

Recomendações para projetos estruturais de **ETA's e ETE's** das fábricas de celulose

JOÃO P. SANTANA - ENG. - <https://orcid.org/0000-0002-7542-6685> (joao.paulo@santanaengenharia.com);
RAFAEL A. DE SOUZA - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-9990-2850> (rsouza@uem.br) | **UEM**

RESUMO

O PRESENTE ARTIGO TEM POR OBJETIVO APRESENTAR AS PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES RELACIONADAS AO PROJETO ESTRUTURAL DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) E DE ESTAÇÕES TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DE FÁBRICAS DE CELULOSE. EM VISTA DA ESCASSEZ DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO NO ASSUNTO, PROCURA-SE APRESENTAR NO PRESENTE ARTIGO OS FUNDAMENTOS DO PROJETO ESTRUTURAL E AS ESTRATÉGIAS DE MODELAGEM NECESSÁRIAS PARA A OBTENÇÃO DE RESERVATÓRIOS ESTANQUES E DOTADOS DE BOM COMPORTAMENTO. FINALMENTE, APRESENTAM-SE AS NOVAS TENDÊNCIAS PARA AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO, MAIS ESPECIFICAMENTE AS VANTAGENS INTRODUZIDAS PELA PRÉ-MOLDAGEM.

PALAVRAS-CHAVE: PROJETO ESTRUTURAL, ANÁLISE NUMÉRICA, CONCRETO ARMADO, CONCRETO PRÉ-MOLDADO, ESTAÇÕES DE TRATAMENTO.



FIGURA 1

CLARIFICADOR SECUNDÁRIO (DECANTADOR) – DIÂMETRO Ø 80 M – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA

1. INTRODUÇÃO

As plantas de produção de celulose são grandes consumidoras de água e, por esse motivo, a implantação dessas fábricas está sempre localizada próxima a rios. Estes, por sua vez, devem possuir a característica de elevadas vazões, suportando grandes retiradas de água, bem como capacidade de recebimento da água tratada que foi utilizada no processo de fabricação.

Como referência, com base em projetos executados pelos autores, uma única planta de produção de celulose, pode possuir uma Estação Tratamento de Água (ETA), que produz até 8.000 m³/h, e uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) que trata até 7.200 m³/h. Como comparativo, tendo como base o consumo médio diário de 200 litros/habitante (SABESP, 2023), essas estações

atenderiam uma população de aproximadamente 960 mil habitantes.

Para atender essa produção e tratamento de água e efluentes, as ETAs e ETEs dessas fábricas demandam grandes estruturas de concreto, que alcançam até 80 m de diâmetro, contendo água ou efluente até uma altura de 9,0 m, conforme ilustra a Figura 1. Dessa maneira, projetar estruturas com tão elevada altura e com esforços significativos de empuxo, mantendo ao mesmo tempo as boas condições de deformabilidade e estanqueidade, é sempre um grande desafio.

Classicamente, os reservatórios destinados a ETAs e ETEs eram projetados com o auxílio de tabelas e equações empíricas, sempre deixando dúvidas em relação ao comportamento em serviço, especialmente em relação às aberturas de

fissuras. Não são raros os casos de reservatórios que não foram capazes de manter a estanqueidade, gerando assim grandes transtornos para a implementação do processo de readequação.

Nos dias atuais, com a possibilidade de acesso a inúmeras ferramentas computacionais, o dimensionamento dessas estruturas especiais pode ser muito mais assertivo. Através de modelagens computacionais já pode-se prever com relativa precisão as aberturas de fissuras, os deslocamentos das paredes e os recalques das fundações, tendo-se em vista recursos de análise não-linear e interação solo-estrutura.

Além da possibilidade da falta de estanqueidade decorrente da incerteza das aberturas de fissuras, os efeitos causados por retração e temperatura sempre foram outro grande problema desses

reservatórios. Na produção de celulose, a água utilizada pode chegar a 70 °C, durante toda a vida útil do reservatório. Assim, a combinação do aumento de temperatura com os efeitos de retração pode implicar em esforços complexos, possíveis de avaliar somente mediante simulações computacionais específicas.

Dessa maneira, a modelagem efetiva de estruturas destinadas a ETEs e ETAs deve acoplar inúmeras especificidades, de maneira a retratar de maneira adequada os complexos estados tensionais aos quais essas estruturas estarão submetidas. Dessa maneira, o presente artigo tem por objetivo apresentar algumas dessas características.

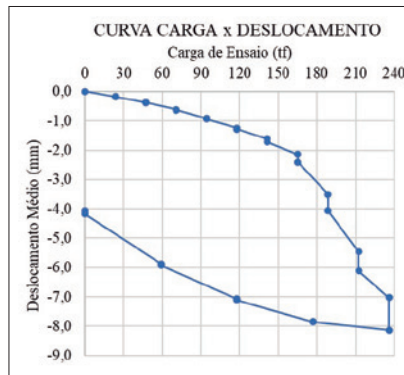
2. PARÂMETROS PARA A ANÁLISE NUMÉRICA

Com a disponibilidade das análises numéricas, é possível elaborar modelos computacionais que simulam as estruturas de uma forma bem mais realista, levando a resultados mais precisos e consolidando projetos mais otimizados. Porém, para que a análise seja feita de forma a representar a realidade, os parâmetros principais devem ser definidos de maneira apropriada, conforme o apresentado a seguir.

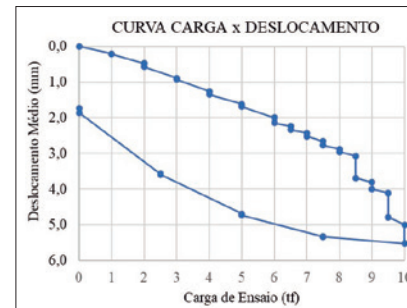
2.1 Coeficientes de deslocamentos das estacas - k_v e k_h

Nos modelos computacionais, os solos envoltos nas estacas podem ser representados por molas horizontais definidas pelo coeficiente de deslocamento horizontal (k_h) e por molas verticais definidas pelo coeficiente de deslocamento vertical (k_v). Esses parâmetros são normalmente definidos com base nos valores dos ensaios de N_{spt} , mas também podem ser melhor obtidos por meio de ensaios de prova de carga estática vertical e horizontal, eventualmente realizados na fase de projeto das estações.

A obtenção desses parâmetros através de provas de cargas conduz a valores mais próximos da realidade, pois avaliam a condição efetiva do local e também servem como subsídio normativo para otimizar os projetos de fundações. A realização prévia desses ensaios permite reduzir o fator de segurança global utilizado na determinação da carga vertical



A Prova de carga vertical



B Prova de carga horizontal

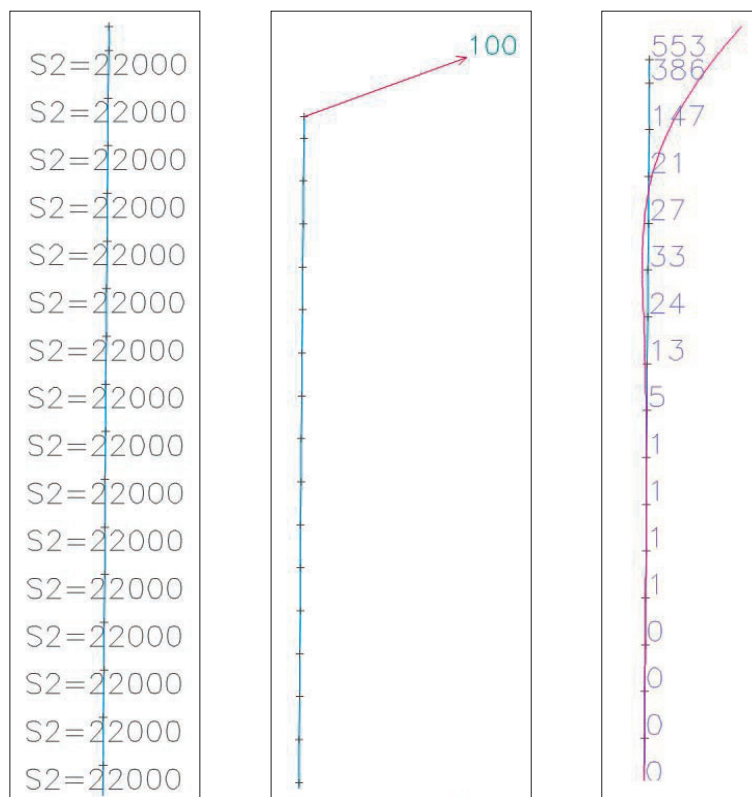
FIGURA 2

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO - ETE - FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ADAPTADO DE ENSAIOS REALIZADOS PELA BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA

admissível das estacas, passando de um valor de 2,0 para 1,6, conforme recomendada a ABNT NBR 6122:2019.

Com os resultados desses ensaios, podem ser obtidas curvas do tipo carga versus deslocamento, conforme ilustram as



A Valores das molas (20.000 kN/m)

B Carga aplicada (100 kN)

C Deslocamentos obtidos (5,53 mm)

FIGURA 3

MODELO NUMÉRICO PARA DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE DESLOCAMENTO HORIZONTAL DAS ESTACAS

FONTE: ACERVO DOS AUTORES - REALIZADO COM O AUXÍLIO DO PROGRAMA STRAP (2022)

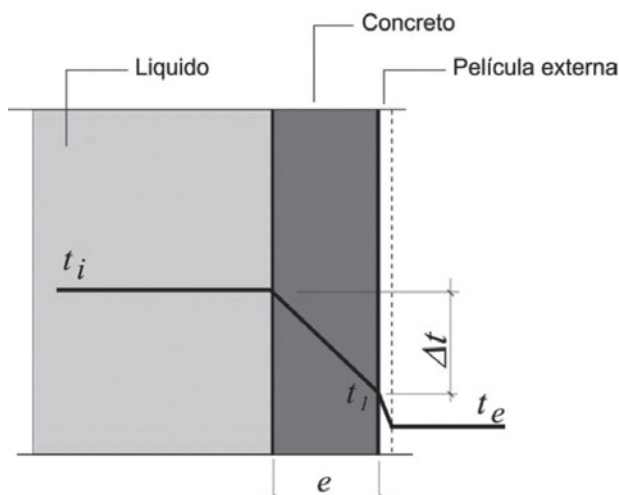


FIGURA 4
DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS NUMA SEÇÃO DE CONCRETO
FONTE: ADAPTADO DE CARMONA (2005)

Figura 2 (a) e (b). Essas curvas são provenientes de ensaios realizados geralmente em estacas do mesmo tipo das que serão utilizadas na obra. No caso dos ensaios da Figura 2 (a) e (b), foram utilizadas estacas hélice contínua com 50 cm de diâmetro, utilizadas na obra em questão.

Da Figura 2 (a), observa-se que o coeficiente de deslocamento vertical (k_v) pode ser obtido de forma direta, dividindo-se o valor da carga de trabalho pelo valor de deslocamento vertical correspondente. Esse valor pode então ser prescrito de maneira pontual no modelo numérico, nomeadamente no topo da estaca.

Por outro lado, o coeficiente de deslocamento horizontal (k_h) deve ser aplicado ao longo de todo o fuste da estaca. Porém, em função da estaca poder atravessar diversos

tipos de solo, o mais correto seria associar diferentes molas aos diferentes tipos de solos, o que tornaria a modelagem mais exata. No entanto, de maneira a facilitar o processo de projeto, sem grandes perdas, os autores normalmente consideram uma mola horizontal uniforme de valor único aplicada ao longo de todo o fuste da estaca.

A obtenção desse coeficiente de deslocamento horizontal (k_h) é normalmente realizado pelos autores por meio de tentativas onde, em um modelo numérico que representa a estaca ensaiada, é aplicada a mesma carga horizontal utilizada no ensaio e varia-se o coeficiente de deformação da mola horizontal, até que se obtenha o mesmo deslocamento obtido no ensaio. A Figura 3 ilustra a obtenção do coeficiente de deslocamento horizontal (k_h) de 20.000 kN/m em função de uma carga horizontal de 100 kN aplicada no topo da estaca, que, por sua vez, remete ao deslocamento de 5,53 mm lido no ensaio apresentado pela Figura 2 (b).

2.2 Temperatura - gradiente, expansão e contração

A presença da temperatura do efluente contido internamente na estrutura,

tipos de solo, o mais correto seria associar diferentes molas aos diferentes tipos de solos, o que tornaria a modelagem mais exata. No entanto, de maneira a facilitar o processo de projeto, sem grandes perdas, os autores normalmente consideram uma mola horizontal uniforme de valor único aplicada ao longo de todo o fuste da estaca.

A obtenção desse coeficiente de deslocamento horizontal (k_h) é normalmente

juntamente com a menor temperatura do ambiente externo, gera um gradiente térmico juntamente com uma expansão. Porém, os valores finais dessas grandezas dependem do meio pelo qual esse fluxo de calor passará.

Conforme descrito por Carmona (2005), o cálculo do gradiente final é função do fluxo de calor presente entre as faces da estrutura, sendo quantificado através de um balanço térmico levando em conta todas as camadas de materiais presentes, juntamente com seus respectivos valores de condutibilidade térmica. Porém além das camadas físicas, ele indica a existência de uma película entre o fluido e o sólido, que também fornece uma resistência a esse fluxo (Figura 4).

Carmona (2005) também apresenta as equações para determinação da temperatura final t_f da face externa da peça de concreto (Equação 1) em função da quantidade de calor Q (Equação 2).

$$[1] \quad t_i - t_e = Q \frac{e}{K}$$

t_i = Temperatura do líquido interno ($^{\circ}\text{C}$);
 t_e = Temperatura na face externa na peça de concreto ($^{\circ}\text{C}$);
 Q = Quantidade calor ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$), (Equação 2);
 e = espessura da peça de concreto (cm);
 K = coeficiente de condutibilidade térmica

do concreto $\left(\frac{\text{cal} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)$, Tabela 1.

$$[2] \quad Q = \frac{(t_i - t_e)}{\sum \frac{1}{f} + \sum \frac{h_i}{K}}$$

t_e = Temperatura do ar externo (temperatura do ambiente externo) ($^{\circ}\text{C}$);
 h_i = Espessura da peça de concreto (cm);
 f = Coeficiente de condutibilidade térmica

da película $\left(\frac{\text{cal} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)$, Tabela 1.

Nessas ETEs, por se tratar de estruturas com grandes dimensões, com dimensões que alcançam diâmetros de \varnothing 80 m, além da avaliação das ações geradas pela temperatura do líquido interno, também devem ser avaliadas as ações geradas pela insolação nos períodos de calor, ou pelo resfriamento, provenientes dos períodos de frio, onde em ambas as condições a estrutura estará vazia. Essas verificações são ainda mais importantes para estruturas

TABELA 1
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO CONCRETO E COEFICIENTE DE PELÍCULA DO AR

Referência	K - concreto $\left(\frac{\text{cal} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)$	f - ar externo $\left(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)$
CIELSKI <i>et al</i> (1970)	$4,17 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-4}$
ACI 307 (1997)	$4,12 \cdot 10^{-3}$	$1,60 \cdot 10^{-3}$
MANNING <i>et al</i> (1973)	$2,10 \cdot 10^{-3}$ a $6,00 \cdot 10^{-3}$	$1,80 \cdot 10^{-4}$ a $3,30 \cdot 10^{-4}$
SAFARIAN (1985)	$5,60 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-4}$
PRIESTLEY (1976)	$4,80 \cdot 10^{-3}$	$2,10 \cdot 10^{-4}$
KREITH (1973)	$4,50 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-4}$ a $6,75 \cdot 10^{-4}$

FONTE: ADAPTADO DE CARMONA (2005)

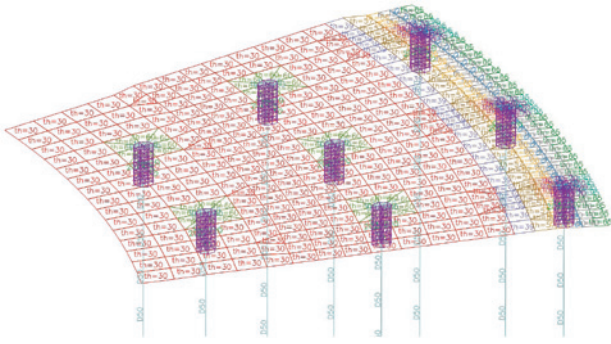


FIGURA 5
MODELO NUMÉRICO (PARCIAL) DISCRETIZADO EM ELEMENTOS FINITOS 1D, 2D E 3D
 FONTE: AUTORES - PROJETO SANTANA ENGENHARIA - ELABORADO COM O AUXÍLIO DO PROGRAMA STRAP (2022)

estaqueadas, pois os autores observam em seus projetos que os esforços provenientes dessas condições é normalmente uma das mais desfavoráveis para as estacas.

Pela experiência dos autores, essa condição torna-se desfavorável, pois a estrutura pode sofrer uma variação total de tamanho que pode chegar a valores na ordem de 15 mm, resultando em deslocamentos no topo das estacas que superam os deslocamentos obtidos nos ensaios de prova de carga horizontal, conforme os apresentados na Figura 2 (b).

Para realizar uma avaliação mais adequada, os autores costumam aplicar no modelo numérico um carregamento de temperatura, que, por sua vez, simula a variação média de temperatura ambiente no local onde a estrutura será construída. Essa variação média da temperatura ambiente na maioria das vezes é fornecida pela contratante, que obtém esses valores através da análise dos históricos das temperaturas registradas em estações meteorológicas existentes na região onde serão construídas as estruturas.

3. MODELAGEM NUMÉRICA

3.1 Definição da modelagem

Na modelagem, para a melhor análise dos resultados, as paredes e as lajes são discretizadas como elemento de placas (elementos finitos bidimensionais), enquanto as vigas, pilares e estacas são discretizadas como elementos de barras (elementos finitos unidimensionais),

bons resultados obtidos, bem como, na facilidade de interpretação dos resultados.

Após as análises das estacas das fundações, parte delas, junto as lajes de fundo das estruturas, são substituídas por elementos do tipo *brick* (elementos finitos tridimensionais), conforme ilustra a Figura 5. Essa estratégia melhora muito a leitura dos esforços das placas nas regiões das estacas, gerando um melhor tratamento dos picos de esforços gerados. Essa alteração normalmente conduz a valores mais realistas quando comparados com a modelagem que considera as estacas como elementos de barras e as lajes como elementos de placas.

3.2 Condições de contorno de operação e construção

Na realização das análises, devem ser avaliadas todas as condições de operação juntamente com as condições transitórias, como as de construção, manutenção, possíveis problemas de operação, períodos em que a estrutura permanecerá vazia ou ainda durante a fase de testes hidrostático e avaliação dos recalques previstos.

As condições de operação sempre

conforme ilustra a Figura 5.

Deve-se observar que, para alguns casos específicos, as vigas e pilares também podem ser discretizados como elementos bidimensionais e, algumas vezes, como elementos do tipo *brick* (elementos finitos tridimensionais). A utilização de elementos mais simples encontra justificativa nos

são bem definidas e atuam em quase toda vida útil da estrutura, porém juntamente com a presença do efluente, em parte da ETE também existe a presença da temperatura, que atua durante toda a via útil das estações. Com isso, costuma-se considerar a temperatura como ação permanente, diferente da orientação de ação variável indicada no item 11.4 da ABNT NBR 6118:2014 e nos itens 4.2.1.2 e 5.1.4 da ABNT NBR 8681:2003.

Nos itens mencionados, as referidas normas tratam a temperatura como ação variável, pois a temperatura abordada por elas são ações provenientes da variação térmica uniforme do ambiente. No caso das estações de tratamento, a temperatura é tratada como uma carga imposta, que atua de maneira permanente na estrutura.

Nas ETEs, os efluentes possuem densidade e viscosidade com diferenças insignificantes em relação àquelas observadas para a água. Dessa forma, pode-se considerar a ação do efluente como se fosse a ação da água e aplicar o estabelecido no item 11.4.2.3 da ABNT NBR 6118:2014, com $\gamma_f = \gamma_{f3} = 1,2$. Além disso, deve-se estar atento ao nível máximo de transbordo ou extravasão.

Para definição da máxima elevação de extravasão do sistema, é necessário avaliar o perfil hidráulico juntamente com o fluxograma da estação, para detectar o possível ponto de extravasão à jusante ou à montante do processo. Isso deve ser feito, pois, antes da estrutura transbordar, pode acontecer que esse transbordo ocorra em uma elevação menor numa outra estrutura, ou num sistema de emergência, às vezes composto por lagoas.

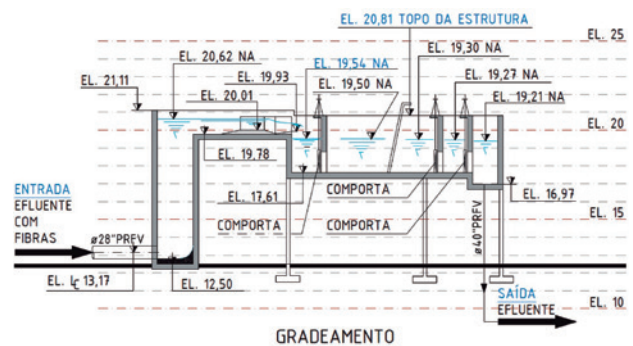


FIGURA 6
PERFIL HIDRÁULICO (PARCIAL) DE UMA ETE - FÁBRICA DE CELULOSE
 ACERVO DOS AUTORES - PROJETO PROCESSO VEOLIA

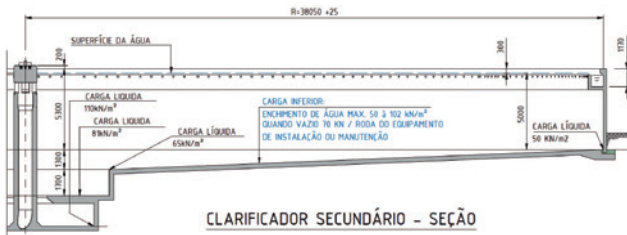


FIGURA 7

EXEMPLO DE ESPECIFICAÇÃO DAS CARGAS – GUIA CIVIL – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

ACERVO DOS AUTORES – PROJETO PROCESSO VEOLIA

A extravasão também pode estar condicionada à abertura ou fechamento de uma comporta manual ou mecanizada, que por problemas pode parar de operar, causando o transbordo na própria estrutura. Isso é um risco, pois, em alguns casos, existe uma altura livre entre o topo da estrutura e o nível do efluente em operação, que pode passar de 1 m de altura, conforme ilustra a Figura 6. Essa possibilidade de transbordo pode ocasionar uma sobrecarga não prevista bastante apreciável.

Além das cargas operacionais e de montagem indicadas nos documentos de Guia Civil das ETEs (Figura 7), devem-se ainda considerar pequenas plataformas elevatórias utilizadas para a montagem interna dos equipamentos. Além disso, deve-se estar atento às condições de construção da própria estrutura, pois há casos em que guindastes podem se apoiar sobre as lajes de fundo, de maneira que possa ser realizada a montagem de peças pré-moldadas na extremidade e no interior da estrutura, e montagem dos equipamentos internos à estrutura, conforme ilustra a Figura 8.

4. RESULTADOS DA MODELAGEM NUMÉRICA

Em função das restrições impostas pelo solo, as estacas sofrem as ações proveniente dos efeitos da temperatura de 70 °C do efluente quando a estrutura estiver em operação ou da variação da temperatura ambiente quando ela estiver vazia. Assim, com a utilização da interação solo-estrutura, é possível avaliar os esforços atuantes nas estacas para diversas combinações de carregamentos, conforme ilustra a Figura 9.

Pela Figura 9, pode-se observar, por exemplo, que os esforços atuantes nas estacas, considerando as situações com e sem a ação da temperatura, são muito diferentes. Em relação à estrutura cheia e sem efeito da temperatura, pode-se observar

que os momentos atuantes nas estacas são 4,4 vezes maiores quando a estrutura é considerada cheia e sujeita à temperatura. Esses valores demonstram a importância de se avaliar apropriadamente os efeitos de temperatura nos reservatórios destinados a ETAs e ETEs.

Cabe ressaltar que os esforços obtidos para as estacas também estão diretamente ligados à resistência imposta pelo solo, de maneira que, quanto maior for a restrição do solo, maiores serão esses esforços. Assim, deve ser realizada uma avaliação criteriosa para a definição dos valores dos coeficientes de deslocamento horizontal do solo (k_h) a serem definidos no modelo numérico, de maneira que a subavaliação desses coeficientes pode levar a um subdimensionamento das armaduras das estacas.

Além da influência no comportamento da fundação, as ações da temperatura também geram esforços preponderantes

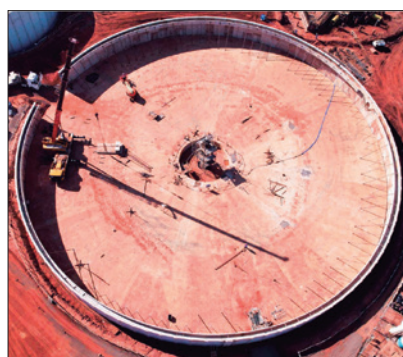
no dimensionamento das partes internas dos reservatórios. Na Figura 10, apresenta-se um comparativo das forças normais atuantes em uma parede submetida aos efeitos da temperatura do efluente (70 °C). Observa-se que em relação às paredes sem definição do efeito de temperatura, as forças normais de tração chegam a ser 3,1 vezes superiores quando considerados os efeitos da temperatura.

Nos locais onde efluente está em contato direto com as peças da estrutura, os esforços possuem variações significantes em função da presença da temperatura. Conforme ilustrado na Figura 11, os momentos da face inferior da laje de fundo passam de 72,9 kN.m, para um valor de 183 kN.m quando atua a temperatura de 70 °C.

5. BOAS PRÁTICAS CONSTRUTIVAS

Nessas estações, por se tratar de estruturas de grandes dimensões, uma das patologias mais recorrentes são as fissuras, sejam elas provenientes das tensões geradas pelas solicitações de operação, seja pela retração do concreto durante o processo natural de sua cura. Essas fissuras são um ponto crítico, pois afetam diretamente a operação e durabilidade dos reservatórios.

Essas fissuras quando excedem os limites recomendados geram vazamentos (ver Figura 12), com subsequente comprometimento da vida útil, uma vez que o efluente ou produtos químicos utilizados no tratamento entram em contato direto com as



A Patologem sobre laje de fundo (geral)



B Patologem sobre laje de fundo (detalhe)

FIGURA 8

PATOLOGEM SOBRE LAJE DE FUNDO, PARA MONTAGEM DA PAREDE EXTERNA PRÉ-MOLDADA, CLARIFICADOR SECUNDÁRIO Ø 76 M – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA; FORTANKS / SOPLACAS (PAREDE EXTERNA)

armaduras e com o núcleo de concreto, podendo assim degradar precocemente os reservatórios.

A prevenção dessas fissuras pode ser realizada na fase de projeto, respeitando os requisitos de armaduras mínimas para combater a tração sob deformações e restrições impostas conforme descrito no item 17.3.2.2 da ABNT NBR 6118:2014. Outra boa referência para o assunto encontra-se no artigo “Armaduras de Retração em Reservatórios” publicado por Laranjeiras (2007).

Ainda em fase de projeto, mas vislumbrando o processo executivo, um ponto que corrobora para a minimização das fissuras de retração provenientes da cura do concreto, principalmente nas primeiras idades, é a diminuição das restrições de movimentação que a estrutura possui. Assim, pensar em etapas construtivas que limitem o tamanho de execução exerce um papel importante no comportamento dos reservatórios.

Essas etapas podem ser concebidas de maneira a deixar que as peças sofram a redução de seu volume natural durante o processo de retração do concreto, conforme ilustra a Figura 13. Nessas etapas as restrições são minimizadas, tendo-se em vista que todas as armaduras possuem emendadas entre as etapas, de maneira que uma etapa não restringe a movimentação e ou encurtamento das etapas adjacentes, conforme ilustra a Figura 14.

Em estruturas que possuem fundação profunda do tipo estacas, a definição dos tamanhos e posições das etapas precisam levar em conta as posições das estacas, de forma a evitar que alguma estaca fique parcialmente entre as etapas de concretagem. Para isso, um estudo de posicionamento das estacas precisa ser realizado, de forma a otimizar ao máximo a quantidade de estacas.

Essas etapas também são previstas durante as concretagens das paredes das grandes estruturas, pois trata-se de uma concretagem posterior as da laje de fundo, que geram maiores restrições de movimentação durante o período de cura do concreto. Nelas, as etapas de concretagem são restritas a comprimentos não maiores que 10 m, mas nesse caso, os detalhes das armaduras não possuem emendas “agrupadas” entre essas etapas.

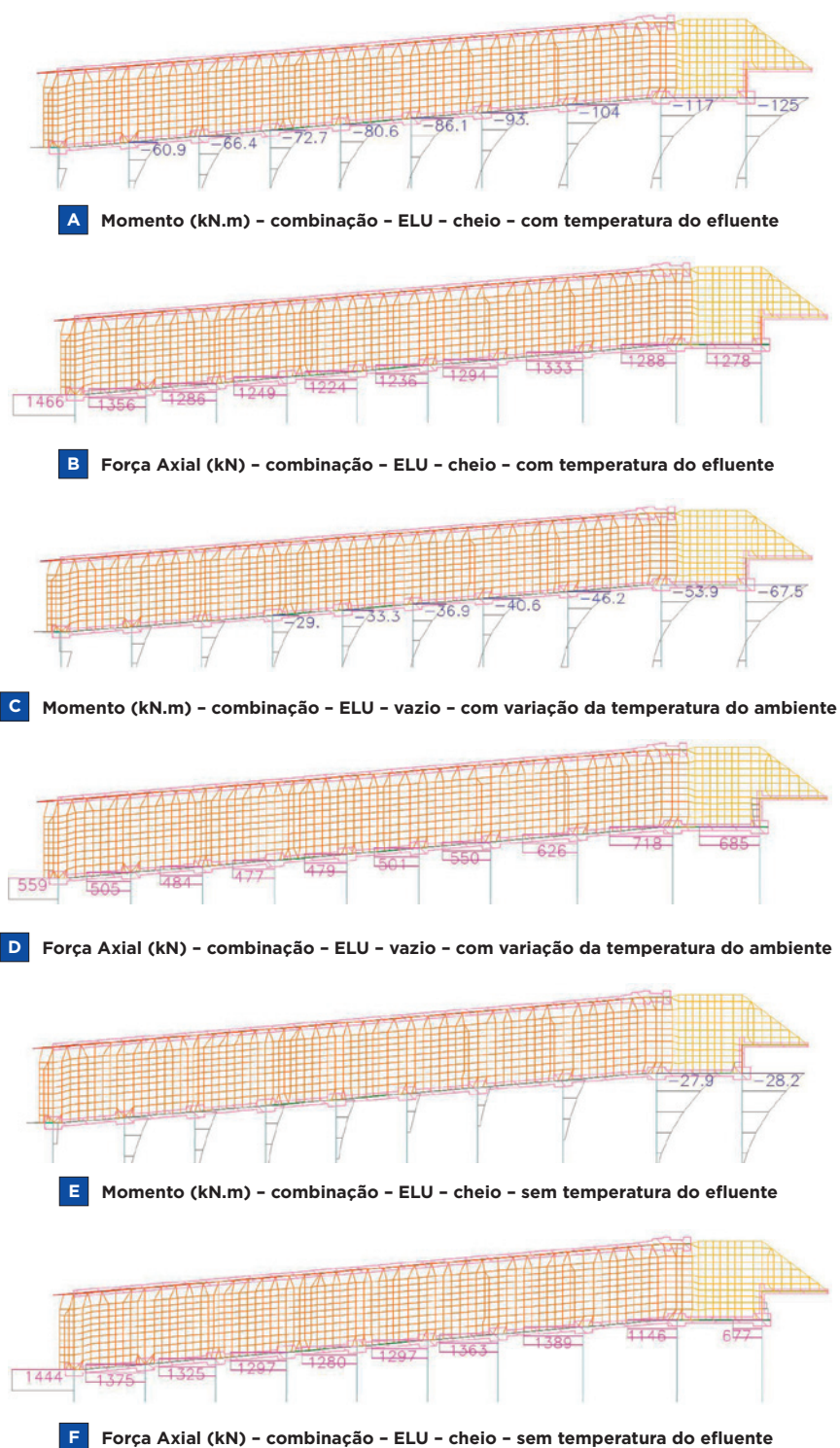


FIGURA 9
ESFORÇOS NAS ESTACAS EM DIFERENTES COMBINAÇÕES - CLARIFICADOR PRIMÁRIO
Ø 73,8 M

FONTE: AUTORES - PROJETO SANTANA ENGENHARIA | ELABORADO COM O AUXÍLIO DO PROGRAMA STRAP (2022)

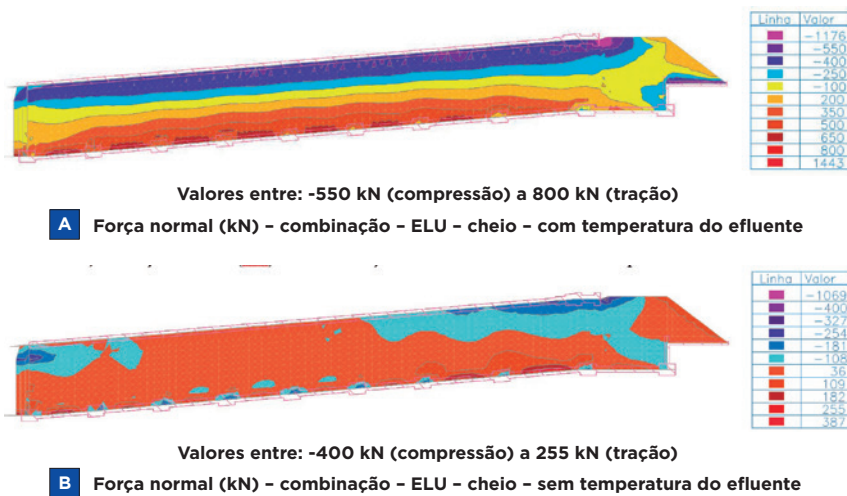


FIGURA 10

ESFORÇOS AXIAIS NA PAREDE DA GALERIA INFERIOR - CLARIFICADOR PRIMÁRIO Ø 73,8 M

FONTE: AUTORES - PROJETO SANTANA ENGENHARIA | ELABORADO COM O AUXÍLIO DO PROGRAMA STRAP (2022)

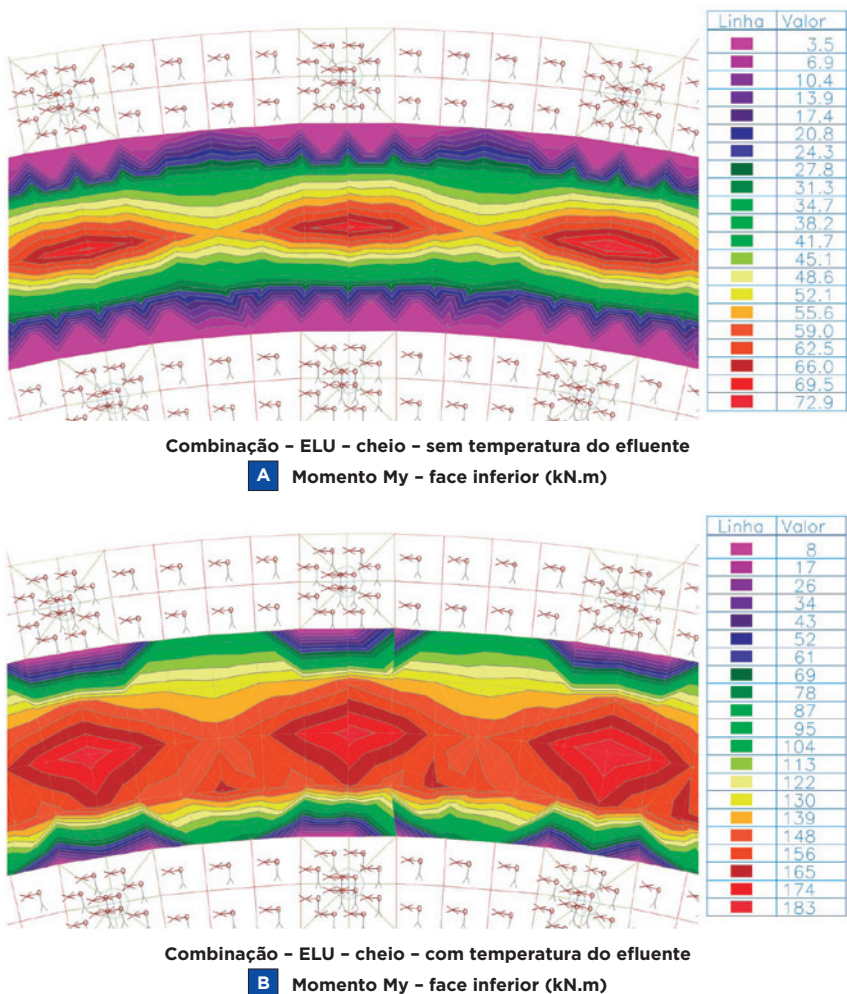


FIGURA 11

ESFORÇOS LAJE DE FUNDO - ENTRE AS ESTACAS - CLARIFICADOR PRIMÁRIO Ø 73,8 M

FONTE: AUTORES - PROJETO SANTANA ENGENHARIA - COM O AUXÍLIO DO PROGRAMA STRAP (2022)

Na Figura 15, podem ser observadas as formas montadas para concretagem entre as etapas de execução da parede externa de um Clarificador Secundário com diâmetro de Ø 80 m. Na Figura 16 ilustra-se o detalhamento das armaduras da mesma parede, onde pode-se observar que não são deixadas emendas concentradas entre as etapas de concretagem.

Essa abordagem de minimizar as patologias através da execução da estrutura em etapas pode ser um inconveniente executivo, pois esse processo exige um tempo de espera entre as etapas de concretagem, tempo esse que comprometeria os prazos estabelecidos para a obra. Assim uma outra forma de minimizar o aparecimento das patologias provenientes do processo de cura do concreto é empregar concretos que possuem menor retração durante seu processo de cura.

O emprego desse tipo de concreto proporciona uma concretagem sequencial sem a necessidade de prazos executivos entre elas. A Figura 17 mostra a concretagem do fundo de um Tanque de Aeração, com diâmetro de Ø 65,35 m, sendo executado em etapas sequenciais, com volumes de concreto variando de 210 m³ a 270 m³.

6. A TENDÊNCIA PARA PRÉ-MOLDAGEM

O aumento dos custos de mão de obra, especialmente na situação pós-pandemia, é um fator que está fazendo as construtoras empregarem a pré-moldagem como uma solução de barateamento de todo o processo. Assim, partes da estrutura podem ser executadas fora dos canteiros, ficando o processo menos suscetível a problemas de prazos. Além disso, as peças produzidas em ambientes controlados geram um produto de maior qualidade.

Porém, a melhora da qualidade, durabilidade e aplicação de novas técnicas construtivas a fim de melhorar a eficiência construtiva, são assuntos que já vem de longa data sendo aplicados no Brasil, conforme revelam os registros da obra em pré-moldado dos tanques da CETREL, em Camaçari/BA (ver Figura 18). Essa obra é do final da década de 80, conforme Belitardo (2019), um dos grandes entusiastas da pré-moldagem de reservatórios no Brasil.



FIGURA 12
 MANCHAS DO PROCESSO DE PERCOLAÇÃO DA ÁGUA PELAS FISSURAS DE RETRAÇÃO OCORRIDAS DURANTE A CURA DO CONCRETO – ETA – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES

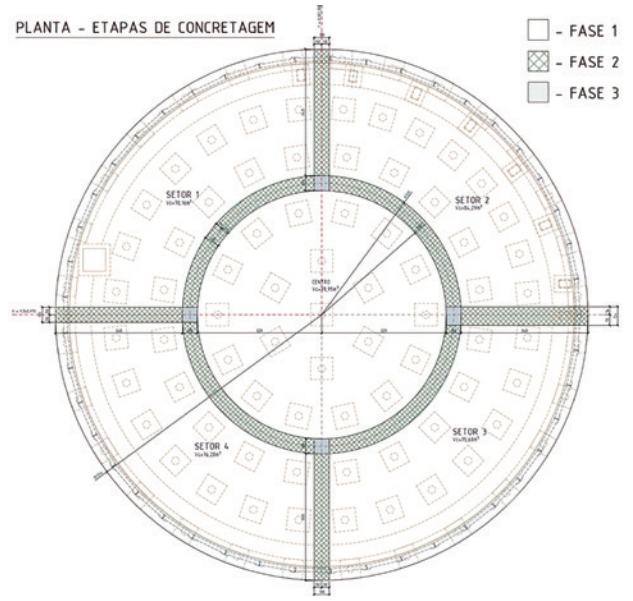


FIGURA 13
 ETAPAS DE CONCRETAGEM – REATOR MBBR – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA

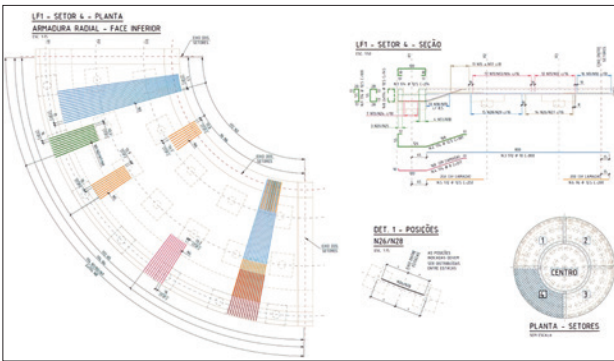


FIGURA 14
 DETALHAMENTO DAS ARMADURAS DESTINADAS A UMA ÚNICA ETAPA DE CONCRETAGEM – REATOR MBBR – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA



FIGURA 15
 EXECUÇÃO DA PAREDE EXTERNA DO CLARIFICADOR SECUNDÁRIO

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA

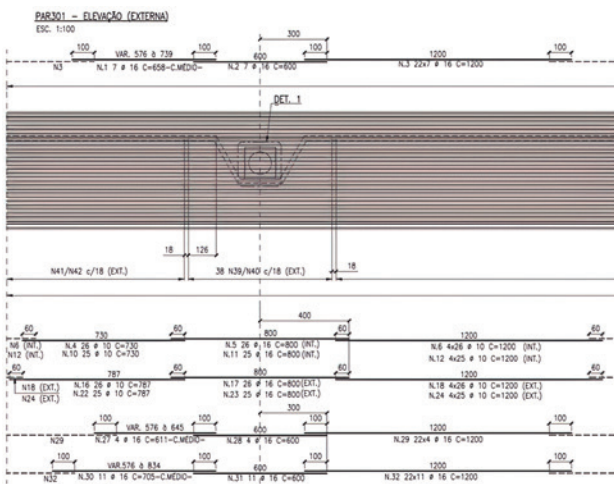


FIGURA 16
 PROJETO DAS ARMADURAS DA PAREDE EXTERNA DO CLARIFICADOR SECUNDÁRIO

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA

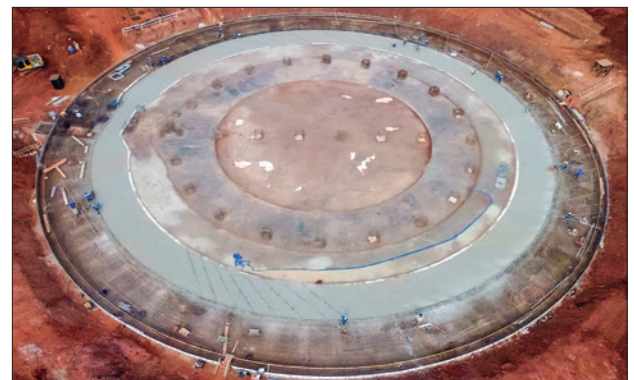


FIGURA 17
 CONCRETAGEM DO FUNDO DE UM TANQUE DE AERAÇÃO – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES, PROJETO SANTANA ENGENHARIA | ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO: PETRONILHO & ASSOCIADOS



A Tanque circular



B Tanque retangular

FIGURA 18

CONSTRUÇÃO DOS TANQUES PRÉ-MOLDADOS DA CETREL – CAMAÇARI – BA

FONTE: ADAPTADO DE BELITARDO (2019)



A Vista externa - construção



B Vista interna - construção

FIGURA 19

RESERVATÓRIO DE SÃO CARLOS – SP, PRÉ-MOLDADO EM ARGAMASSA ARMADA

FONTE: ADAPTADO DE HANAI (1992)

Outro exemplo do início da década de 80 a ser citado é o do reservatório de São Carlos/SP, um pré-moldado de argamassa armada, com capacidade para 2.700,0 m³, conforme ilustra a Figura 19. Essa obra foi projetada pelos Engenheiros J. B. de Hanai, M. K. El Debs e I. Montanari e encontra-se re-

gistrada em detalhes no livro “Construções de Argamassa Armada” de Hanai (1992).

A pré-moldagem hoje está sendo empregada em alta escala, nas mais diversas estruturas de uma ETE, desde a concepção total de uma torre de resfriamento, salas elétricas, paredes pré-moldadas protendi-



A Vista geral



B Montagem da parede externa

FIGURA 20

TANQUE DE AERAÇÃO – Ø 72 M, ALTURA 10,5 M – ETE – FÁBRICA DE CELULOSE

FONTE: ACERVO DOS AUTORES – PROJETO SANTANA ENGENHARIA; FORTANKS / SOPLACAS (PAREDE EXTERNA)

das, tetos dos tanques, escadas, dormentes para apoio de tubulações, bases para suportes de bandejamento de Elétrica Instrumentação e Automação (EIA).

Hoje em dia, as ETEs podem ser compostas por grandes tanques pré-moldados, com diâmetros acima dos Ø 75 m. As paredes externas podem possuir altura total acima dos 10 m, sendo compostas por peças pré-moldadas protendidas que não possuem etapas de concretagem de solidarização entre elas. As passarelas e divisórias internas também podem ser pré-moldadas com altura acima dos 10 m, conforme ilustra a Figura 20.

A utilização da protensão nas paredes externas minimiza ao máximo o problema de fissuração proveniente da operação da estrutura, pois gera uma condição favorável de tensão nas peças ao eliminar as regiões tracionadas por meio da protensão completa. Essa eliminação das zonas de tração também contribui para o não aparecimento das fissuras provenientes da retração do concreto.

7. CONCLUSÕES

Não há dúvidas de que seguir orientações elaboradas especificamente para as estações de tratamento resultam em melhores projetos, com maior durabilidade, reduzindo assim procedimentos de reparo ou reforço estrutural. Porém, a escassez de normativas específicas na regulamentação do referido assunto contribui para que regras empíricas utilizadas no passado continuem sendo aplicadas ainda hoje em dia por um grande número de profissionais.

Dessa maneira, o presente artigo procurou apresentar estratégias de modelagem numérica, objetivando obter resultados mais realistas para o adequado dimensionamento das estruturas de estações de tratamento de esgoto (ETE) e de estações de tratamento de água (ETA). Fica evidente a necessidade de se considerar de maneira apropriada os efeitos de temperatura, bem como a deformabilidade das estacas através da interação solo-estrutura. Além disso, foram discutidas questões construtivas, objetivando melhorar a performance e o processo construtivo, com sinalização para as etapas de defasagem de concretagem e pré-moldagem das peças.

Finalmente, a NBR 6118:2014 elevou muito o nível de qualidade das estruturas atuais, porém há muito que avançar nas questões específicas relacionadas às obras de saneamento, tratamento de água e efluentes. Esse avanço, possível através

de uma normativa específica, iria ao encontro à Lei Nº 14.026 (2020) – “Marco Legal do Saneamento Básico”, garantindo assim, a elaboração de projetos mais assertivos e a execução de estruturas com maior durabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais aos engenheiros José Antonio de Mello e Walter do Nascimento Filho, por todas as oportunidades de trabalho e aprendizados. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ANBT NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ANBT NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [4] ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT. STRAP Structural Analysis Programs. Versão 2022. Tel Aviv, jul. 2022. CD-Rom.
- [5] BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Institui o Código Civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, Ano 158, n. 135, p. 1-8, 16 de jul. 2020.
- [6] BELITARDO, J. C. A. A Alma no Concreto – Uma História de Vida e Superação. Salvador: [s. n.], 2019. p. 211-215, 279.
- [7] CARMONA, T. G. Cálculo do Gradiente Térmico, Gradiente Térmico. In: CARMONA, Tiago Garcia. Esforços circunferenciais em tanques de concreto armado com seção circular – Tensões originadas por gradiente térmico. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. f. 29-33, 65-67.
- [8] HANAI, J. B. de. Construções de Argamassa Armada – Fundamentos Tecnológicos para Projetos e Execução. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1992. p. 50-52.
- [9] LARANJEIRAS, A. C. R. Armadura de retração em reservatórios. Concreto & Construções, São Paulo, ano 34, n. 47, p. 57-60, jul./ago./set. 2007.
- [10] Sabesp - Companhia de Saneamento de São Paulo. Uso Racional da Água: Dicas de economia. Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=140>>. Acesso em: 12 maio. 2023.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON CONCRETO AUTOADENSÁVEL

COMITÊ TÉCNICO CT-202



Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

COORDENADOR Bernardo Fonseca Tutikian
SECRETÁRIO Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-25-1

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 78

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2015

Patrocínio

