



CONSTRUÇÃO DO BLOCO DE FUNDAÇÃO DO PRÉDIO DO COMBUSTÍVEL, LABORATÓRIO DE GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEOELÉTRICA, CENTRO EXPERIMENTAL ARAMAR, MARINHA DO BRASIL EM IPERÓ, SP.

CONSTRUCTION OF THE COMBUSTIVE BUILDING'S FOUNDATION BLOCK,
NATIONAL LABORATORY OF NUCLEAR ELECTRIC ENERGY GENERATION,
EXPERIMENTAL CENTER ARAMAR, BRAZILIAN NAVY AT IPERÓ, SP.

BILESKEY, Pedro ⁽¹⁾; AMARAL, Roberto ⁽²⁾; MARCZYNSKI, Roberto ⁽²⁾; MASTROMAURO,
Waldemar ⁽²⁾; STEFANI, Meire ⁽³⁾; HELENE, Paulo ⁽⁴⁾.

(1) PhD Engenharia;

(2) Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo

(3) Contracta Engenharia

(4) Professor Titular da EPUSP. PhD Engenharia;

Rua Visconde de Ouro Preto, 201. Consolação. São Paulo/SP. CEP 01303-060

Resumo

O Programa Nuclear da Marinha (PNM) constrói, no momento, no Centro Experimental Aramar, localizado na cidade de Iperó, SP, o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica, LABGENE. Este laboratório foi idealizado com a finalidade de avaliar sistemas de propulsão naval, a serem construídos em estaleiros nacionais e que prestarão serviços à Marinha auxiliando na defesa e segurança de nossas águas territoriais. Os prédios do LABGENE possuem estruturas que foram concebidas e projetadas, respeitando rígidos critérios nacionais e internacionais de segurança estrutural, visando à integridade destas frente a fenômenos naturais, à preservação do meio ambiente e de forma apropriada a garantir a segurança das populações circunvizinhas. Para o atendimento destas exigências, a PhD Engenharia, embasada em um estudo detalhado deste projeto, desenvolveu e fundamentou uma especificação para execução destas estruturas estabelecendo também procedimentos para produção, transporte, lançamento, adensamento e cura destes concretos. Foram realizados estudos de avaliação das matérias primas disponíveis na região de interesse para produção do concreto. Estudos térmicos para verificação da elevação da temperatura adiabática do concreto naqueles elementos estruturais que, no projeto estrutural, apresentavam volumes expressivos. Realizou-se também um extenso programa de estudo de dosagens de concreto, nos laboratórios da empresa de serviços de concretagem indicada pela fiscalização do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, com o objetivo de avaliar e definir traços de concreto a serem utilizados, com características físicas adequadas à forma dos elementos estruturais e a sua densidade de armadura. Foram também realizados estudos de produção de concreto em escala industrial, dosagem de caminhões protótipos experimentais, onde se avaliaram o desempenho efetivo dos concretos estudados nas reais condições de fornecimento. Os resultados destes estudos, aqui apresentados, auxiliaram os envolvidos no empreendimento na tomada de decisões quanto aos seus procedimentos construtivos, na definição de juntas de concretagem programadas e no resfriamento do concreto, providências estas importantes principalmente para evitar o aparecimento de fissuras de origem térmica neste importante elemento estrutural. Trata-se de um elemento estrutural assentado sobre um maciço rochoso, com dimensões laterais de 16,40m x 30,75m e diversas alturas, variando entre 0,85m e 2,20m, tendo ainda dois volumes de 1m de espessura, ("chavetas") mais profundos, para assegurar sua estabilidade a esforços cortantes horizontais. Apresentam-se neste trabalho, detalhes da construção deste Bloco de Fundação, Prédio do Combustível, dos estudos térmicos realizados para esta estrutura e os resultados do seu controle tecnológico.

Palavra-Chave: Bloco de fundação, estudos térmicos, fissuração, concreto auto-adensável.



Abstract

The Brazilian Navy Nuclear Program builds up, in the Experimental Center Aramar, nearby Iperó, SP, the Laboratory of Nuclear Electric Energy Generation (LABGENE). This lab aims to evaluate the naval propulsion systems, which will be built by national shipyards and used by the Brazilian Navy to defend our territorial waters. The building structures were conceived and designed following rigid national and international structural safety criteria, aiming to guarantee the integrity of the structure and environmental and nearby populated areas' safety. In order to match these requirements, the PhD Engenharia, supported by a detailed study of the design, developed and made a specification for the civil works, establishing the procedures for the production, transportation, pumping, consolidation and cure of these concrete items. In addition, some studies were made in order to evaluate the available raw materials around the region where the concrete would be produced. Thermic studies were also developed to evaluate concrete's adiabatic temperature in the structural elements that, in structural project, shown expandable volumes. A broad program of studies, which took place in the company appointed by the Navy's Technological Center at São Paulo as the responsible for the concrete related services, was carried out aiming to evaluate and define the ideal concrete mix to be used, with physical properties that suits the shape of the structure and the rebar. Studies were also made regarding the industrial scale production of the concrete, with the production of full-scale experimental batches, in order to check the effective performance of the concrete. The results presented here helped the project's team in the decision making process regarding the constructive procedures, the placement of the joints in the structure and the cooling of the concrete, among others fundamental topics, to avoid cracking/flaws caused by heat-induced expansion in the foundation block. This important structural element is placed on a geological massif and has a rectangular horizontal section (16.40m x 30.75m), a depth that varies between 0.85m and 2.20m and two deeper elements ("keyed joint") with 1 meter of thickness in order to assure the stability of the structure to horizontal shear stress. This paper presents details of the construction of the foundation block of the Combustive Building, of the technical studies concerning this structure and the results of the technical control process.

Keywords: Foundation block, Thermic studies, cracking, Self-compacting concrete.



1 Introdução

O Programa Nuclear da Marinha do Brasil prevê o desenvolvimento de capacitação tecnológica nacional para produção de combustível nuclear e para o projeto, construção, comissionamento, operação e manutenção de reatores núcleo-elétricos tipo PWR - reatores refrigerados a água, para aplicação em propulsão naval, tendo iniciado em 1979, ainda nas dependências do CTA - Centro Tecnológico Aeroespacial, pelo então Capitão de Fragata (EN) Othon Luiz Pinheiro da Silva. O Programa Nuclear da Marinha possui três grandes projetos: o Projeto do Ciclo do Combustível, Projeto do Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE) e Projeto de Infraestrutura.

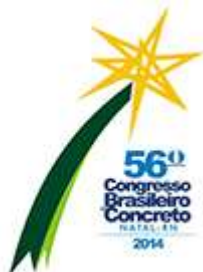
O Projeto do Ciclo do Combustível tem como objetivo principal a produção de elementos combustíveis necessários a operação de um reator nuclear. Em síntese, na sua versão atual, o combustível nuclear considera pastilhas de dióxido de urânio. O processo consiste na dissolução do concentrado de urânio (yellow cake) em ácido nítrico e sua posterior purificação. Após uma série de reações químicas é obtido o Hexafluoreto de Urânio (UF₆) que, por estar na fase gasosa, possibilita o enriquecimento isotópico do urânio na próxima etapa do ciclo do combustível. A técnica de obtenção laboratorial do UF₆, já foi desenvolvida no Brasil. Cabe salientar que somente cerca de 10 (dez) países no mundo dominam a técnica de enriquecimento de urânio e a nossa é considerada uma das mais desenvolvidas.

O projeto do LABGENE busca o desenvolvimento, projeto e construção no País de um reator nuclear a ser empregado na propulsão naval. Pela natureza dual do projeto, a energia elétrica produzida pelo LABGENE, com as adaptações apropriadas, pode ser usada para iluminar uma cidade de 20.000 habitantes, além de capacitar o Brasil para projetar e construir centrais nucleares de pequena e média potência, que atendam às necessidades da matriz energética brasileira.

Em 1982, foi firmado um convênio com o IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, localizado na Cidade Universitária "Armando Sales de Oliveira" (USP) quando continuaram as pesquisas para o desenvolvimento do ciclo do combustível e em 1984 iniciou-se a construção, na área do IPEN - USP, de um reator nacional de pesquisa denominado inicialmente por Unidade Crítica - Reator de Potência Zero (100 watts). Esse reator, que foi construído com o gerenciamento da Marinha do Brasil e apoio do IPEN, entrou em operação em 28/10/1988 já com o nome REATOR NUCLEAR IPEN / MB-01 e, em 2004, foi incluído como referência internacional, sendo o único reator nuclear de pesquisa do hemisfério sul com essa qualificação.

Ainda em 1984 foi firmado um novo convênio, agora com o CENEA - Centro Nacional de Engenharia Agrícola, hoje ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Floresta Nacional de Ipanema - Fazenda Ipanema, município de Iperó, SP, com cessão de terreno pertencente ao Ministério da Agricultura para o então Ministério da Marinha.

As seguintes premissas foram fundamentais para a escolha da área pela Marinha do Brasil: Raio de 100 km a partir da USP - a Fazenda Ipanema se enquadra nessa exigência,



- Disponibilidade de água - na Fazenda Ipanema temos a Barragem Dr. Hedberg que represou o rio Ipanema (primeiro rio brasileiro a ser represado), por volta de 1810;
- Disponibilidade de energia elétrica - na área do sítio tem a passagem de rede de 13,8 kV;
- Cidade de apoio próxima - Sorocaba localiza-se a aproximadamente 20 km e Iperó a aproximadamente 15 km;
- Disponibilidade de vias de tráfego - Rodovias próximas: Castello Branco (menos de 10 km) e Rodovia Raposo Tavares (menos de 20 km); Ferrovia passa lindeira ao sítio e Aéreo: pista de pouso que era dedicada ao extinto CAVAG - Curso de Aviação Agrícola a menos de 5 km e o aeroporto de Sorocaba a menos de 15 km;
- Região de sismologia estável - pelas pesquisas nunca ocorreu um sismo na região; e
- Solo com rocha disponível - também foi feita no local uma prospecção de 100 metros de profundidade, além de outras em profundidades variadas (de 3,00 até 12,00 metros) e todas apresentaram rocha estável em toda sua extensão sendo estes resultados considerados satisfatórios e adequados para as instalações.

Apesar de o local apresentar todas as características favoráveis à implantação das unidades previstas, para a conclusão do projeto, foram realizadas investigações adicionais quanto a eventuais ocorrências de sismos e tornados na região, dentro do processo de licenciamento nuclear.

De acordo com o relatório “Determinação do Nível de Vibrações Sísmicas do Terreno, Provocadas pelo Sismo Básico de Projeto no Centro Experimental ARAMAR”, os valores de acelerações horizontais máximas, na rocha aflorante, considerados no projeto são iguais a 0,1 g para SDS (Sismo de Desligamento Seguro) e 0,05 g para SBO (Sismo Básico de Operação).

Por sua vez, o relatório de autoria da Dra. Maria Assunção Faus da Silva Dias, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Departamento de Ciências Atmosféricas - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG; Universidade de São Paulo – USP, de agosto de 2008, indicou que tornados classe F3/EF3 são possíveis de ocorrer na região de Iperó, SP. Dentre os tornados observados e registrados no Brasil, 4% são da categoria F3/EF3, sendo que o cenário futuro aponta um aumento na probabilidade de ocorrência desse mesmo tornado. A faixa de velocidades associadas a tornados F3, já corrigidos para a classificação EF3, é de 218 a 264 km/h (ou 60 a 73 m/s).

De posse destas importantes informações, os prédios com requisitos de segurança foram projetados, respeitando rígidos critérios nacionais e internacionais de segurança estrutural, visando à integridade destas frente a estes desastres naturais, à preservação do meio ambiente e de forma apropriada a garantir a segurança dos seus operadores e das populações circunvizinhas. Deve-se ainda lembrar que, para execução de obras de cunho nuclear, além da ABNT NBR 14931, existe ainda a obrigação de seguir exigências da CNEN 1:16 que trata de garantia da qualidade para a segurança de obras Nucleares



Essa norma determina:

- Os requisitos a serem adotados no estabelecimento e na implementação do Sistema de Garantia da Qualidade, para construção de usinas nucleoeletrônicas, instalações nucleares e, conforme aplicável, também para instalações radiativas.
- A forma segundo a qual os Programas de Garantia da Qualidade, devem ser preparados e submetidos à Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN.

Para o atendimento destas exigências, a PhD Engenharia, embasada em um estudo detalhado deste projeto, desenvolveu e fundamentou uma especificação para execução das estruturas do LABGENE, estabelecendo também procedimentos para produção, transporte, lançamento, adensamento e cura destes concretos. Foram realizados estudos de avaliação das matérias primas disponíveis na região de interesse para produção do concreto.

Realizou-se também um extenso programa de estudo de dosagens de concreto, nos laboratórios da empresa de serviços de concretagem indicada pela fiscalização do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, com o objetivo de avaliar e definir traços de concreto a serem utilizados, com características físicas adequadas à forma dos elementos estruturais e a sua densidade de armadura.

Foram também realizados estudos de produção de concreto em escala industrial, dosagem de caminhões protótipos experimentais, onde se avaliaram o desempenho efetivo dos concretos estudados nas reais condições de fornecimento.

Estudos térmicos para verificação da elevação da temperatura adiabática do concreto naqueles elementos estruturais que, no projeto estrutural, apresentavam volumes expressivos. Os resultados destes estudos, ora apresentados, auxiliaram os envolvidos no empreendimento na tomada de decisões quanto aos seus procedimentos construtivos, na definição de juntas de concretagem programadas e no resfriamento do concreto, providências estas importantes principalmente para evitar o aparecimento de fissuras de origem térmica neste importante elemento estrutural.

Trata-se de um elemento estrutural assentado sobre um maciço rochoso, com dimensões laterais de 16,40m x 30,75m e diversas alturas, variando entre 0,85m e 2,20m, tendo ainda duas “chavetas” mais profundas de 1m de espessura para assegurar sua estabilidade a esforços cortantes horizontais. Apresentam-se neste trabalho, detalhes da construção deste Bloco de Fundação, Prédio do Combustível, dos estudos térmicos realizados para esta estrutura e os resultados do seu controle tecnológico.

2 Especificação do concreto

O Bloco de Fundação do Prédio do Combustível, por suas dimensões, possui características de concreto-massa. O Comitê do ACI 116 define como concreto-massa, o concreto de uma estrutura de grande volume, onde este volume seja de tal grandeza que requeira meios e cuidados especiais para combater a geração interna de calor e mudança volumétrica. Ao ser comparado ao concreto dito como “convencional”, possui ainda uma



peculiaridade em destaque que é a dificuldade de liberar o calor gerado pelas reações químicas exotérmicas de hidratação.

A hidratação do cimento Portland é uma reação exotérmica, ou seja, libera calor no interior da massa de concreto após sua pega. A liberação desse calor para o meio externo é influenciada pelas características térmicas dos materiais empregados, pelas condições ambientais e pelas dimensões do elemento estrutural.

O concreto, através de seu coeficiente de dilatação térmica, sofre variações dimensionais expansivas quando exposto a ação da temperatura decorrente dessa reação química exotérmica de hidratação. Como ainda não está totalmente solidificado, expande quase livre e rapidamente, pois as reações exotérmicas principais, na maioria das vezes, ocorrem nas primeiras idades até 72h após concretagem.

Ao resfriar-se novamente à temperatura ambiente, o que pode ocorrer durante semanas ou meses, fica sujeito a uma retração ou contração térmica. Também devido às dimensões da estrutura pode haver gradientes térmicos importantes entre o núcleo da peça estrutural e sua área superficial exposta e de resfriamento mais rápido.

Esta retração térmica, por conta dos gradientes desenvolvidos e pelas restrições naturais de atrito e engastamentos, induz o aparecimento de tensões que podem superar as tensões resistentes de tração do concreto, provocando a indesejada fissuração da estrutura.

Em função também de se tratar de uma estrutura de Classe Sísmica I (NUREG, 2007), pela alta taxa de armadura prevista para estas estruturas, aproximadamente 260kg/m³, optou-se por se adotar um concreto com características auto-adensáveis, para facilitar o preenchimento e a acomodação do concreto nas formas dispensando assim a utilização de vibradores de imersão e com o menor consumo possível de cimento, para reduzir o calor de hidratação.

Considerando estas premissas, o traço do concreto a ser empregado na construção destas estruturas desenvolvido a partir de estudos de dosagem experimental, realizados por esta PhD, buscando atender os requisitos mínimos de resistência, durabilidade, deformabilidade e aplicabilidade ora apresentados. Na Tabela 1, definem-se os parâmetros a serem adotados no estudo de dosagem.

Tabela 1. Parâmetros de dosagem

Traço do concreto	Fck = 50MPa
Consumo de cimento por m ³	de 350kg a 400kg
Adição por m ³	de 5% a 8% do peso do cimento
Relação água/aglomerante	< 0,44
Água total por m ³	< 176L
Teor de argamassa	de 58% a 68%
Areia natural + artificial	a soma das areias deve ser de 750kg a 1050kg
Brita 0, granítica	a soma das britas deve ser de 650kg a 900kg
Brita 1 granítica	a soma das britas deve ser de 650kg a 900kg
Aditivo plastificante	De acordo com a especificação do fabricante
Aditivo superplastificante	De acordo com a especificação do fabricante

3 Estudos de dosagem

A realização deste estudo dosagem de concreto, que teve como objetivo principal atender aos parâmetros estabelecidos na especificação procurou também analisar, de modo abrangente, as variáveis de produção possíveis apresentadas pela empresa de serviços de concretagem, para que esta possa utilizar, na produção do concreto a ser fornecido para construção das estruturas do LABGENE, todos os recursos materiais disponíveis nas unidades de produção Filial Sorocaba e Filial Porto Feliz, fortalecendo assim a sua estratégia de fornecimento.

Como resultado destes experimentos, foram desenvolvidos quatro combinações, traços de concreto considerados de acordo com as especificações ficando assim disponíveis para utilização. A Tabela 2 apresenta as combinações estudadas com os fornecedores disponibilizados pela empresa de serviços de concretagem.

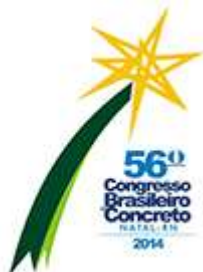
Tabela 2. Combinações estudadas

Materiais	Fornecedores			
	C1	C2	C3	C4
Cimento	VSH			
Adição	HP			
Areia de quartzo	RO		EX	
Areia artificial	AD	VO	VO	VO
Brita 0	AD	VO	VO	VO
Brita 1	AD	VO	EX	VO
Gelo				
Aditivo Plastificante	RH	RH	MX	MX
Aditivo Hiper-plastificante	GL	GL	GL	GL

Na Tabela 3 apresentam-se as características físicas no estado fresco de cada uma das quatro combinações oferecidas e suas respectivas resistências à compressão. Nota-se que as resistências ficaram acima do especificado em função da adoção de adições e limitação da relação água/aglomerante.

Tabela 3. Características dos concretos

Características	Combinação			
	C1	C2	C3	C4
Consumo de aglomerante - kg/m ³	414	414	406	412
Relação água/aglomerante	0,44	0,44	0,44	0,44
Massa específica - kg/dm ³	2,514	2,527	2,546	2,509
Abatimento - mm	15	30	35	50
Espalhamento - mm	600	620	740	680



Resistência compressão 28 dias- MPa	70,3	72,2	68,3	71,9
-------------------------------------	------	------	------	------

4 Plano de concretagem

Para minimizar os efeitos da elevação da temperatura adiabática do concreto, considerando os princípios aqui esclarecidos, para construção deste bloco de fundação foi realizado um estudo térmico criterioso.

A temperatura de elevação adiabática é o ganho de temperatura que o concreto experimenta caso venha a acumular todo o calor liberado pelas reações de hidratação do cimento que o compõe e é fundamental para estimar a temperatura máxima que o concreto chegará.

De acordo com o ACI 207.2R, a estimativa da temperatura adiabática, em concretos convencionais, após 28 dias, em graus Celsius, pode ser dada pela equação (1):

$$H_a = \frac{h_g * \omega_c}{c * \gamma} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

H_a - temperatura adiabática do concreto em graus °C

h_g - em cal/g é o calor de hidratação aos 28 dias

ω_c - consumo em massa de cimento em kg/m³

c - calor específico médio do concreto cal/g. °C

γ - massa específica média do concreto em kg/m³

Estudar a elevação das temperaturas internas do concreto a ser aplicado em determinados elementos estruturais com volumes significativos de concreto, auxilia na tomada de decisões a serem adotadas no sentido de se evitar que o concreto apresente fissurações oriundas das tensões de tração desencadeadas pela retração térmica do concreto, em função da diferença das temperaturas internas do concreto e a temperatura ambiente.

Estas decisões passam por, desde simples mudanças de adequação dos planos de concretagens, que devem ser elaborados de forma que o volume de concreto a ser aplicado não propicie a elevação das temperaturas internas a níveis que criem diferenciais térmicos com a temperatura ambiente que comprometam a estrutura interna do concreto durante o seu processo de resfriamento, até uma revisão de projeto onde se recomendem armaduras próprias, calculadas em função dos picos de tensão determinados por estes estudos, para contenção destes fenômenos.

O estudo térmico realizado foi elaborado com a utilização do programa *b4cast* 3.27, que emprega o Método da Maturidade, segundo ASTM C 1074. Este programa baseia-se no método de elementos finitos, sendo capaz de simular o histórico das temperaturas e das tensões oriundas das diferenças de temperatura dentro do elemento estrutural a ser concretado. A Maturidade é calculada pela equação de *Arrhenius*. Para estimar a resistência à tração, foi empregada a equação $f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$ conforme prescrito na ABNT NBR 6118.

A Fig. 1, abaixo, apresenta a solução recomendada pelo estudo térmico realizado, embasado em resultados de elevação de temperatura do concreto a ser utilizado em experimento prévio realizado no canteiro de obras, com a moldagem de um protótipo. Primeiro concretar as chavetas e posteriormente com intervalo de no mínimo cinco dias, o bloco propriamente dito em três etapas.

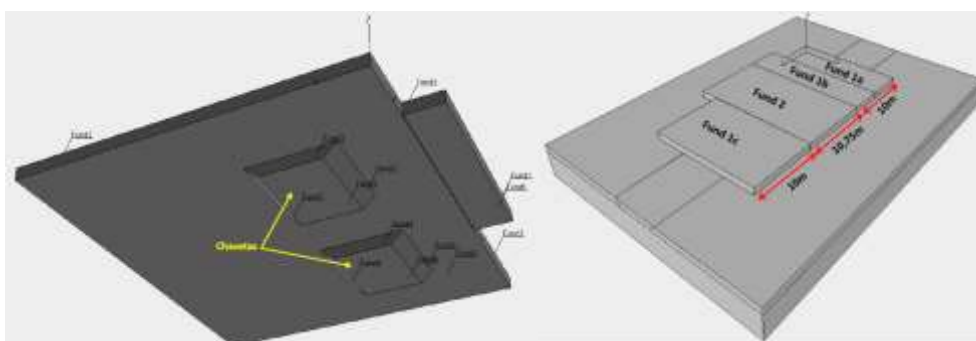


Figura 1. Plano de concretagem recomendado pelo estudo térmico

A Fig. 2 apresenta o plano de concretagem, solução proposta pela construtora e executada com a aprovação do CTMSP. O bloco de fundação, após a concretagem das chavetas foi construído em 4 etapas ocorridas entre o mês de agosto de 2013 e janeiro de 2014.

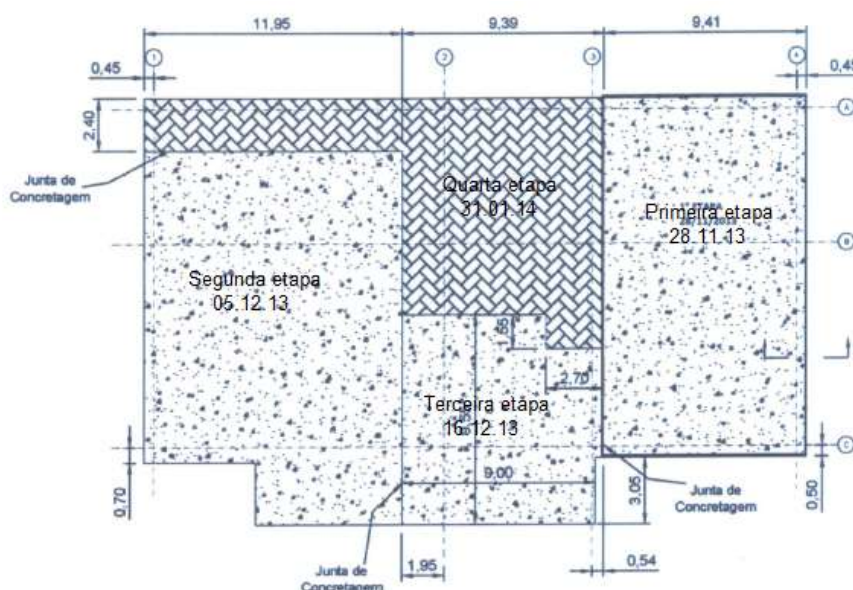
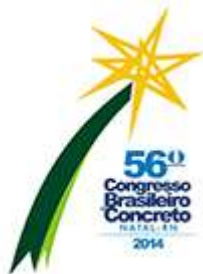


Figura 2. Solução proposta pela construtora.



5 Controle tecnológico

O documento técnico nacional que melhor se aplica a este caso é a norma técnica brasileira ABNT NBR 6118. Outros documentos normativos nacionais e internacionais também se aplicam, considerados como subordinados ou complementares desta norma. Esta PhD recomendou ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, CTMSP, que todo concreto entregue em obra deve ser submetido ao controle de recebimento da consistência e da resistência do concreto endurecido de acordo com o procedimento especificado na ABNT NBR 12655 e de acordo com a ABNT NBR 15823 – Parte 1, para o caso específico do concreto auto-adensável, Classe 50, sendo sempre recomendável proceder ao controle total (100%), com correspondente mapeamento dos locais que receberam cada concreto de um mesmo caminhão betoneira (conceito de rastreabilidade). Este controle deve seguir também as prerrogativas do Programa de Garantia da Qualidade do Labgene, PGQ-R11.99-01_00, que é embasado no documento CNEN-NN-1.16:2000 - Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações

Esse controle deve ser realizado pela Construtora/Laboratório de Ensaio, através dos ensaios de consistência do concreto fresco de acordo com a ABNT NBR NM 67 e para o concreto C50, auto adensável devem ser realizados também os ensaios de recebimento preconizados na ABNT NBR 15823 – Parte 2, e conforme acordado entre as partes intervenientes.

Entenda-se que para o controle de produção é importante aferir também a massa específica, do rendimento e o ar aprisionado pelo método gravimétrico, ABNT NBR 9833. A moldagem de corpos de prova deve ser feita em conformidade com o método de moldagem ABNT NBR 5738, e estes devem ser sazoados de acordo com a ABNT NBR 9479 e ensaiados nas idades especificadas, segundo a ABNT NBR 5739, preferencialmente ensaiados em laboratórios acreditados pelo INMETRO e pertencentes à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio.

Foi controlado também o módulo de elasticidade tangente inicial E_{ci} , em conformidade com a ABNT NBR 8522 e sua tração por compressão diametral de acordo com a ABNT NBR 7222, pelo menos uma vez a cada 12 caminhões lançados.

Foram instalados termopares nos elementos estruturais concretados com o concreto C50, auto-adensável. Estes termopares foram posicionados estrategicamente em posições geométricas simétricas dentro do elemento estrutural de forma a obter valores médios e representativos da elevação da temperatura do concreto.

Apresenta-se a seguir análise dos resultados dos ensaios realizados para o controle tecnológico do concreto lançado no bloco de fundação do Prédio do Combustível, Labgene. Foram 588m³ de concreto, distribuídos em 98 caminhões de 6m³ cada.

O recebimento do concreto para construção do bloco de fundação, de acordo com as especificações se deu em função da temperatura do concreto, fixada em função da temperatura ambiente determinada no ato do recebimento e em função do seu espalhamento e do tempo de escoamento. A Fig. 3, abaixo apresenta o gráfico com os resultados dos ensaios de espalhamento no momento da recepção.

- *Espalhamento*



Figura 3. Espalhamento

A Série 9, apresentou espalhamento 10mm acima do especificado porém, consultando-se os registros de controle de dosagem do concreto na usina, optou-se por receber o concreto com este pequeno desvio, considerando que este, dada sua magnitude, não causaria impacto nas propriedades físicas e mecânicas esperadas para o produto. Considera-se aqui o desempenho do concreto para esta propriedade, satisfatório e adequado para as obras do Labgene, estando de acordo com os resultados dos estudos e validações prévias realizadas.

- *Tempo de escoamento, T500*

A Fig. 4, gráfico, apresenta o tempo de escoamento anotado na determinação do espalhamento, de acordo com a ABNT NBR 15823-2. Considera-se aqui o desempenho do concreto para esta propriedade, satisfatório e adequado para as obras do Labgene, estando de acordo com os resultados dos estudos e validações prévias realizadas, mesmo com a ocorrência de dois tempos de escoamento acima do especificado.



Figura 4. Tempo de escoamento – T500

- *Temperatura de recepção*

A temperatura de recepção, importante de ser controlada em função da necessidade de se preservar a temperatura do concreto dentro dos parâmetros definidos nos estudos térmicos realizados para o bloco de fundação, foi controlada, para impedir o aparecimento de fissuras por retração térmica do concreto, de acordo com a especificação desta PhD, no ato do seu recebimento, o gráfico da Fig. 5 apresenta o resumo destas determinações.

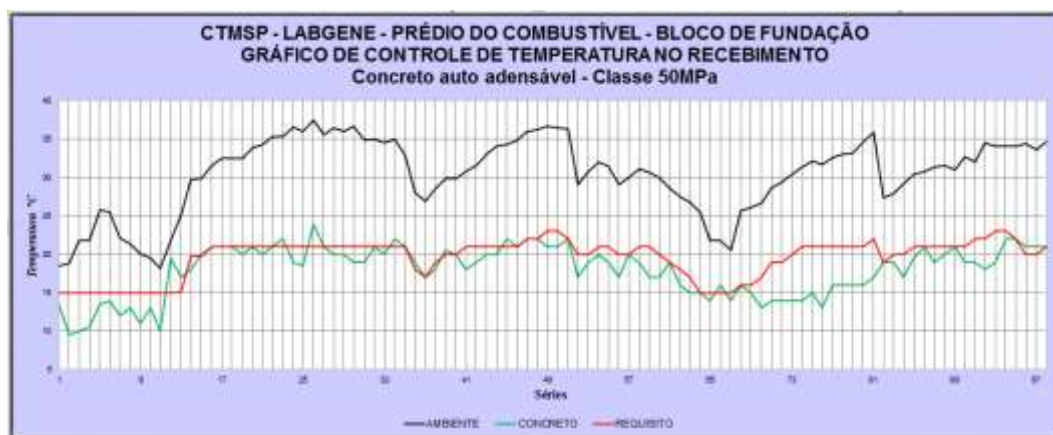


Figura 5. Temperatura

Quatro resultados apresentaram-se acima da temperatura ideal para aplicação, porém, por se tratarem de casos isolados dentro de um mesmo evento de concretagem, de acordo com a especificação desta PhD, foram aplicados sem prejuízos a temperatura média do material aplicado que ficou abaixo dos 15°C ou 10°C abaixo da temperatura ambiente.

Considera-se aqui o desempenho do concreto para esta propriedade, satisfatório e adequado para as obras do Labgene, estando de acordo com os resultados dos estudos e validações prévias realizadas.

- *Tempo de lançamento*

O tempo máximo permitido para o lançamento do concreto após a adição da água de amassamento na usina, de acordo com a especificação desta PhD embasada na ABNT NBR 7212 é de 02h 30min, podendo ser estendido para 03 h 00min quando se utilizarem aditivos específicos para este fim e com garantias do produtor. O gráfico da Fig. 6 apresenta os resultados anotados.



Figura 6. Tempo de lançamento

Considera-se aqui o desempenho da empresa de serviços de concretagem, satisfatório e adequado para as obras do Labgene, estando de acordo com os resultados dos estudos e validações prévias realizadas.

- *Relação água/aglomerante*

Para evitar o aparecimento de fissuras de retração do concreto por secagem, esta PhD fixou a relação água/aglomerante em 0,44. A Fig. 7 apresenta o resumo destas relações apuradas através dos registros de controle de dosagem do concreto realizado na empresa de serviços de concretagem pela construtora.

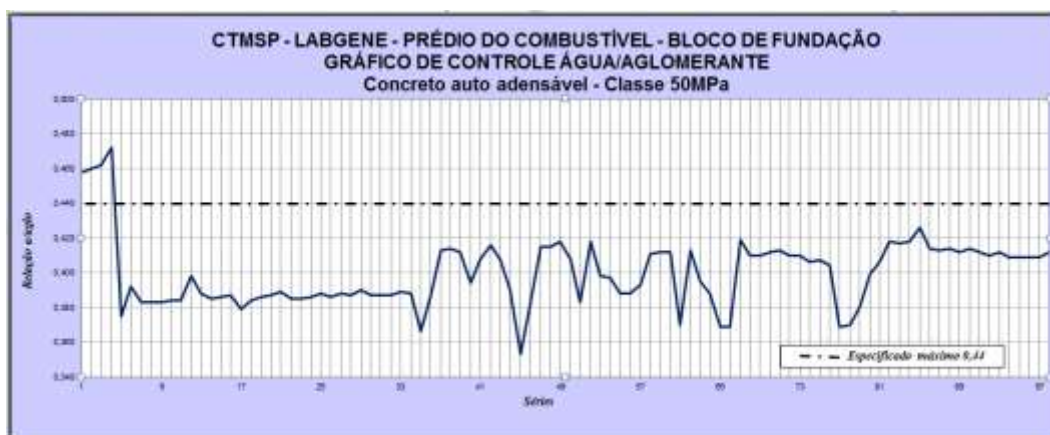


Figura 7. Relação água/aglomerante

Os registros apresentados demonstram uma não conformidade nas quatro primeiras séries aplicadas. Este desvio se deu em função do não atendimento às especificações de se descontar a água contida no agregado miúdo do total de água a ser adicionado ao concreto. Esta alteração nas quantidades de água foi corrigida após a aplicação do concreto, não representaram dada sua magnitude, prejuízos nas propriedades físicas e mecânicas do concreto aguardadas.

Considera-se aqui o controle desta relação foi satisfatório e adequado para as obras do Labgene, estando de acordo com os resultados dos estudos e validações prévias realizadas.

- *Resistência à compressão*

Apresenta-se na Fig. 8, abaixo, o Gráfico de controle das resistências a compressão determinada na idade de controle, 28 dias.



Figura 8. Resistência à compressão

Na série de 28 dias apresentada, registrou-se apenas uma ocorrência de resistência abaixo do especificado, 50MPa. A série 93 apresentou o resultado isolado de 48,8MPa. Esta ocorrência, pontual, abaixo do valor estabelecido de f_{ck} , deve ser analisada conforme o estabelecido na NBR 6118 que permite a ocorrência de 5% dos resultados abaixo do f_{ck} previsto. Este fato não representou também, dado sua magnitude, prejuízos nas propriedades físicas e mecânicas do concreto aguardadas.

Fazendo-se ainda uma breve análise estatística do controle do processo de produção, adotando-se o critério “C” de formação de amostra, de acordo com a Tabela 4 do Item 6.2.1 da ABNT NBR 7212, o desvio padrão do processo, 4,5 MPa, se enquadra no Nível 3, conforme apresentado na Tabela 6 do seu Item 7.1.

Analisando-se ainda por classe de resistência, conforme indicado no Item 7.2 e adotando-se a Equação 2, abaixo:



$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,65 * S_d \quad (\text{Equação 2})$$

$$59,8 \text{ MPa} \geq 56,6 \text{ MPa}$$

Verificamos que, o resultado médio obtidos nos ensaios à compressão realizados durante o período de construção do Bloco de Fundação do Prédio do Combustível é considerado plenamente satisfatório.

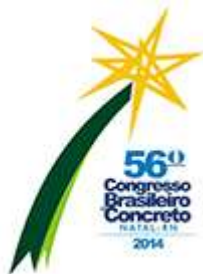
- Temperaturas internas do concreto registradas

Foram instalados, de acordo com a especificação, termopares para acompanhamento da elevação da temperatura adiabática dos concretos durante as primeiras 72h de cura. A Tabela 4 apresenta os registros da temperaturas anotadas em cada uma das etapa de concretagem.

Tabela 4. Resumo das temperaturas internas do concreto

Etapa	Temperatura aferida		
	Mínima	Média	Máxima
Chaveta 1	12,8	39,3	50,6
Chaveta 2	16,6	38,5	51,7
Ambiente	4,0	15,0	27,6
Etapa 1	28,1	41,5	54,9
Ambiente	19,0	27,4	35,7
Etapa 2	25,1	36,7	48,3
Ambiente	21,0	28,2	35,4
Etapa 3	21,8	40,7	54,8
Ambiente	17,3	27,9	38,5
Etapa 4	24,9	40,2	55,5
Ambiente	19,2	29,0	38,7
Protótipo EES	24,0	43,0	60,3
Ambiente	20,9	27,0	34,3

Os resultados máximos aferidos em todas as etapas de concretagem ficaram abaixo dos resultados aferidos no protótipo “EES” montado no canteiro para este fim e que embasaram os estudos térmicos que balizaram a definição dos planos de concretagem.



Deve-se registrar aqui que até o momento (cerca de 6 meses) não foram detectadas fissuras ou qualquer outra anomalia no concreto deste bloco de fundação.

6 Conclusões

Durante a construção de elementos estruturais de grandes volumes de concreto, devem sempre ser observados os cuidados necessários para que o sucesso do trabalho não seja comprometido pelo aparecimento de fissuras de retração térmica e outras origens.

O controle da temperatura máxima de aplicação do concreto é fundamental para diminuir a diferença de temperatura máxima atingida pelo concreto e a temperatura ambiente evitando-se assim diferenciais térmicos que gerem tensões de tração maiores que as previstas para concreto às primeiras idades. De grande importância também é a realização de estudos térmicos e de posse destes resultados promover a adequação dos planos de concretagem minimizando eventuais efeitos deletérios da variação de temperatura devido ao calor de hidratação do concreto.

7 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 116R-00**: Cement and Concrete Terminology (Reapproved 2005). Michigan: ACI Committee 116, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 207.2R-07**: Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete. Michigan: ACI Committee 207, 2007.

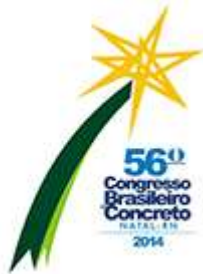
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1074-11**: Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. W. Conshohocken, PA: ASTM International, 2011.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 16 p.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e Concreto endurecido - Determinação da absorção de água, do índice de vazios e massa específica – Metodo de ensaio Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833**: Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931** Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823 – Parte 1**: Concreto auto-adensável – Classificação, controle e aceitação no estado fresco - Procedimento. Rio de Janeiro, 2010. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823 – Parte 2**: Concreto auto-adensável – Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

Standard Review Plan for Vibratory ground motion the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants (**NUREG-0800**). USA, 2007.