando a atingir 50m de comprimento. Para minimizar os efeitos adversos de origem térmica, as estruturas tiveram os seus comportamentos térmicos amplamente estudados.

Sempre buscando minimizar a ocorrência indesejável de fissuras, foram desenvolvidos vários estudos térmicos convencionais para avaliação do Comportamento térmico do concreto nas estruturas principais. Os estudos foram desenvolvidos pelo DCT. C/Furnas, na obra e em Goiânia.

4. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

O desenvolvimento dos trabalhos vem sendo otimizado com as implementações

de processos construtivos, com destaque para os seguintes:

- CCR rampado com evolução do lançamento em rampa (método chinês);
- Pré-moldados: utilização ampla de concreto pré-moldado nas estruturas do Vertedouro e Casa de Força;
- Viga Munhão: pré-montagem da armadura e bainhas; concretagem e uso de concreto pré-refrigerado;
- “Stay Column”: concretagem de envolvimento e uso de concreto pré-refrigerado;
- Fôrmas deslizantes: uso de fôrma deslizante, com destaque para os pilares do Vertedouro principal e auxiliar, Tomada d’água e Contrafortes da Casa de Força;
- Controle Térmico: nas fundações; utilização de sílica ativa; controle dos tempos de exposição das camadas; utilização de tela metálica; uso de aditivos de alto desempenho; e pré-refrigeração do concreto (gelo em escamas);
- Lançamento - Concreto convencional: utilização de Telebelt e Bomba;
- Reparos: uso de tubos de Sucção nas unidades geradoras 5 e 6;
- Soleiras e Ogivas (antes e após desvio): no Vertedouro principal;
- Tubos de Sucção: nas Paredes-Pilares a partir da soleira; uso de fôrmas fixas e deslizantes conjuntamente;
- “Hacht cover”: concretagem;
- “Jet-grouting”.

5. PRÁTICAS CONSOLIDADAS PELO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DA OBRA

Os processos construtivos e outras práticas adotadas para garantia da qualidade foram desenvolvidos e consolidados por meio de publicações de manuais denominados “Lições aprendidas”. Estas lições aprendidas têm a finalidade de registrar como tais atividades foram desenvolvidas, assim como sistematizar a continuidade dos mesmos serviços em UHE Santo Antônio, disseminar o conhecimento acumulado, além de direcionar treinamentos para implantação de novos projetos.

Relação de algumas práticas já consolidadas até o momento para UHE Santo Antônio:

- Reparos em concreto;
- Concretagem da viga munhão;
- Concretagem do tubo de sucção;
- Concretagem do “Stay Column”: primeira, segunda e terceira etapas;
- Lajes das galerias dos grupos geradores;
- Injeções de fissuras;
- Soluções tecnológicas: estudo comparativo de materiais para verificação de sua potencialidade como isolante térmico em superfícies de concreto;
- Fôrma deslizante;
- Vibradoristas: formação de profissional/treinamento;
- Pátio de armação;
- Injeção com calda de cimento para tratamento de fundação;
- Barragem de terra;
- Lançamento do concreto.

6. SISTEMÁTICAS DE CONTROLE ESTABELECIDAS PELA GESTÃO DA QUALIDADE DA OBRA

6.1 SISTEMÁTICA GERAL ADOTADA PELO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE NA OBRA

Gestão da qualidade em técnicas e tecnológicas de engenharia, atuando na elaboração de uma logística plena e eficaz, buscando o cumprimento de prazos e colocando sempre a garantia da qualidade, durabilidade, confiabilidade e segurança do empreendimento acima de qualquer dúvida.

Implementada e mantida com base nos requisitos da norma NBR-ISO 9001:2008, comprovadamente avaliado por organismos certificadores.

6.2 SISTEMÁTICA ADOTADA PARA O CONTROLE EXERCIDO PELO LABORATÓRIO DA OBRA

A rigor, o controle da qualidade dos concretos que compõem as estruturas de

um empreendimento se inicia por ocasião dos estudos da viabilidade técnica desse empreendimento, com a definição dos materiais, através da caracterização de suas propriedades e de um amplo estudo de dosagens. Nessa fase, são definidas as características dos materiais e as características dos concretos que comporão o quadro de dosagens da obra. Estes estudos são realizados em laboratório externo e especializado, a partir de amostras as mais representativas possíveis.

Na sequência, por ocasião da implantação do projeto, uma vez caracterizadas, as propriedades desses materiais são mantidas sob controle durante os seus processos de obtenção.

O controle tecnológico da qualidade do concreto e materiais constituintes obedece a um plano de controle quantitativo e qualitativo, elaborado com base nas especificações técnicas da obra e de práticas recomendáveis. Este plano estabelece um programa de amostragem para os materiais e concreto, obedecendo a uma periodicidade representativa do universo de suas utilizações.

O controle dos materiais e concreto exercido pelo laboratório da obra da UHE Santo Antônio abrange o acompanhamento e controle durante a obtenção e utilização dos materiais, através de ensaios correntes.

Em paralelo, são acompanhados e controlados processos de produção dos concretos e suas propriedades no estado fresco e endurecido.

6.2.1 - CONTROLES DE LABORATÓRIO E CENTRAL DE CONCRETO E PADRÕES DE CONTROLE

O objetivo principal do controle em obra é assegurar as propriedades dos materiais conforme foram definidos e assegurar a uniformidade dos processos de obtenção.

No laboratório da obra, são realizados os ensaios correntes com cada material componente do concreto, de forma a assegurar a sua uniformidade e a conformida-

Tabela 2 – Estudos de dosagens

Concreto Convencional 25 mm
Concreto Convencional 50 mm
Concreto Bombeável 25 mm
Concreto Convencional 25 mm – com sílica ativa
Concreto Convencional 50 mm – com sílica ativa
Concreto Bombeável 25 mm – com sílica ativa
Concreto Compactado com Rolo

Tabela 3 – Caracterização de concreto

Concreto Bombeado com Sílica Ativa e Fibra de Polipropileno – 25 mm

Capacidade de deformação, tração na flexão, módulo de elasticidade, tração por compressão diametral, resistência à compressão, tração direta, tenacidade, fluência.

Concreto Bombeado sem sílica ativa - 25 mm

Adiabático, capacidade de deformação, tração flexão, módulo de elasticidade, tração por compressão diametral, resistência à compressão, fluência.

Concreto sem sílica ativa - 50 mm

Adiabático, Capacidade de deformação, tração flexão, módulo de elasticidade, tração por compressão diametral, resistência à compressão, fluência.

de com as propriedades determinadas por ocasião da sua caracterização.

Na central de concreto, são acompanhadas as atividades de produção dos concretos. Destaca-se aqui a alteração funcional desenvolvida na central de concreto com a introdução de um dispositivo gráfico para registro visual das pesagens, em tempo real, o que veio contribuir significativamente para redução das dispersões de resultados no processo de produção dos concretos.

Os padrões de controle seguem sistematicamente as especificações técnicas, as normas técnicas em vigor, as instruções técnicas emitidas pela engenharia da obra e orientações consensuadas pelos consultores.

Para ilustrar, no controle tecnológico das resistências dos concretos são adotados como referência os limites estabelecidos pela norma ACI 214.

6.2.2 CONTROLES DE CAMPO

Nas frentes de trabalho, são verificados os comportamentos dos concretos produzidos buscando antecipar qualquer tendência de variação e proceder aos ajustes necessários.

Ensaio de campo são adotados para acompanhamento e determinação da compactação do concreto compactado com rolo.

6.3 ESTUDOS E CONTROLES REALIZADOS COM CONCRETO NO LABORATÓRIO EXTERNO

No laboratório externo especializado, são realizados estudos de dosagens do concreto e outros, com adições. São realizados ainda ensaios de controle tecnológico com materiais, obedecendo também a um programa de controle da qualidade elaborado com base nas especificações técnicas da

Tabela 4 – Outros estudos com concreto

Teores de adição de fibra de polipropileno (4 teores)
Teores de adição de fibra de aço (4 teores)
Teores e diferentes tipos de sílica ativa (4 teores e 6 tipos)

Tabela 5 – Controle tecnológico de materiais

Materiais de construção civil – determinação das propriedades mecânicas do aço à temperatura ambiente
Elastômero – ensaio de resistência à tração e alongamento
Determinação de resistência à abrasão/erosão do concreto endurecido (2cp´ s/idade)
Concreto convencional - determinação da resistência à compressão (2cp´ s/idade) com dimensões cilíndricas
Concreto convencional - determinação do módulo de elasticidade (2cp´ s/idade) com dimensões cilíndricas
Concreto convencional - determinação da resistência à tração (2cp´ s/idade) com dimensões cilíndricas
Concreto endurecido – determinação do coeficiente de permeabilidade (com réplica)
Determinação de absorção de água por imersão e fervura do concreto endurecido

Tabela 6 – Ensaios Regulares

Material	Ensaios Regulares do Controle realizados em laboratório externo - Goiânia
Agregados	Avaliação do comportamento da rocha mediante ciclagem Agregado - Reatividade pelo método acelerado Determinação da massa específica e absorção Composição granulométrica Teor de material pulverulento Agregado Miúdo – Determinação impurezas orgânicas húmicas Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis Agregado Graúdo – Sanidade ao ataque pelo sulfato de sódio Abrasão “Los Angeles”
Cimento	Determinação da resistência à compressão da argamassa Perda ao fogo Resíduo insolúvel Análise química completa Massa específica Finura por meio do peneiramento aerodinâmico (# 200 e # 325) Área específica Tempo de início e fim de pega Expansibilidade em autoclave Calor de hidratação
Aditivo	Caracterização - Resíduo sólido Caracterização - Densidade Caracterização - pH
Rocha e Areia	Análise petrográfica

obra e com uma periodicidade recomendada (Tabelas 2 a 5).

6.4 ESTUDOS E CONTROLES REALIZADOS COM MATERIAIS NO LABORATÓRIO EXTERNO

Ainda de acordo com uma periodicidade

recomendada, as amostras de materiais e concreto procedentes da obra são enviadas ao laboratório externo para execução de ensaios mais especializados que vem complementar o padrão de controle estabelecido para o empreendimento (Tabelas 6 e 7).

Tabela 7 – Ensaios Adicionais

Material	Ensaios adicionais
Areia	Agregado – Determinação de enxofre na forma de sulfeto e sulfato
Água	Água – Determinação da alcalinidade total
	Água – Determinação do pH
	Água - Determinação da condutividade elétrica
	Água - Determinação do cloreto
	Água - Determinação dos sólidos totais
Cimento	Água – Determinação da matéria orgânica
	Análise Química pelo espectrômetro de fluorescência de raios -X
Pozolana e Clínquer	Granulometria a Laser
	Análise Química pelo espectrômetro de fluorescência de raios -X
	Perda ao fogo
	Análise química
Sílica	Resíduo Insolúvel - Clínquer
	Índice de atividade pozolânica com cimento e cal - Pozolana
Rocha e Areia	Análise química
Concreto, Rocha e Solo	Análise petrográfica
Concreto, Rocha e Solo	Difratometria de raios-X
Concreto, Rocha e Solo	Análise microestrutural por meio de microscopia eletrônica de varredura

Tabela 8 – Relação dos cálculos térmicos realizados

Estudo do comportamento térmico – unidirecional: – (oito Hipóteses)
Estudo do comportamento térmico – unidirecional: – (dezoito Hipóteses)
Estudo do comportamento térmico – Estrutura: Vertedouro principal (três Hipóteses)
Estudo do comportamento térmico – Estrutura: Tomada d'Água (quatro Hipóteses)
Estudo do comportamento térmico – Estrutura: Montante do vertedouro (três Hipóteses)
Estudo do comportamento térmico – Estrutura: Pilar do vertedouro (uma Hipótese)
Estudo do comportamento térmico – Estrutura: Ogiva (quatro Hipóteses)
Estudo do comportamento térmico – Estrutura: Camada D33DF (uma Hipótese)
Estudo térmico – Stay Column – Relatório DCT.C.105.2010-RI
Estudo térmico – Consumo de gelo – Relatório DCT.C.118.2010-RO
Estudo térmico – Barragem de gravidade de CCR – Relatório DCT.C.128.2010-RI
Estudo térmico – Complementar unidirecional – Relatório DCT.C.142.2010-RO

6.5 ESTUDOS TÉRMICOS CONVENCIONAIS

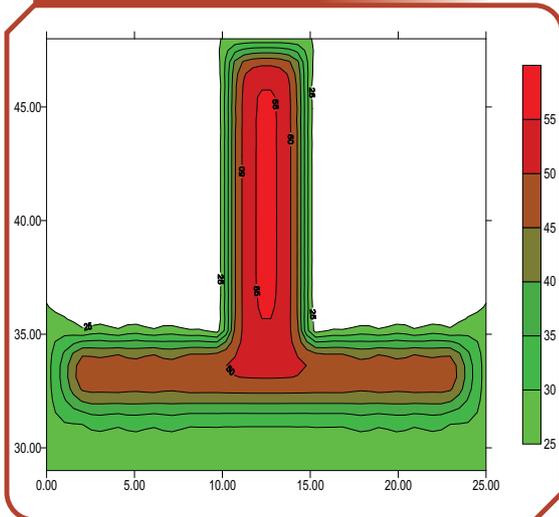
Consoante a programação elaborada pela engenharia da obra para implantação das estruturas, várias situações são analisadas do ponto de vista do seu comportamento térmico, devido a dimensões e/ou volumes envolvidos, com o objetivo de minimizar ao máximo a possibilidade de ocorrência de fissura. Tais estudos foram desenvolvidos no laboratório de concreto de Furnas, em Goiânia e na obra, conforme mostrado na Tabela 8.

Nas Figuras 1 e 2, são apresentadas ilustrações de cálculo térmico desenvolvido para o pilar e a ogiva do vertedouro principal.

6.5.1 ESTUDOS TÉRMICOS PARAMETRIZADOS - COMPLEMENTARES

Este estudo térmico visa a aplicação na

Figura 1 – Isotherma ilustrativa do pilar do Vertedouro



fundação da Casa de Força, sendo proposto pela EP-Engenharia do Proprietário, constando da fixação da temperatura de resfriamento até a data limite de segurança contra fissuração, tendo como variável o tempo de exposição em função da altura da camada. Trata-se de uma alternativa bastante atrativa, embora dependa de uma boa interface com as frentes de trabalho e das particularidades das configurações e interferências das estruturas e do prazo factível de retomada.

6.5.2 TESTE DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Foi ainda analisada a possibilidade de se proteger a camada superior de algumas estruturas massivas, após atingir

Figura 2 – Isotherma ilustrativa da Ogiva do Vertedouro

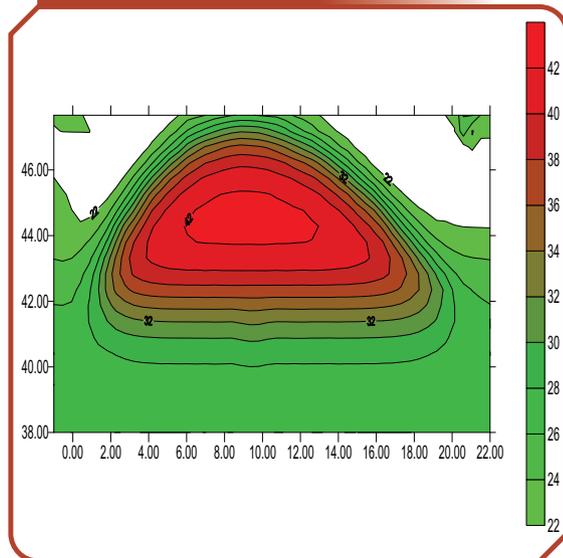


Tabela 9 – Identificação dos materiais de proteção térmica adotados

Caixa	Condições de isolamento da superfície exposta	Tipo de material isolante utilizado na superfície livre (acabada)	Temperatura máxima - °C
01	Condição adiabática	Madeira revestida com isopor	78,5
02	Cura normal - Água	Água de cura - renovável	71,7
03	Material de teste - Sika	Agente de cura e isolante O1	72,4
04	Material de teste - Sika	Agente de cura e isolante O2	72,9
05	Material de teste	Manta plástica branca	74,7
06	Material de teste	Manta de feltro marrom	72,5
07	Material de teste	Manta de feltro preta	72,9
08	Material de teste	Napa bege	72,4
09	Material de teste	Napa preta emborrachada	73,7
10	Material de teste	Napa preta	74,8

a temperatura máxima, contra a queda brusca de temperatura, para reduzir o risco de fissuração. Foram realizados testes com vários materiais para verificar se eles apresentam alguma potencialidade como isolante térmico, quando aplicado em superfícies de concretos massivos. O objetivo principal foi identificar quais desses materiais possuem a propriedade de tornar mais lenta a transmissão de calor para o exterior e, conseqüentemente, o desenvolvimento das tensões.

Para condução dos trabalhos referente aos ensaios de isolamento térmico,

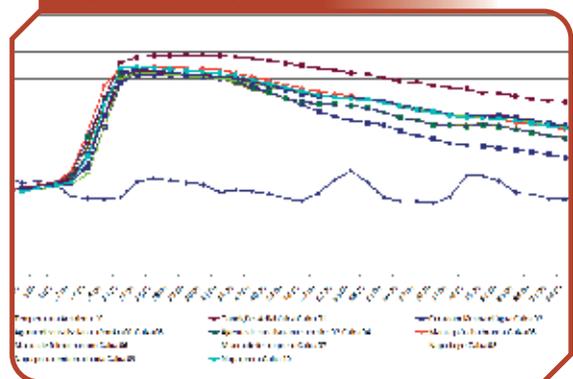
co, foram seguidos os seguintes procedimentos descritos a seguir:

- Execução dos corpos de prova cúbicos de concreto: foram construídas dez caixas de madeira de forma cúbica, com dimensão de um metro e isolamento térmico em isopor com espessura de 5cm;
- No interior de cada caixa, foram fixados os gabaritos metálicos para assegurar o posicionamento do termômetro de resistência elétrica no centro de massa do corpo prova;
- O passo seguinte foi executar a moldagem dos corpos de prova (cubos)

Foto 3 – Vista geral das dez caixas utilizadas no estudo para cada tipo de proteção analisada



Figura 3 – Registro das temperaturas para cada tipo de proteção analisada



com uso de caminhão betoneira: o concreto foi lançado em subcamadas, vibrado e teve a superfície superior, exposta, acabada o suficiente (desempenada) para assegurar o assentamento dos materiais em teste;

- As caixas foram identificadas de 01 a 10, distribuídas conforme mostra a Tabela 9.

7. COMENTÁRIOS FINAIS

No âmbito das atividades de concreto, principalmente das dimensões das estruturas e os volumes massivos envolvidos, as ações incrementadas foram altamente positivas na redução de consumo de cimento nas dosagens e no desempenho térmico nas estruturas.

Outros reflexos positivos foram obtidos com:

- Intervenção no processo de britagem, com melhorias nas composições dos agregados e combinações granulométricas;
- Utilização de sílica ativa nas dosagens de maior volume, com redução de cimento e melhoria na microestrutura do concreto;
- Melhorias no desempenho dos aditi-

vos, com desenvolvimento de novas formulações;

- Estudo térmico paramétrico desenvolvido na obra para definir qual o material permitia menor transmissão de calor para o exterior da camada;
- Introdução seletiva de gelo nas dosagens para grandes volumes locais mais críticos como a viga munhão;
- Melhorias nos processos de produção do concreto nas centrais e nos controles de laboratório, com o objetivo de reduzir dispersões e garantir a confiabilidade e segurança na redução de consumos de cimento.

Em que pese à grandiosidade do empreendimento e suas logísticas próprias, o empreendimento vem cumprindo os objetivos de qualidade e as metas de trabalho estabelecidas.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Santo Antônio Energia SA, na pessoa de seu diretor técnico no empreendimento, engenheiro Antônio de Pádua Benfica Guimarães, pelo apoio a esta publicação.

Agradecemos ao CSAC-Consórcio Santo Antonio Civil, na pessoa de seu diretor Geral de Contrato, engenheiro Mario Lúcio Pinheiro, pelo apoio a esta publicação.

Referências Bibliográficas

- [01] Estudos de dosagens desenvolvidos pelo Centro Tecnológico de Furnas, Goiânia, Julho de 1999 a Janeiro 2011.
- [02] Caracterizações das propriedades dos concretos desenvolvidas pelo Centro Tecnológico de Furnas, Goiânia, Julho 1999 a Janeiro de 2011.
- [03] Estudos com novos materiais, aditivos e adições minerais ao concreto, desenvolvidos pelo Centro Tecnológico de Furnas, Goiânia, Julho de 1999 a Janeiro de 2011.
- [04] Estudos térmicos desenvolvidos pelo Centro Tecnológico de Furnas, Goiânia, Julho de 1999 a Janeiro de 2011.
- [05] Relatórios mensais de controles tecnológicos dos concretos e materiais em uso nos concretos, emitidos pela obra.
- [06] Sistema de Gestão da Qualidade - Especificações Técnicas Consolidadas - Plano de controle da qualidade do concreto e seus materiais constituintes
- [07] Andrade, W.P. "Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo", Editora Pini. ■

Venha para o 53º Congresso Brasileiro do Concreto

O Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON promove, de 01 a 04 de novembro de 2011, em Florianópolis, o 53º Congresso Brasileiro do Concreto. As inscrições para o evento estão abertas e podem ser feitas pelo site www.ibracon.org.br.

Fórum de debates sobre a tecnologia do concreto e suas aplicações em obras civis, o evento tem o objetivo de divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas, as melhores práticas e inovações em projeto, execução, controle de qualidade e recuperação de estruturas de concreto e a normalização no setor construtivo.

PROGRAMAÇÃO

CONFERÊNCIAS PLENÁRIAS

Especialistas renomados internacionalmente vão apresentar e discutir suas pesquisas científicas e tecnológicas em projeto e análise estrutural, execução e controle de qualidade de obras de concreto, materiais, suas propriedades e aplicações, nor-



malização, gestão e manutenção de obras, entre outros temas.

Estão confirmados:

- Bryan Perrier - Instituto de Concreto, África do Sul
- Carmen Andrade - RILEM, Suíça
- Dan Frangopol - Lehigh University, Estados Unidos
- Kenneth C. Hover - ACI, Estados Unidos
- Peter Richner - RILEM, Suíça
- Rui Calçada - Universidade do Porto, Portugal
- Willian Price-Agbodjan - INSA de Rennes, França

SESSÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

Pesquisadores do Brasil e do exterior debaterão os trabalhos que vem desenvolvendo sobre o concreto e seus materiais constituintes, as técnicas e sistemas

construtivos, o controle tecnológico do concreto, a análise estrutural e a normatização, entre outros assuntos correlatos.

WORKSHOP “BOAS PRÁTICAS PARA PROJETOS DE EDIFÍCIOS ALTOS”

No cenário nacional de boom imobiliário, especialistas vão expor e discutir os conceitos, metodologias e parâmetros em projeto para edifícios altos, tendo em vista as melhores práticas em projetos.

SEMINÁRIO DE INFRAESTRUTURA METROVIÁRIA E FERROVIÁRIA

Palestrantes debaterão o projeto, a execução e o controle tecnológico de estruturas de concreto para obras ferroviárias e metroviárias.

SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON BEST PRACTICES FOR CONCRETE PAVEMENTS

Evento vai expor as práticas inovadoras e sustentáveis em projeto e construção de pavimentos de concreto e as tecnologias mais modernas para sua manutenção. Especial atenção será dada aos desenvolvimentos tecnológicos latino-americanos em pavimentação.

SEMINÁRIO DE GRANDES CONSTRUÇÕES

Evento vai apresentar os detalhes de projeto e os desafios construtivos das grandes obras que estão em desenvolvimento no país.

SEMINÁRIO DE SUSTENTABILIDADE

Repetindo o sucesso das edições anteriores, a terceira edição do Seminário prosequirá os debates com os especialistas acerca dos passos que estão sendo dados e que precisam ainda ser tomados na indústria da construção civil, com vistas a assegurar a sustentabilidade no setor construtivo.

CONCURSOS ESTUDANTIS

Competições entre estudantes de en-

genharia, arquitetura e tecnologia, com o objetivo de incentivá-los a aprender na prática, aplicando os conhecimentos aprendidos em salas de aula.

I SIMPÓSIO INTERNACIONAL RILEM/IBRACON SOBRE AVALIAÇÃO, PROTEÇÃO E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM CORROSÃO DE ARMADURAS

Fruto da parceria recente firmada entre o IBRACON e a RILEM, o evento trará as pesquisas e as práticas sobre avaliação, proteção e reabilitação de estruturas de concreto afetadas pela corrosão de armaduras.

CURSOS DE ATUALIZAÇÃO PROFISSIONAL

Parte do Programa MASTER PEC - Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto, sistema de cursos de educação continuada do Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, que objetiva divulgar os avanços tecnológicos do concreto com visão sistêmica e responsabilidade social.

VISITA TÉCNICA

Continente Shopping e Fábrica da Cassol.

FEIBRACON

Num espaço de exposição no Centro de Convenções de Florianópolis (CENTRO-SUL), as empresas do setor construtivo apresentarão as últimas novidades em termos de produtos e serviços para obras de concreto na VII Feira Brasileira das Construções em Concreto.

O evento é aberto aos profissionais do setor construtivo, engenheiros, técnicos, pesquisadores, empresários, fornecedores, investidores e estudantes que queiram aprender mais, discutir e se atualizar sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos.

Acompanhe as informações sobre o Congresso no site www.ibracon.org.br.

Seminário técnico na Regional da Bahia

A Universidade Católica de Salvador (UCSAL) realiza, de 15 a 17 de setembro, o Segundo Seminário “Materiais de Construção Civil”, em seu Campus Pituacu. O evento conta com o apoio da Regional do IBRACON na Bahia.

O objetivo do seminário é transmitir aos profissionais da construção civil a importância da aplicação de materiais de construção de maneira correta e sustentável e disseminar o conhecimento das normas técnicas relacionadas aos materiais construtivos.

PROGRAMAÇÃO

- Logística dos materiais no canteiro de obras - Prof. Rosana Leal
- Tintas na construção civil - Eng. José Alberto Cardoso
- Sistema Construtivo Concreto-PVC - Luciano Numes

- Concreto dosado em central: tipos e aplicações - Eng. George Hilton Beato
- Família Glenium 300: inovação em aditivos polifuncionais - Eng. Fabrício Buzeto
- A contribuição da impermeabilização para proteção das estruturas de concreto - Eng. Jorge Lima
- Utilização de argamassa projetada em revestimento na construção civil - Eng. Márcio Tourinho
- Piso de concreto e proteção superficial - Eng. Raymundo Wilson da Silva Dórea
- Uso de espaçadores plásticos na construção civil: tipos e aplicações - José Onofre Sampaio Silva
- Manifestações patológicas em sistemas de impermeabilização: identificação e medidas corretivas - Eng. Elton Góes.

Informações na Escola de Engenharia da UCSAL, localizada na Avenida Prof. Pinto de Aguiar, 2589, e na Fundação Escola Politécnica, localizada na Rua Severo Pessoa, 31, ou pelos emails: ee@ucsal.br e anajudith@fepba.org.br.

Regional do Rio de Janeiro apóia Workshop Internacional

No último dia 21 de julho de 2011, a Regional do IBRACON-RJ, representada por sua diretora, Enga. Andréia Sarmento, apoiou o “Workshop Internacional: Soluções em Engenharia para Obras de Infraestrutura com Ênfase na Pré-Fabricação em Concreto e na Sustentabilidade”, ocorrido na Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN).

O evento, promovido pelo Instituto IDD conjuntamente com a ABCIC e a Comunidade da Construção Rio de Janeiro, teve a participação de cerca de 160 pessoas e ocorreu durante a reunião do conselho do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Rio de Janeiro, cujo presidente, Eng.



Roberto Kauffmann, proferiu palestra na abertura do evento.

O workshop teve as palestras dos enge-



Eng. Bruno Contarini
(BC Engenharia)

nheiros Hugo Corres (FHECOR - Espanha), Bruno Contarini (BC Engenharia) e Paulo Helene (PhD Engenharia/EPUSP), que abordaram, respectivamente, os seguintes temas: soluções em pré-fabricados para obras de infraestrutura; o projeto e a obra do estádio

olímpico João Havelange; e a sustentabilidade do concreto pré-fabricado.

A Regional do Paraná, que também apoiou o evento, esteve representada por seu diretor técnico, o Eng. Cesar Henrique Daher.



Prof. Paulo Helene
(USP)

Regional IBRACON Noroeste Paulista realiza workshop



Geol. Carlos Campos
(Instituto Brasileiro do Concreto)

Nos dias 25 e 26 de Maio, foi realizado em Ilha Solteira, o “4º Workshop - Concreto: Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”, organizado pela Regional IBRACON Noroeste Paulista em parceria com o Laboratório CESP e a Faculdade de Engenharia Civil da Unesp.

Na abertura do evento, a Diretoria do Instituto foi representada pelo seu

Diretor Técnico, geol. Carlos Campos, que proferiu a palestra inaugural “Patologias Inerentes a Erros de Concepção do Projeto Estrutural”.

As palestras que se seguiram “Concretos de Última Geração”, “Planejamento, Práticas Construtivas e Controle de Qualidade do Concreto”, “Aspectos Relevantes na Construção da Ponte Estaiada sobre o Rio Paraná”, “A Reação Álcali-Agregado no Concreto: Efeitos

e Inibidores”, “Construção da Ponte Estaiada Sobre o Rio Negro”, “Aspectos Construtivos e da Manutenção da Ponte Rio-Niterói”, foram apresentadas, respectivamente, pelos especialistas, Prof. Wellington Longuini Repette (Univ. Fed. de Santa Catarina - UFSC), Eng. Bento Sgarboza (Consultor), Eng. José Renato Arantes Andrade (CESP), Eng. Flávio Moreira Salles (Laboratório CESP de Engenharia Civil), Eng. Paulo Chuva (C.C. Camargo Corrêa) e Eng. Carlos Henrique Siqueira (Consultor). Também foram apresentados cinco trabalhos de pesquisadores da Faculdade de Engenharia Unesp de Ilha Solteira.

Os assuntos abordados despertaram interesse nos cerca de 150 participantes, entre estudantes, professores e profissionais ligados à Engenharia Civil. O evento foi encerrado com um jantar que promoveu a confraternização de todos os participantes.



Solenidade de Abertura



Participantes no coffee-break oferecido pelo Workshop

Concrete Show 2011

O Instituto Brasileiro do Concreto participou conjuntamente com outras entidades do setor construtivo brasileiro do ConcretEspaço, na Concrete Show 2011, evento internacional de soluções e tecnologia para a construção civil, ocorrido de 31 de agosto a 02 de setembro, no

Centro de Exposições Imigrantes.

A participação na Concrete Show oferece a oportunidade do IBRACON estreitar relacionamentos com seus associados de todo Brasil e do exterior, bem como com as entidades e empresas da cadeia produtiva do concreto. ■



Pesquisas e inovações para a construção sustentável.

01 a 04 de novembro de 2011
CENTROSUL - Florianópolis/SC



TEMAS

- | | |
|---|--|
| 1 Gestão e Normalização
<i>Management and Standardization</i> | 5 Análise Estrutural
<i>Structural Analysis</i> |
| 2 Materiais e Propriedades
<i>Materials and Properties</i> | 6 Materiais e Produtos Específicos
<i>Specific Products</i> |
| 3 Projeto de Estruturas
<i>Structural Design</i> | 7 Sistemas Construtivos Específicos
<i>Specific Construction Systems</i> |
| 4 Métodos Construtivos
<i>Construction Methods</i> | |

DATAS IMPORTANTES

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| Aceitação de Artigos | → até 12/setembro/2011 |
| Envio de Revisão de Artigos | → até 28/setembro/2011 |
| Evento | → 01/11 a 04/11/2011 |

Fique atento para não perder os prazos! As datas estabelecidas não serão prorrogadas!

PALESTRANTES

- Bryan Perrier - Instituto de Concreto, África do Sul
- Carmen Andrade - RILEM, Suíça
- Dan Frangopol - Lehigh University, Estados Unidos
- Kenneth C. Hover - ACI, Estados Unidos
- Peter Richner - RILEM, Suíça
- Rui Calçada - Universidade do Porto, Portugal
- Willian Price-Agbodjan - INSA de Rennes, França

EVENTOS PARALELOS

- 2nd Internacional Conference on Best Practices for Concrete Pavements
- Seminário de Infraestrutura Metroviária e Ferroviária
- Seminário de Grandes Construções
- Seminário de Sustentabilidade
- Workshop "Boas Práticas para Projetos de Edifícios Altos"
- Primeiro Simpósio Internacional RILEM-IBRACON sobre Avaliação, Proteção e Reabilitação de Estruturas de Concreto com Corrosão de Armaduras

VII FEIBRACON - Feira Brasileira das Construções em Concreto

Excelente oportunidade para divulgação, promoção e relacionamento. Cotas de patrocínio e de exposição à venda.

CONSULTE

Arlene Lima
Fone → +55 11 3735-0202
e-mail → arlene@ibracon.org.br

INSCRIÇÕES ABERTAS

Site → www.ibracon.org.br
Preencher formulário on-line
Fazer depósito bancário
Enviar comprovante de depósito

COMISSÃO ORGANIZADORA

Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, 68
Bairro Jardim Olímpia
São Paulo - SP - Brasil
05542-120

Fone/Fax → +55 11 3735-0202
Fax → +55 11 3733-2190
e-mail → office@ibracon.org.br

INFORMAÇÕES

Site → www.ibracon.org.br
email → office@ibracon.org.br

pesquisa aplicada

CCR enriquecido

Avaliação da aplicação de concreto enriquecido com calda em barragens de CCR

J. MARQUES FILHO

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA

A. P. WENDLER

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RESUMO

A utilização de CCR na construção de barragens de concreto no Brasil tem se mostrado competitiva. Nos últimos anos, vem sendo aplicada a técnica do CCR rampado, que permite otimizar a colocação do concreto e minimiza a utilização de argamassa como ponte de ligação entre camadas de construção sucessivas. A inclinação das camadas dificulta a execução das faces de montante e de jusante, assim como das galerias de drenagem, vedajuntas e drenos de juntas de contração. A execução do enriquecimento do CCR simplifica consideravelmente os processos executivos e a interferência na praça de concretagem, mas sua aplicação deve estar embasada em dados seguros sobre os parâmetros físicos resultantes do processo e em estudos que permitam um controle de qualidade adequado. A técnica foi desenvolvida na China e aplicada em barragens de concretos utilizando grande quantidade de pozolana. No Brasil, desenvolveu-se a tecnologia do CCR com alto teor de finos de agregados pulverizados, conceitualmente muito diferentes dos con-

cretos onde o enriquecimento foi aplicado até hoje no mundo, gerando a necessidade de se investigar as propriedades mecânicas resultantes do processo e sua capacidade de execução.

Este trabalho mostra avaliação do enriquecimento, utilizando os materiais e processos empregados na construção da Usina Hidrelétrica Mauá, procurando dar consistência aos resultados obtidos. As simulações utilizaram corpos de prova prismáticos executados no canteiro de obras da usina, variando a quantidade de calda colocada por volume unitário de concreto e analisando a dosagem resultante. O projeto de experimentos avalia a capacidade de execução do enriquecimento e a permeabilidade do material resultante através de testemunhos obtidos por sondagem rotativa.

Palavras-chave: barragens, concreto compactado com rolo (CCR), enriquecimento com calda, permeabilidade.

1. INTRODUÇÃO

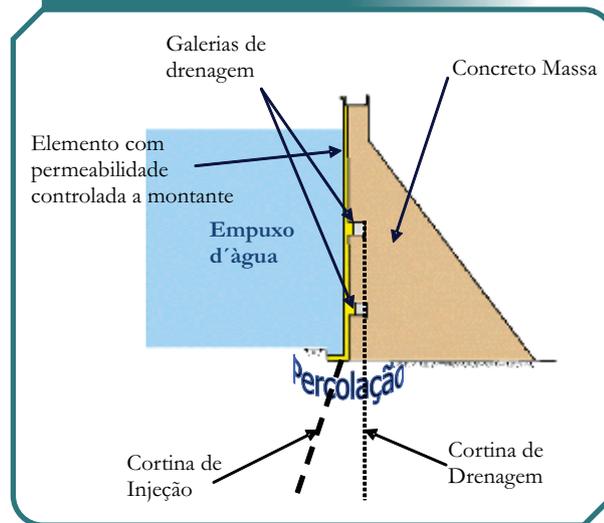
O crescimento das populações humanas e a necessidade urgente de melhoria das suas condições de vida, através do desen-

volvimento sustentável, pressionam as reservas disponíveis de água para consumo, agronegócio e geração de energia. A utilização planejada dos recursos hídricos induz a formação de reservatórios através de aproveitamentos hidráulicos.

A utilização de concreto em barragens data da segunda metade do século XIX, inicialmente sem cuidados especiais quanto ao controle da qualidade do material, utilizando métodos empíricos baseados em estruturas semelhantes de alvenaria. Marco especial no desenvolvimento da técnica foi a barragem de Crystal Springs, com 46,2 m de altura, na Califórnia, em 1888, onde houve registros de controle tecnológico do concreto, especificando-se o tamanho dos blocos de concretagem e limitando a relação água/cimento [1]. A tecnologia de concreto sofreu grandes evoluções nas três primeiras décadas do século XX, desenvolvendo-se os processos executivos e sedimentando-se a maioria dos conceitos envolvidos.

Os empreendimentos hidráulicos possuem estruturas de grande porte, além das barragens, com aplicação de volumes expressivos de concreto, tanto nas barragens que utilizam este material como componente quanto nas estruturas complementares como vertedouros, tomadas d'água e casas de força. A geração autógena de calor devido à reação de hidratação do cimento gera preocupações relativas aos efeitos das variações volumétricas em estruturas maciças. Assim sendo, a evolução do emprego do concreto em obras de grande porte levou ao conceito de concreto massa, definido como aquele concreto lançado em grandes volumes e que requeira meios especiais para combate à geração de calor e

Figura 1 – Seção transversal esquemática típica – barragem de concreto de gravidade



às variações volumétricas [2].

Durante o desenvolvimento da técnica do concreto massa, evoluíram dosagens com minimização do consumo de cimento, utilização intensiva de pozolanas, utilização de cimentos com baixos teores de C_3A e técnicas de refrigeração. A diminuição do consumo de cimento, dentro do com-

portamento reológico da pasta necessário para a trabalhabilidade adequada, em geral conduz à obtenção de concretos com alta permeabilidade. A compatibilização das necessidades de diminuição do consumo e de estanqueidade do concreto leva ao conceito de projeto apresentado na Figura 1. A seção transversal apresenta um zoneamento da barragem com o concreto massa aplicado em quase toda a seção, excetuando-se o concreto da face de montante, que é projetado para garantir a estanqueidade da estrutura utilizando, em geral, maior consumo de cimento. Enquanto, no concreto massa, procura-se atingir as resistências de projeto com cuidados intensos com as variações volumétricas, no concreto da face de montante, além da resistência, é necessário controlar a permeabilidade para garantia da durabilidade e controle da percolação de água [3]. Apesar da permeabilidade ser, na maioria das vezes, o parâmetro determinante, o controle de qualidade no campo é possível e executado através da resistência à compressão. Assim sendo, foram geradas várias especificações técnicas limitando a resistência característica à compressão mínima da face de montante. Sem a devida reflexão sobre a permeabilidade, a observação somente da resistência pode criar soluções com consumo de cimento maior que o necessário.

O desenvolvimento da tecnologia de barragens de concreto no Brasil teve notável desenvolvimento entre os anos 60 e 80, quando essas perderam competitividade em relação a diversas alternativas. O processo executivo denominado Concreto Compactado com Rolo, ou CCR, é uma evolução natural do concreto convencional, utilizando intensamente equipamentos originariamente empregados em grandes obras de terra para transporte, espalhamento e adensamento do concreto, gerando um processo industrial eficiente e competitivo.

O CCR procura obter um máximo desempenho no quesito velocidade de lançamento; logo, atividades periféricas à concretagem do maciço devem ser analisadas com cuidado, minimizando-se sua interferência na velocidade e automação do processo e garantindo as propriedades especificadas para o material. A execução da face de montante, a execução de juntas e a colocação de vedajuntas, galerias e cortinas de drenagem são atividades que criam dificuldades no processo, podendo gerar caminhos críticos no cronograma de construção. Portanto, é importante o desenvolvimento de alternativas para a minimização de interferências e a agilização das atividades periféricas [3].

Para otimização da colocação de CCR, aumentando o uso contínuo da central de mistura e diminuindo as interferências, há aproximadamente quinze anos, vem sendo utilizado comumente na China o método de colocação rampado com a aplicação de enriquecimento de calda na face de montante.

No método rampado, diminui-se a área de espalhamento e compactação, permitindo o lançamento de camadas discretas de pequeno volume constantemente. As camadas são colocadas com pequena inclinação com relação à horizontal, de modo a permitir o acesso do rolo, podendo a superfície ser retomada para a próxima camada em um intervalo de tempo relativamente curto [4]. O tempo reduzido entre camadas sucessivas pode evitar a necessidade

de utilização de argamassa de ligação, reconstituindo as condições básicas de barragens com concreto massa no que se refere às alturas entre camadas, com menor número de juntas frias e com juntas de contração bem definidas [3]. Há uma clara economia de custos e diminuição da geração autógena de calor.

O enriquecimento do CCR com argamassa, ou *Grout Enrichment of RCC*, consiste na aplicação de quantidade limitada de calda de cimento no CCR recém-lançado e posterior aplicação de vibradores de imersão que homogeneizam e compactam o material resultante. A técnica é utilizada para melhorar as condições de permeabilidade e de resistência mecânica das faces de montante ou em regiões onde o acabamento pode ser importante [5] [6] [7].

Apesar do enriquecimento com calda ter sido executado em caráter experimental em FURNAS, em maciços experimentais de laboratório, e em parede lateral da galeria de drenagem da UHE Dona Francisca, no Rio Grande do Sul, as tentativas de adaptação do método construtivo ainda são tímidas em termos de resultados, não tendo sido aplicada na face de montante de barragens brasileiras.

Na China, os concretos utilizam misturas mais ricas de CCR, com consumo de material cimentício superior à 150 kg/m³ [5], enquanto, no Brasil, os teores mais comumente usados estão entre 70 e 85 kg/m³, sendo a trabalhabilidade e coesão garantidas pela utilização de valores em torno de 160 kg/m³ de agregado pulverizado [3].

A pesquisa aqui apresentada procurou avaliar a aplicação de calda de cimento com materiais utilizados na Usina de Mauá, no rio Tibagi, localizada no estado do Paraná, com 361 MW de potência instalada. A avaliação procurou determinar os tipos de calda e a quantidade necessária à obtenção de material homogêneo que satisfaça às especificações de projeto.

A obra é composta por uma barragem de concreto compactado com rolo (CCR),

com 745 m de comprimento na crista, 85 m de altura máxima e 635.000 m³, com vertedouro sobre a barragem. O circuito hidráulico, para conduzir a água do reservatório até a casa de força, compreende uma tomada de baixa pressão, túnel de adução com 1.922 m, câmara de carga, tomada d'água de alta pressão e três túneis forçados no trecho final. A Figura 2 mostra uma vista geral por montante da UHE Mauá durante a construção.

2. ESTUDOS REALIZADOS

O estudo sobre o enriquecimento com calda de concreto foi realizado em duas etapas. A primeira considerou a execução de enriquecimento em maciço experimental executado no canteiro, visando verificar a capacidade executiva do processo. A segunda empregou formas prismáticas nas dimensões (0,30 x 0,60 x 0,70) m, nas quais foi simulado o enriquecimento.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados os mesmos materiais e misturas aplicados durante a construção da

barragem de CCR da UHE Mauá. A dosagem do CCR e do concreto convencional (CCV) da face utilizada na maior parte da obra e nos experimentos está apresentada na Tabela 1.

As caldas utilizaram também os materiais usados normalmente durante a construção, utilizando CPIV RS, da Votorantim, e aditivo retardador de pega PLASTIMENT VZ, da Sika Brasil.

2.2 EXPERIMENTOS

Foram moldados dez prismas experimentais, sendo nove constituídos por combinações possíveis da calda e um executado em concreto convencional, como referência. A matriz experimental do estudo de caldas está resumida abaixo, devendo se notar que a calda é aplicada 1 hora após sua confecção, procurando simular situação possível de obra, com limite de fluidez máximo de 7 s (de acordo com procedimentos na NBR 7682 [8]).

- Quantidade de calda (l/m): 15 / 17 / 19;
- Traço da calda (a/c): 0,7 / 0,8 / 0,9;

Figura 2 – Vista de jusante da UHE Mauá



Tabela I – Dosagem dos concretos empregados

Misturas / Materiais		Concreto	
		CCR	CCV face
Cimento	(kg/m ³)	75	195
Água	(kg/m ³)	125	190
Areia artificial	(kg/m ³)	1272	1144
Brita 25 mm	(kg/m ³)	619	1018
Brita 50 mm	(kg/m ³)	619	-
Relação a/c	(kg/m ³)	1,67	0,97
Plastificante	-	0,9	1,32
Slump	(mm)	-	70 ± 10
Vebê	(s)	15 ± 5	-
Ar incorporado	(%)	-	1,0 ± 0,5
Densidade teórica	(kg/m ³)	2710	2547
Fck	(Mpa)	7	12
Idade de controle	(dias)	180	180
Confiança estatística	(%)	80	80
Dim. Máxima caract.	(mm)	50	25

- Diâmetro do vibrador (mm): 140;
- Tempo de vibração por ponto (s): 15;
- Tempo entre colocação do CCR e aplicação da calda (h): 1.

Em cada prisma, foram extraídos quatro testemunhos para a realização dos ensaios mecânicos e de permeabilidade. Durante a execução dos prismas, foi avaliada a penetração da calda em todo o volume e a capacidade de execução.

A Figura 3 apresenta o procedimento de execução dos blocos com enriquecimento. Durante os ensaios preliminares, verifica-se que a energia de vibração para adensamento é um dos pontos críticos do processo, mostrando-se eficientes, nos estudos preliminares, vibradores com diâmetro de 140 mm.

A extração dos testemunhos foi realizada aos 53 dias de idade, sendo os mesmos, posteriormente, enviados ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME), pertencente ao Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (LACTEC), em Curitiba, para a realização dos ensaios. A Figura 4 apresenta um bloco após o processo de extração.

Parte dos corpos de prova resultantes, com dimensões (10 x 20) cm, foram ensaiados à resistência à compressão, conforme

estabelecido pela NBR 5739 [9]. Aqueles com dimensões de (15 x 15) cm foram ensaiados à permeabilidade, de acordo com a NBR 10786 [10], em equipamento similar ao desenvolvido pelo United States Bureau of Reclamation.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

Os procedimentos de ensaio foram calibrados em maciço experimental no campo, onde ficou claro tanto a necessidade de manutenção da fluidez adequada da calda, quanto da necessidade de vibradores de imersão com energia suficiente para um enriquecimento adequado. Para efeito de análise dos resultados, foi obtida a dosagem equivalente do concreto enriquecido, conforme apresentado no item 3.1.

Com estes traços equivalentes e os resultados de ensaios, foi efetuada uma comparação entre o resultado do enriquecimento e o do concreto convencional de face.

3.1 TRAÇO EQUIVALENTE DE CONCRETO

Tomando como dados iniciais o traço do CCR e a quantidade de calda utilizada, calculou-se o traço equivalente do concreto

Figura 3 – Processo de enriquecimento do CCR



(a) Aplicação da calda



(b) Adensamento



(c) Aspecto superficial (a/c 0,74)



(d) Aspecto superficial (a/c 0,9)

resultante do enriquecimento, conforme apresentado na Tabela 2.

Onde:

C: consumo de cimento

A: consumo de água

M: consumo de areia artificial

G: consumo de agregado graúdo

Figura 4 – Prismas de concreto após extração



3.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Após a moldagem e extração, os testemunhos obtidos foram usinados, obtendo-se corpos de prova que sigam as recomendações das normas brasileiras anteriormente citadas. Os principais resultados de resistência à compressão e de permeabilidade estão apresentados na Tabela 3.

Conforme já discutido, a permeabilidade do concreto é o parâmetro determinante para o estudo de dosagens na face de uma barragem de concreto, desde que sua resistência seja compatível com as necessidades de parâmetros de resistência. No caso da UHE Mauá, a resistência característica à compressão especificada foi 7 MPa. Mesmo com o traumatismo gerado pelo processo de extração, pode ser observado na Tabela 3 que os valores obtidos são compatíveis com os requisitos de projeto.

Dos resultados, pode-se verificar que várias misturas têm permeabilidade com a

Tabela 2 – Reconstituição dos traços de CCR enriquecido

Combinações da calda	C (kg/m ³)	A (kg/m ³)	M (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Relação a/c
0,74 / 15	145	171	1166	1135	1,18
0,74 / 17	155	178	1151	1120	1,15
0,74 / 19	165	184	1136	1105	1,12
0,8 / 15	141	173	1166	1135	1,22
0,8 / 17	151	179	1151	1120	1,19
0,8 / 19	160	186	1136	1105	1,16
0,9 / 15	135	175	1166	1135	1,29
0,9 / 17	144	182	1151	1120	1,26
0,9 / 19	153	189	1136	1105	1,24
CCV	195	190	1144	1018	0,97

mesma ordem de grandeza que a obtida no CCV, com resultados compatíveis com as necessidades deste tipo de obra, com um consumo final de cimento menor que o do concreto convencional. Os valores mostram que há uma influência recorrente da quantidade de calda no processo, apesar da grande variabilidade obtida.

4. CONCLUSÕES

Os estudos iniciais mostraram a aplicabilidade com sucesso do enriquecimento com calda, com procedimentos de campo relativamente simples. Nos estudos iniciais, verifi-

cou-se a necessidade de quantidades muito maiores de calda no CCR aplicado no Brasil, com alto teor de finos,, que do aquele utilizado na China e em países que utilizam o conceito de dosagem de utilização de grande quantidade de pasta. Como exemplo claro disso, Forbes (1999) [5] avalia a quantidade de calda como sendo tipicamente de 8 l / m / 0,40 m de largura para camada de 0,30 m de espessura, para CCR contendo de 160 a 180 kg/m³ de material cimentício, enquanto os estudos apresentados neste trabalho indicam uma necessidade de utilização de valores superiores a 13 l / m / 0,5 m de largura.

Tabela 3 – Resultados do CCR enriquecido

Combinações da calda	Resist. à comp. (MPa)			Permeab. (cm/s)	
	média	desvio	ensaios		
0,74	15	8,37	0,74	2	8,40E-09
	17	7,88	1,14	2	1,01E-08
	19	11,63	3,49	2	4,33E-09
0,8	15	7,28	1,93	2	3,25E-08
	17	7,65	2,74	2	1,66E-08
	19	6,14	0,91	2	1,99E-08
0,9	15	7,64	3,15	2	6,16E-09
	17	7,52	0,24	2	1,44E-08
	19	9,02	0,95	2	2,30E-08
CCV		15,35	0,07	2	2,47E-09

Sob o ponto de vista executivo, fica clara a necessidade de aplicação homogênea do material, utilizando-se guias e perfurando previamente a massa de CCR para facilitar a penetração da calda em toda a espessura da camada. Outra constatação importante é a utilização de vibradores de imersão com energia suficiente para garantir a perfeita mistura e adensamento da mistura enriquecida. Nesse caso, mostraram-se eficientes vibradores com diâmetro de 140 mm.

A utilização de prismas de concreto para simulação e ajustes da quantidade de calda e de seu traço leva a resultados interessantes, permitindo, de uma forma pouco dispendiosa, a otimização do processo. Obteve-se valores do coeficiente de permeabilidade com a mesma ordem de grandeza do concreto convencional de face, porém, com consumos de cimento menores, demonstrando o potencial do enriquecimento.

Deve ser ressaltado que as conclusões deste trabalho se restringem aos materiais e metodologia utilizados. Apesar dos estudos serem encorajadores em termos de capacidade de execução, resultados de permeabilidade e de consumo de cimento, sua aplicação em obras com materiais diversos dos utilizados

devem ser precedidos de ensaios adequados.

A aplicação em aterros experimentais mostrou-se, sob o ponto de vista construtivo, possível, porém, os resultados visuais mostram uma variabilidade grande do processo. Talvez com procedimentos rígidos e treinamento da equipe, seja possível aumentar a confiabilidade do resultado. Outro desafio a ser desenvolvido é a criação de sistema de garantia da qualidade adequado para a solução, já que obviamente a retirada de testemunhos só é prática nas fases de desenvolvimento das dosagens e para uma verificação final do processo. O processo deve ser estudado de forma que o processo de enriquecimento tenha a mesma confiabilidade que o adensamento do concreto convencional que substitui.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças à anuência do Consórcio Energético Cruzeiro do Sul, proprietário da UHE Mauá, pelo apoio imprescindível da Construtora J. Malucelli. Agradecimentos especiais devem ser prestados aos Engenheiros Joaquim Franco Filho, Osvaldo Albuquerque, Luiz Fernando Prates de Oliveira, Douglas Emerson Moser e Plínio Hey Martins.

Referências Bibliográficas

- [01] CBGB; ELETROBRÁS; IBRACON. Concreto Massa no Brasil - Memória Técnica. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1989
- [02] MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: PINI, 2008.
- [03] MARQUES FILHO, J. Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo aplicado às Barragens. Tese de doutorado em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- [04] BATISTA, E.L; GRAÇA, N.G; ANDRADE, W.P; SANTOS, F.C.R; MOREIRA, L.C. Execução de concreto compactado com rolo rampado em Lajeado - Consolidação da experiência. 44º Congresso brasileiro do concreto, Belo Horizonte, 2002.
- [05] FORBES, B.A. *Grout enriched RCC - A history and future. International water power & dam construction*, 1999.
- [06] BATISTA, E.L; GRAÇA, N.G; BITTENCOURT, R.M; ANDRADE, W.P; GUIMARÃES, R.M; SANTOS, F.C.R. Estudos do concreto compactado com rolo para a face de barragens - ensaios executados in situ. 44º Congresso brasileiro do concreto, Belo Horizonte, 2002 a.
- [07] FORBES, B.A. RCC - *New developments and innovations*. 50º Congresso brasileiro do concreto, Salvador, 2008.
- [08] ABNT. NBR 7682: Cimento - Calda de cimento para injeção - Determinação do índice de fluidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983.
- [09] ABNT. NBR 5739: Concreto - Ensaio de Resistência à Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.
- [10] ABNT. NBR 10786: Concreto endurecido - determinação do coeficiente de permeabilidade à água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989. ■

Impressões do XIII Congresso Internacional de Química do Cimento

ARNALDO FORTI BATTAGIN
ABCP

INÊS LARANJEIRA DA SILVA BATTAGIN
ABNT/CB-18

O mais importante evento mundial na área de cimento e suas aplicações, o Congresso Internacional de Química do Cimento - CIQC (ou ICCC, em inglês) foi realizado em sua última edição na cidade de Madri, capital espanhola, e contou com a participação de cerca de 900 representantes de 57 países.

De 3 a 8 de agosto de 2011, mais de 600 trabalhos técnicos foram apresentados, dentro das nove grandes áreas técnicas previstas para os temas do Congresso:

- Química e engenharia do processo de fabricação;
- Produção sustentável;
- Novos cimentos;
- Hidratação e microestrutura;
- Hidratação e termodinâmica;
- Modelagem;
- Propriedades do concreto nos estado fresco e endurecido;
- Durabilidade do concreto;
- Normalização.

A organização do evento coube a um conjunto de quatro entidades: CSIC (Conselho Superior de Investigações Científicas), IECA (Instituto Espanhol do Cimento e suas Aplicações), OFICEMEN e Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja, tendo este último ocupado o cargo de presidência do evento, na pessoa do Dr. Angel Palomo.

Como patrocinadores estiveram presen-

tes os grupos cimenteiros Argos e Cemex, a AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) e as indústrias químicas MAPEI e CHRYSO, complementado por uma mostra com 12 expositores, sendo a maior parte constituída por fornecedores de equipamentos de laboratório para as indústrias de cimento.

A delegação brasileira foi a segunda maior, perdendo apenas para a representação do país sede. Dentre os brasileiros que participaram do evento, estão representantes da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, do SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, bem como de alguns grupos produtores de cimento e de diversas universidades brasileiras, num total de 35 participantes.

A cada quatro anos, um país é escolhido para sediar o ICCC. Desde a edição de 1986, quando o evento teve lugar no Rio de Janeiro, a participação da ABCP tem possibilitado o desenvolvimento de trabalhos técnico-científicos junto à indústria, que comprovam a importância de conhecer e buscar um alinhamento com as tendências mundiais, que, de imediato ou em futuro próximo, acabam por prevalecer também no Brasil.

A criação do Comitê Científico Internacional, com o objetivo de garantir a qualidade e a transparência do evento, mostra



Palácio dos Congressos, Madri



Público do Congresso Internacional de Química do Cimento

a preocupação dos europeus em manter o conteúdo técnico e científico do Congresso, que, em 2015, será realizado na China.

DESTAQUES

QUÍMICA E ENGENHARIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O maior avanço técnico-científico na área tem sido a investigação de clínquer de baixo consumo energético, com o propósito de redução das emissões de CO₂.

Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento nesse sentido baseou-se especialmente no uso de sistemas de pré-calcinadores com multiestágios e moinhos verticais, mas, atualmente, o grande desafio é o desenvolvimento de novas tecnologias de piroprocessamento, que não dependam do processo convencional do forno rotativo.

Esse desafio é motivado pelo compromisso da indústria de cimento frente às restrições ambientais, o cumprimento das necessidades econômicas e da evolução do mercado.

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E NOVOS CIMENTOS

Destaque neste painel para a importância do coprocessamento, cada vez mais intensivo, com a participação de resíduos urbanos (lixo) na Europa e na China, até o uso de concreto moído como matéria-prima alternativa para a produção de clínquer Portland, já que seu uso como agregado para concreto ainda apresenta restrições técnicas.

No cimento, a redução do fator clínquer por meio da incorporação de adições

ativas na diminuição das emissões específicas do CO₂ permanece como prioridade, apesar dos grandes avanços já alcançados e considerando a limitação de disponibilidade regional de adições.

No Brasil, há pouco espaço para aumento significativo do uso de adições ou aumento da eficiência energética, devido aos níveis já alcançados, restando o aumento do uso de combustíveis alternativos como solução mais eficaz.

Novos cimentos também poderão desempenhar um papel importante no futuro na redução das emissões, mas permanece a dúvida em que proporção eles poderão efetivamente substituir o clínquer Portland. Nesse particular, duas tendências podem ser detectadas: uma representada pela produção de novas tecnologias e outra pela releitura de tecnologias mais antigas, que vem ganhando impulso com as novas restrições ambientais na produção.

PROPRIEDADES DO CONCRETO NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO

A modelagem computacional, que já vem sendo empregada com mais frequência para elucidar o mecanismo da hidratação e transformações da microestrutura do cimento, deverá no futuro constituir ferramenta aplicável para o melhor entendimento e previsão das propriedades do concreto, tanto nos estados frescos como endurecido.

Pesquisas com previsão numérica dos efeitos do teor de ar, teor de agregados e orientação de fibras, por exemplo, começam a ser desenvolvidas em laboratórios de pesquisas em âmbito mundial. Essas ferra-



Presença Brasileira no Congresso (representantes da ABCP e do SNIC)



mentas, quando associadas à previsão de propriedades do concreto no estado endurecido em função do traço, podem melhorar a previsão do comportamento estrutural do concreto.

Por sua vez, a viscosidade tem importância crescente, com o aumento de finos no concreto e a diminuição do consumo de água, visando à garantia das propriedades de durabilidade, tempo de pega e resistência. Embora o uso de aditivos superplastificantes seja crescente, não há ainda conhecimento suficiente de como a viscosidade do concreto é reduzida com seu uso.

NORMALIZAÇÃO

Dois painéis específicos trataram de aspectos macro da normalização técnica, envolvendo a visão de futuro das entidades, mais especificamente da Europa e América do Norte, com forte correlação com a normalização internacional, em especial da ISO (International Organization for Standardization).

Nesses painéis, contou-se com a presença de personalidades, como o Presidente do CEN-Comitê Europeu de Normalização, que também preside a IECA, o representante da Oficemen e o vice-presidente da PCA-Portland Cement Association.

As entidades européias focaram a normalização técnica como ferramenta indutora de novas tecnologias norteando os trabalhos para processos de produção de baixa “pegada ecológica”, numa preocupação evidente de sustentabilidade da indústria.

A PCA mostrou o trabalho desenvolvido para a harmonização das normas de

cimento da América do Norte (EUA e Canadá) e as possibilidades de avanços futuros no uso de adições diretamente no cimento, prática incomum nesses países na atualidade. A harmonização das normas ASTM e AASHTO nos Estados Unidos foi um grande avanço para os fabricantes de cimento, que antes eram obrigados a manter silos separados para ambas as especificações de cimento para atendimento aos consumidores.

TENDÊNCIAS

No congresso realizado na Índia em 1992 reportou-se pela primeira vez o uso de resíduos como combustíveis alternativos e mineralizadores na conservação de energia e controle ambiental, além de trabalhos sobre o uso de adições ativas. As tendências com relação ao meio ambiente foram incrementadas nas edições de 1997, na Suécia, de 2003, na África do Sul e de 2007, no Canadá, mas enfatizadas de maneira inédita neste evento de 2011.

A produção sustentável, voltada principalmente para a minimização das emissões de CO₂ e eficiência energética e seus impactos nas mudanças climáticas, foi a maior preocupação do evento de Madrid, concentrando o maior número de trabalhos em novas adições e matérias-primas alternativas, cimentos com adições e novos cimentos.

Seguiram-se temas relacionados à hidratação e previsão de comportamentos por modelagem computacional, que eram tratados em congressos anteriores, porém de maneira mais discreta.

O tema durabilidade do concreto focou

especialmente os aspectos ligados ao ataque ácido e por sulfatos e a carbonatação, em detrimento da corrosão das armaduras e reação álcali-agregado, o que se deve principalmente à criação de congressos específicos, dada a importância dos temas.

Vale destacar que o congresso está cada vez mais direcionado às aplicações do cimento, tendo criado sessões específicas sobre propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido.

Os temas “Normalização” e “Mudanças Climáticas” ocuparam painéis dedicados, com especialistas convidados. As palestras apresentadas nas seções dedicadas à normalização evidenciaram a meta do CEN, comprovada pela AENOR, de direcionamento das normas técnicas como ferramentas indutoras de novas tecnologias. O momento é de busca incessante da sustentabilidade e as pesquisas que embasam as novas tendências da normalização europeia buscam atender às premissas dos três pilares da sustentabilidade: ambiental, de responsabilidade social e crescimento econômico.

Ficou evidenciada a intenção de aumento das adições nos diversos tipos de cimento na Europa. Essa também foi a mensagem deixada pelo representante da PCA, ao comentar as tendências atuais nos Estados Unidos e Canadá.

O setor está desenvolvendo o uso de novos materiais diretamente no cimento e no concreto, ou na produção, buscando conhecer suas propriedades. Esta tendência claramente se relaciona à necessidade da indústria de equilibrar fatores econômicos a fatores ambientais, de forma a manter a qualidade do produto e a competitividade no mercado.

Do Painel de Mudanças Climáticas, depreendeu-se que, no atual estágio, a captura e o armazenamento de carbono constituem tecnologia cara e tecnicamente impraticável, mas que é a solução do futuro para a indústria em termos de minimização das emissões, pois eficiência energética, combustíveis alternativos e uso de adições apresentam limitações. ■



Revista CONCRETO & Construções



A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em concreto.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão e gerência, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

Periodicidade: Trimestral
Número de páginas: 64 (mínimo)
Formato: 21 x 28 cm
Papel: couché 115 grs

Capa plastificada: couché 180 grs
Acabamento: Lombada quadrada colada
Tiragem: 5000 exemplares
Distribuição: circulação dirigida auditada pelo IVC

Para consultar o perfil dos profissionais que recebem a revista, acesse o menu **Publicações – Revista Concreto & Construções** no site www.ibracon.org.br

Para anunciar:
 Tel. 11- 3735-0202 | e-mail: arlene@ibracon.org.br

Lista de Preços

Formato	Dimensões	R\$
2º Capa + Página 3	42,0 x 28,0 cm	9.050,00
Página Dupla	42,0 x 28,0 cm	8.020,00
4º Capa	21,0 x 28,0 cm	6.130,00
2º, 3º Capa ou Página 3	21,0 x 28,0 cm	5.900,00
1 Página	21,0 x 28,0 cm	5.500,00
2/3 de Página Vertical	14,0 x 28,0 cm	4.125,00
½ Página Horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.000,00
½ Página Vertical	10,5 x 28,0 cm	3.000,00
1/3 Página Horizontal	21,0 x 9,0 cm	3.000,00
1/3 Página Vertical	7,0 x 28,0 cm	3.000,00
1/4 Página Vertical	10,5 x 14,0 cm	2.580,00
Módulo 6 x 8 vertical	6,0 x 8,0 cm	1.850,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta



Miel I, Barragem de CCR, Colombia.
Obra Nova



Taishir, Barragem de CCR, Mongólia.
Obra Nova



Sar Cheshmeh, Barragem de EFC, Irã.
Obra Nova



Messochora, Barragem de EFC, Grécia.
Reabilitação



Silvretta, Barragem de Gravidade, Austria.
Reabilitação



Turimiquire, Barragem de EFC, Venezuela.
Reabilitação Subaquática



Usina da Pedra, Barragem de Contrafortes,
Brasil. *Reabilitação, Vedação de Juntas*

+ de 45
ANOS DE EXPERIÊNCIA
EM ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

+ de 100
BARRAGENS REVESTIDAS

carpi

ESTANQUEIDADE PARA BARRAGENS
COM GEOMEMBRANAS SINTÉTICAS

CARPI BRASIL

Viaduto Nove de Julho 160 - cj 15 - Sao Paulo - CEP 01050-060 - Brasil
Ph ++55 11 32572346 - Fax ++55 11 32145413 - carpibr@terra.com.br

CARPI TECH

Via Passeggiata 1 - 6828 Balerna - Switzerland
Ph. ++41 91 6954000 - Fax ++41 91 6954009 - info@carpitech.com

www.carpitech.com



Vazamentos antes de começar a obra são simples de corrigir.



A Vedacit/Otto Baumgart oferece uma linha completa de produtos capaz de impermeabilizar toda a sua obra com o máximo de eficiência e durabilidade. Linha de produtos Vedacit/Otto Baumgart. Indispensável na sua obra.

www.vedacit.com.br

VEDACIT
IMPERMEABILIZANTES

