

Ampliação do Estádio Olímpico do Pará

Matheus Cerveira Oberlaender Cunha¹

João Luis Casagrande²

Marcelo Leite de Melo Filho³

Caio Nogaroli Boecker⁴

Resumo

O Estádio Estadual Jornalista Edgar Proença, amplamente conhecido como Estádio Olímpico do Pará ou Mangueirão, foi submetido a ampliações e modernizações nos últimos anos. As mais recentes reformas expandiram a capacidade de público da arena, e duas novas rampas de acesso foram construídas em concreto armado moldado in loco, com vãos que perfazem um comprimento total de aproximadamente 76 m cada uma. Novos acessos também foram implantados para os vomitórios centrais em estruturas metálicas. Diversas interferências foram identificadas ao longo das obras e que requisitaram ajustes nos projetos, inclusive com o uso das estruturas existentes para apoios dos novos elementos, assim submetidas a análises estruturais. Além disso, foram projetados os prolongamentos das coberturas existentes com treliças metálicas em balanço que alcançam 50,10 m, suportadas pelos pilares e por novos tirantes ancorados em fundações adicionais. Somam-se as cargas nas coberturas, os pesos dos novos placares eletrônicos e das placas fotovoltaicas. Todas essas cargas adicionais demandaram minucioso trabalho de investigações e análise estrutural, a fim de se validar as soluções pré-concebidas. De forma adicional, considerando que as intervenções modificaram as rizejas e massas dos elementos, efetuaram-se avaliações dinâmicas das estruturas, no intuito de conhecer as acelerações e frequências inerentes ao novo conjunto. Os trabalhos desenvolvidos foram baseados em modelos em elementos finitos, elaborados a partir do software de análise SAP2000. Os dimensionamentos e verificações foram efetuados com auxílio de planilhas e de outros *softwares* comerciais.

Palavras-chave: Concreto Armado; Concreto Protendido; Estruturas Metálicas; Retroanálise; Dinâmica das Estruturas.

Introdução

O Estádio Estadual Jornalista Edgar Proença, amplamente conhecido como Estádio Olímpico do Pará ou Mangueirão, foi inaugurado em 1978. À época da inauguração original, o Estádio ainda não abrigava todas as suas arquibancadas e outras estruturas, tal como conhecido atualmente. Somente nos idos dos anos 2000 o palco do futebol foi concluído com a complementação das estruturas restantes. Além disso, o espaço passou por algumas reformas ao longo dos demais anos, inclusive para atender aos padrões exigidos pela FIFA. Recentemente, no ano de 2021, o governo do Pará deu início a um novo processo de reconstrução e modernização do Estádio Olímpico. Desta forma, a arena que possuía capacidade de público de 35 mil pessoas, teve sua capacidade ampliada para

55 mil lugares de assentos fixos. Em razão do aumento da capacidade de pessoas, também foram construídas novas rampas para a circulação dos torcedores, assim como modernas instalações internas para os camarotes e para o setor de bares e restaurantes, por exemplo. Adicionalmente, com objetivo de amenizar a enfadonha chuva que penalizava os torcedores acomodados às margens do gramado, foram projetados os prolongamentos das coberturas. O presente artigo tem como objetivo apresentar as soluções adotadas em projeto, assim como as principais análises e verificações estruturais efetuadas no Mangueirão, com foco nas maiores dificuldades encontradas no decorrer dos trabalhos. Além dos cálculos relacionados à retroanálise das estruturas existentes e análise dos novos elementos, serão expostas as avaliações dinâmicas das estruturas. Os trabalhos desenvolvidos

¹ Casagrande Engenharia / mccunha@cagen.com.br

² Casagrande Engenharia / jlcasagrande@cagen.com.br

³ Casagrande Engenharia / mlfilho@cagen.com.br

⁴ Casagrande Engenharia / cnboecker@cagen.com.br

foram baseados em modelos em elementos finitos, criados a partir do *software* de análise SAP2000. Os dimensionamentos e verificações foram efetuados com auxílio de planilhas e de outros softwares comerciais.

Descrição do Estádio

A estrutura do Estádio possui formato externo circular com diâmetro de aproximadamente 240 m, enquanto as configurações das arquibancadas e de suas coberturas formam uma falsa elipse internamente. As arquibancadas são suportadas por 48 pórticos dirigidos para 4 centros, determinados pelos vértices do losango base da falsa elipse. Nos projetos de construção do Estádio, as plantas organizavam o estádio em módulos (1 ao 16), cada qual composto por quatro pórticos, separados entre si por juntas de dilatação. No que diz respeito aos vãos da cobertura, estes variam de 6,8 m a 40,16 m, porém chegarão até 50,16 m após a conclusão

dos prolongamentos projetados. A estrutura alcança cerca de 45 m de altura, e os contrabalços variam de 19,56 m a 20,20 m e alguns sustentam rampas do anel externo. Tendo em vista a diferença dos vãos em balanço, algumas das vigas invertidas são engastadas nos pilares, enquanto outras somente apoiadas.

Vomitórios Centrais e Rampas de Acesso

O projeto de modernização e ampliação do Estádio demandou a construção dos dois novos vomitórios centrais em estrutura metálica, além das duas rampas de acesso externas, com a finalidade de melhorar o fluxo dos torcedores que entram e saem das arquibancadas. Os novos vomitórios substituíram parte das arquibancadas centrais em concreto armado, que foram demolidas.

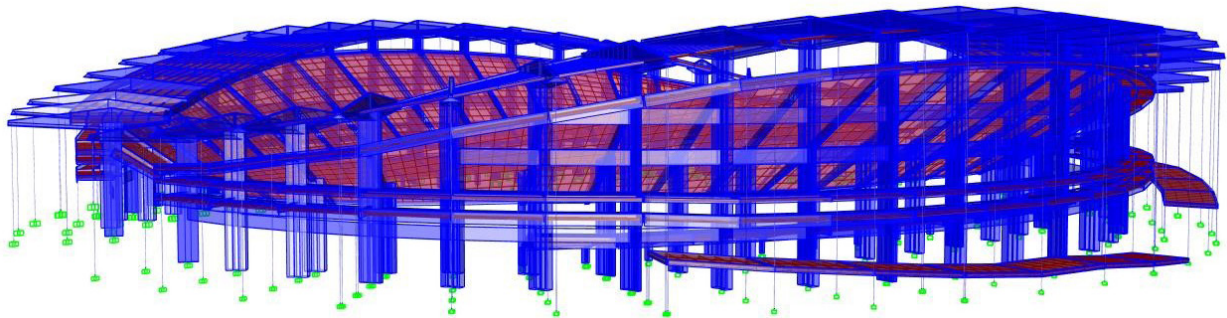


Figura 1 – Modelo em Elementos Finitos do Estádio Olímpico do Pará (SAP2000)

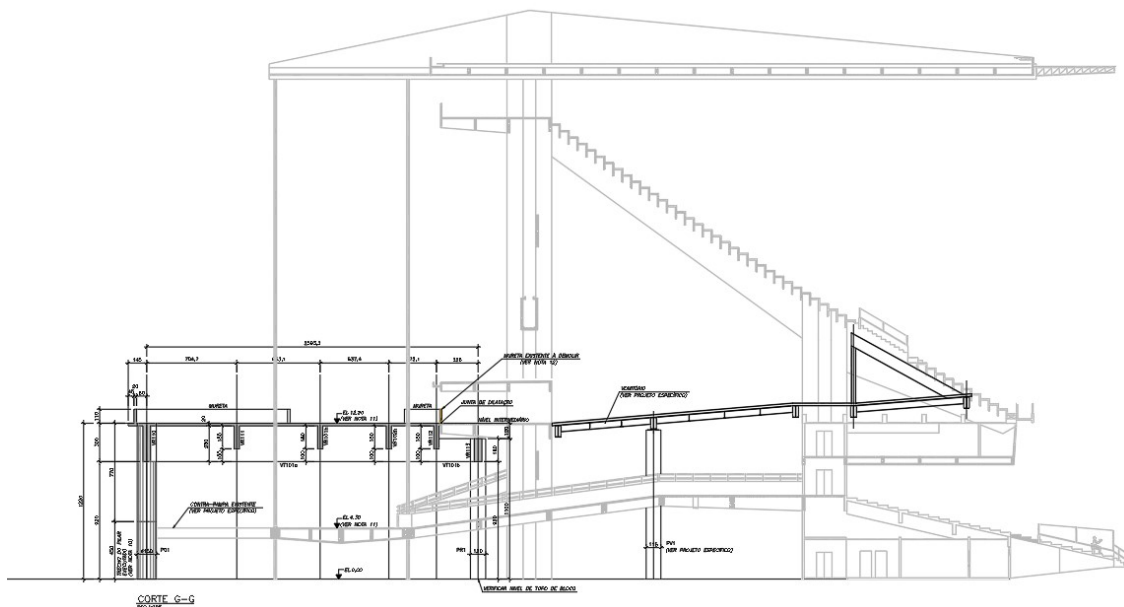


Figura 1 – Patamar de Acesso das Novas Rampas ao Vomitório Central

Vomitórios Centrais

Cada vomitório central foi projetado com superestrutura metálica, formado por vigas soldadas e laminadas em sistema de grelha, sob as lajes do tipo *steel deck*. O comprimento da estrutura chega a 33,1 m, enquanto sua largura varia de 11,2 m a 14,4 m. Para suporte de cada um dos novos vomitórios, somente uma nova linha de apoios foi criada, cabendo às estruturas remanescentes das arquibancadas receber o restante das cargas advindas do vomitório. Para tal, foram projetados consoles metálicos individuais que transferem as solicitações dos perfis de aço às vigas e pilares de concreto armado dos pórticos centrais. Uma vez que todas as estruturas precisaram estar acomodadas entre elementos pré-existentes, todas as ligações dos consoles metálicos contaram com ajustes personalizados para transição entre os elementos, inclusive considerando a capacidade resistente das peças de suporte, levando a adoção de até 24 chumbadores mecânicos em alguns deles. Neste sentido, diversos cálculos de retroanálise foram efetuados para aprovar as

soluções que induziram novas solicitações ao conjunto. Por fim, tendo em vista a mudança na distribuição de solicitações, ainda se optou por criar treliças frontais que equilibram o sistema e aumentam a rigidez da estrutura do vomitório, seguindo as prescrições do “Requirements for Permanent Grandstands Subject to Crowd Action – Interim guidance on assessment and design” (2008). Com essas soluções, a nova estrutura se mostrou estável e rígida, com valores aceitáveis para as acelerações e frequências naturais, fornecendo conforto e segurança às multidões de torcedores.

Cada uma das rampas tem comprimento total de cerca de 76 m e largura de 10,25 m, e se eleva até 12,20 m acima do terreno por meio de pilares circulares com 1,50 m de diâmetro. Além disso, seus patamares alcançam as dimensões de 25,53 m x 14,87 m em planta. Do ponto de vista estrutural, as maiores contrariedades impostas ao projeto desses novos acessos foram as locações dos blocos de fundação das rampas, tendo em vista as numerosas interferências existentes. Por meio de investigações minuciosas das equipes de obras, foram levantados todos os elementos

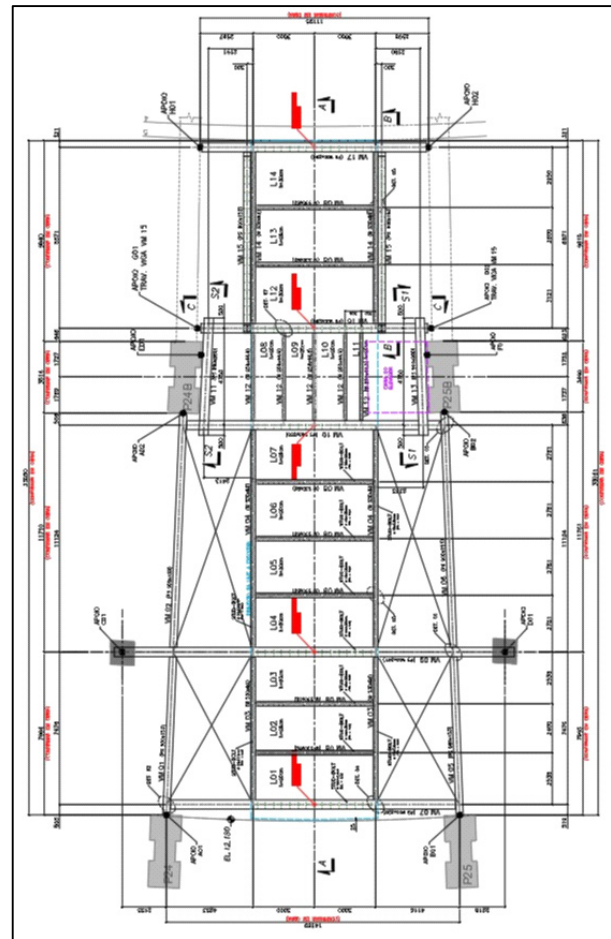
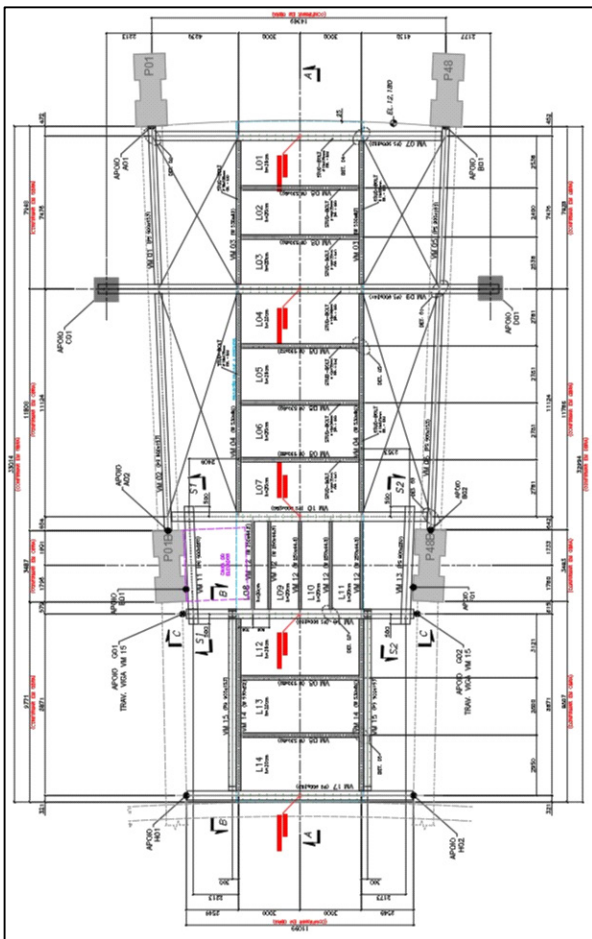


Figura 2 – Vomitórios Centrais – Lados A e B.

escondidos sob o solo, que incluíam dezenas de blocos de fundação dos pilares das arquibancadas e dos tirantes que contrabalançam as vigas das coberturas. As geometrias impostas foram os fatores determinantes para o posicionamento dos blocos, que contam com até 24 estacas do tipo hélice contínua para sustentação dos patamares maiores. As reações nas estacas chegam às cargas de trabalho da ordem de 780 KN, em um perfil estratigráfico homogêneo, composto predominantemente por material aluvionar. Por outro lado, os pilares dos patamares, na transição com os vomitórios, precisaram estar apoiados diretamente

sobre os blocos das fundações existentes (B1, B24, B25, B48), apoiados sobre tubulões a ar comprimido com 2,00 m de diâmetro externo do fuste, e 3,00 m de diâmetro da base.

Para os casos dos tubulões existentes com acréscimo de cargas, demandaram-se análises estruturais e geotécnicas, a fim de se validar as soluções pré-concebidas. Após os cálculos teóricos baseados em metodologias tradicionais para obtenção dos coeficientes de rigidez do solo (Bowles, 1995) e parâmetros geotécnicos (Terzaghi, Peck, 1948), os últimos calibrados pelas condições tipicamente

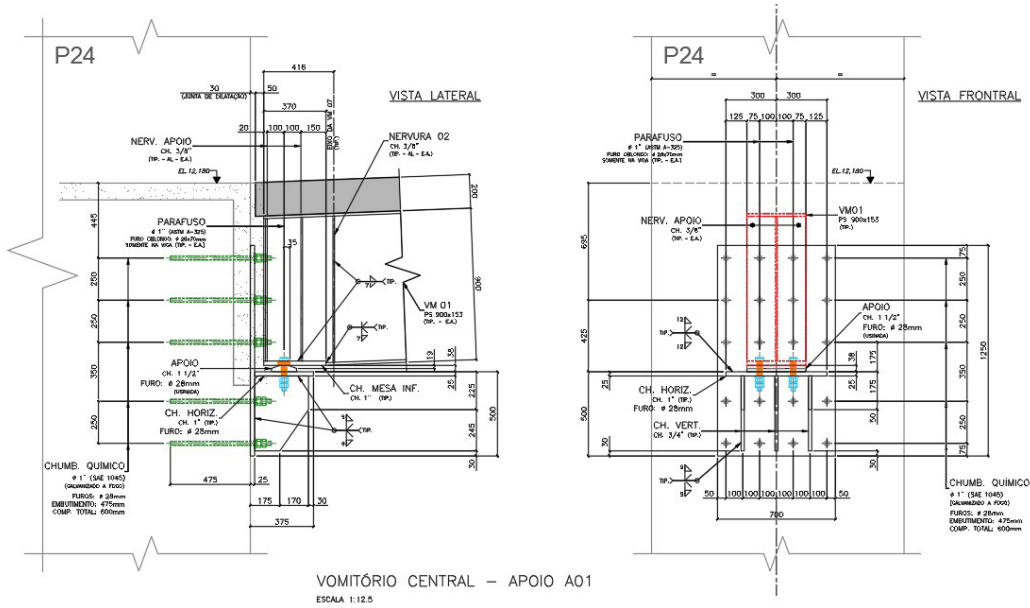


Figura 3 – Console de Ligação para os Novos Vomitórios Centrais nos Pilares Principais.

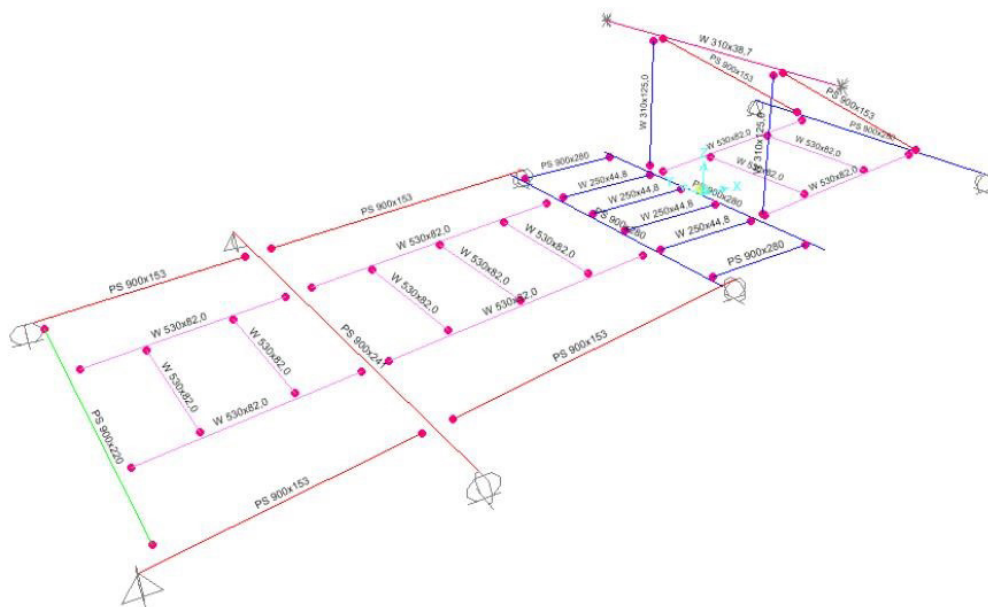


Figura 4 – Modelo Analítico dos Novos Vomitórios Centrais em Elementos Finitos (SAP2000).

encontradas no solo regional, obtiveram-se resultados positivos para as soluções idealizadas. Em relação às validações estruturais, estas foram obtidas após cálculos de retroanálise baseados nas principais normas vigentes à época dos projetos originais, como a NB-1/1975 e a NBR 6118/1980. A retroanálise revelou que os blocos de fundação projetados na década de 1970, tinham armaduras suficientes e tensões com margem de segurança extra, possibilitando os incrementos de cargas. Ainda em respeito às fundações, alguns

cuidados adicionais foram tomados quanto às distâncias das novas estacas às estacas existentes, considerando o conhecido efeito de grupo, já que pelos limites geométricos algumas estacas estavam com pequenas distâncias entre si. Desta forma, foram utilizados dados experimentais e formulações propostas por diversos autores na literatura, incluindo Withaker (1957) e Stuart *et al.* (1960), por exemplo.

As recentes obras incluíram a construção de trechos complementares com cadeiras, acomodando

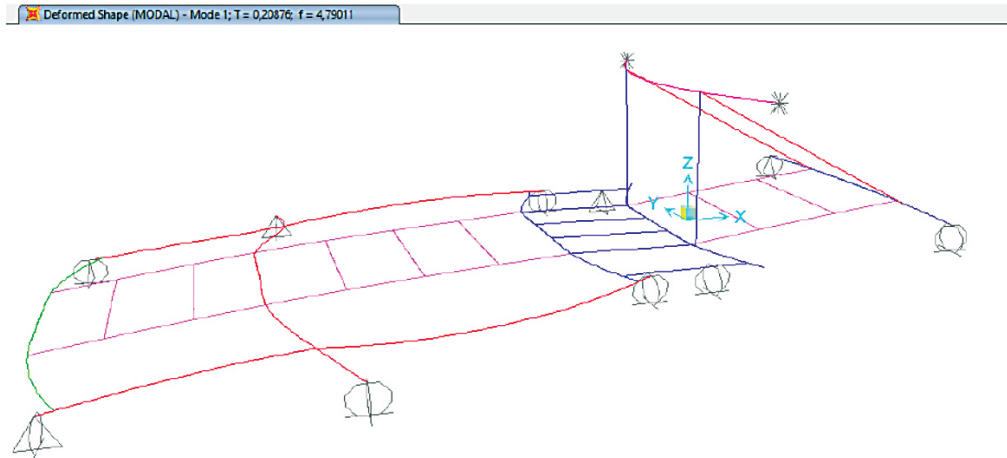


Figura 5 – 1º Modo de Vibração da Estrutura dos Novos Vomitórios Centrais ($f=4,79$ Hz) Rampas de Acesso.

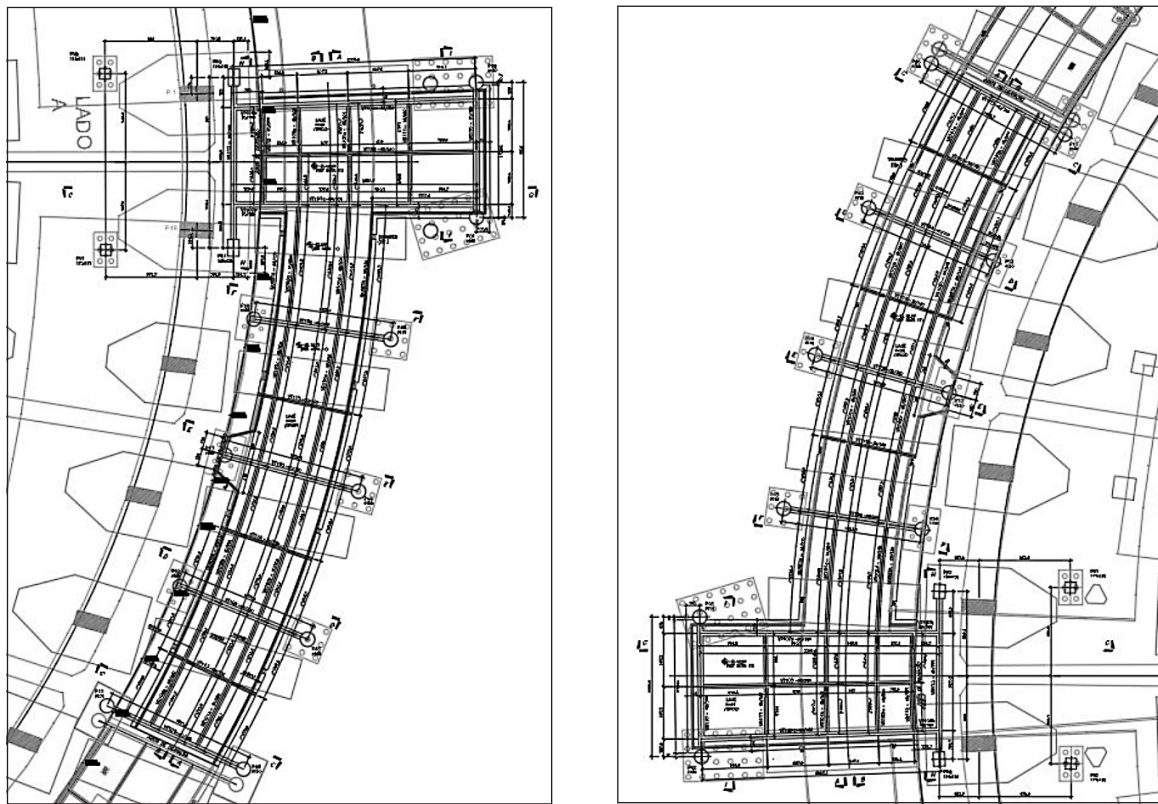


Figura 6 – Rampas de Acesso ao Vomitório Central – Lados A e B.

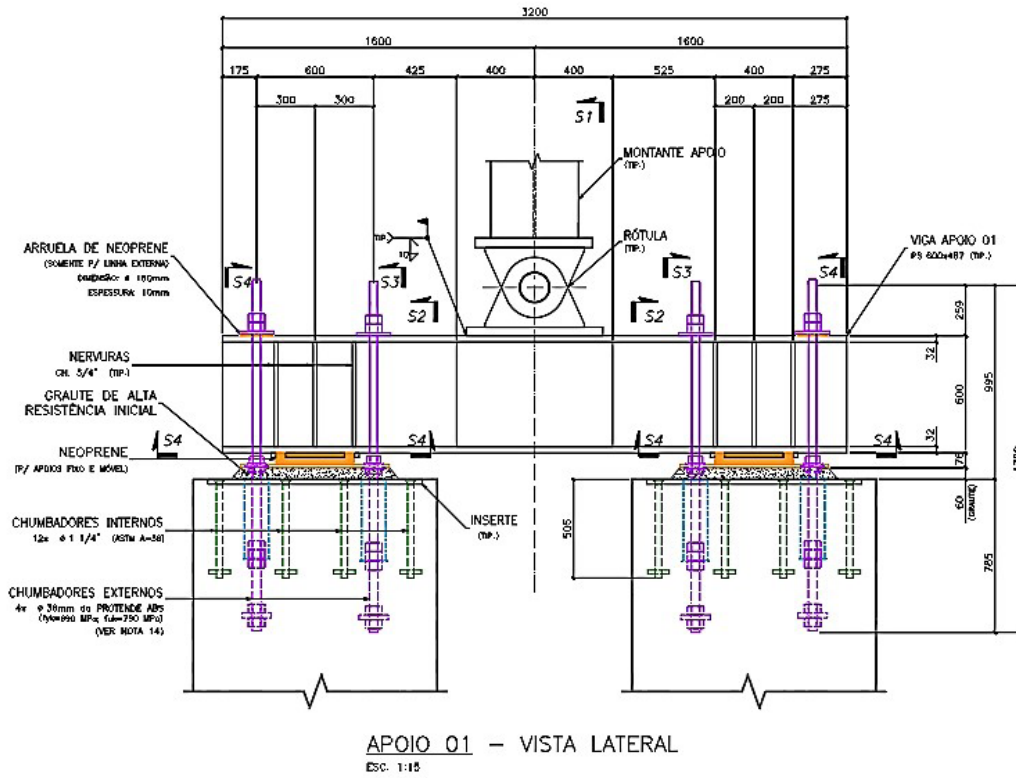


Figura 7 – Seção Transversal das Rampas Prolongamentos das Coberturas.

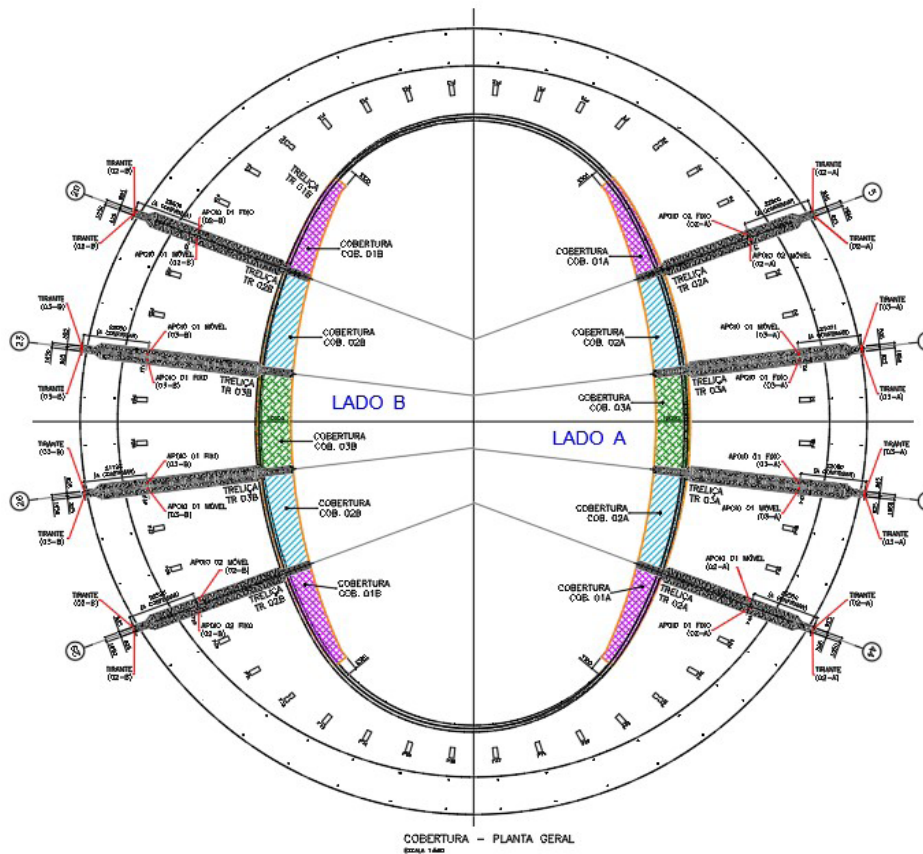


Figura 8 – Vista em Planta das Treliças Metálicas sobre a Cobertura.

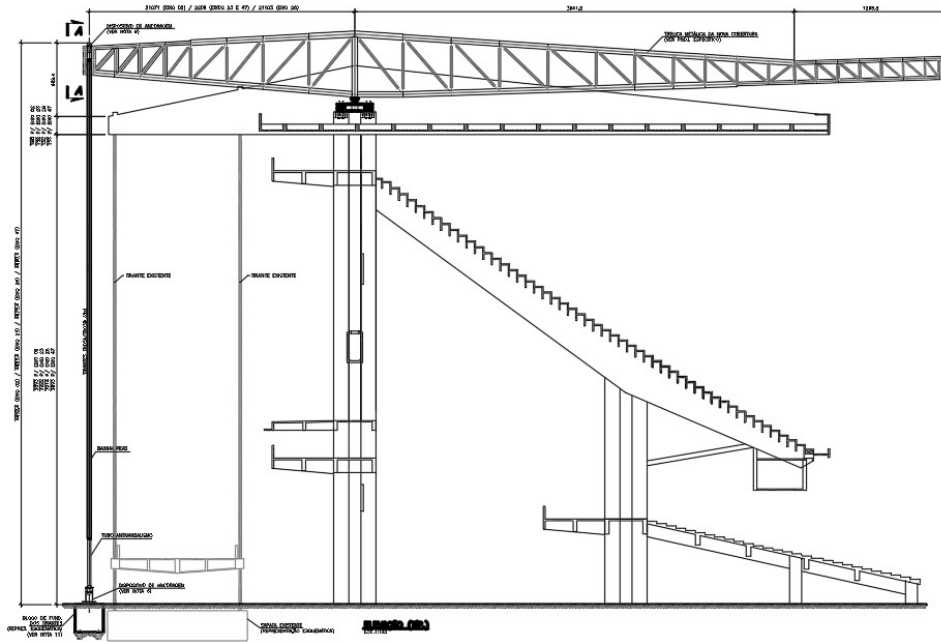


Figura 9 – Elevação das Treliças Metálicas sobre a Cobertura.

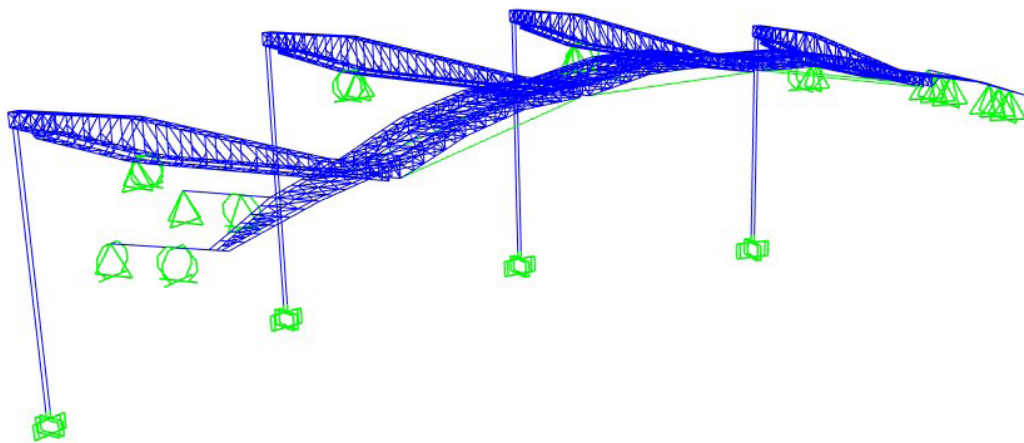


Figura 10 – Modelo Analítico em Elementos Finitos das Treliças (SAP2000).

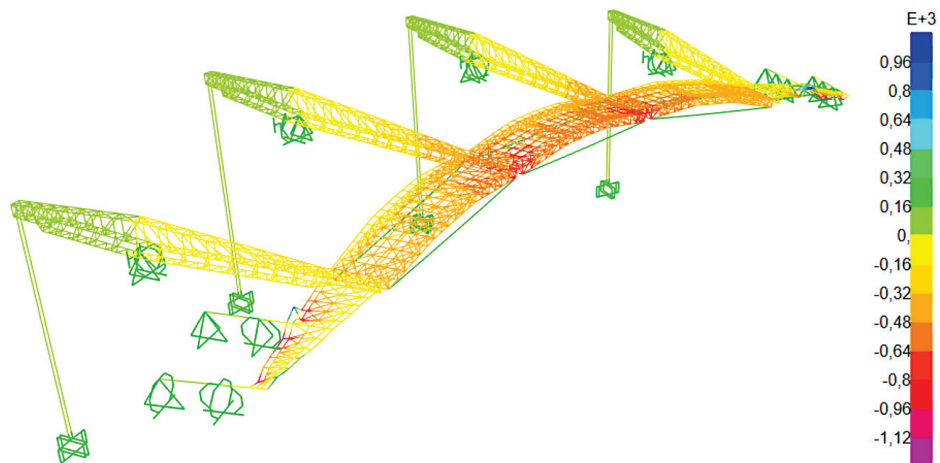


Figura 11 – Deslocamentos nos Perfis Metálicos das Treliças (mm).

os torcedores mais próximos ao gramado. Haja vista que as coberturas – projetadas originalmente com vigas em concreto armado ou protendido sustentando lajes de 10 cm –, não foram idealizadas para proteger os fãs às margens do campo, houve a necessidade de adequação desses elementos. O objetivo foi prolongar as coberturas em até 10 m, com treliças metálicas de cada lado do Estádio, que alcançam 50,10 m em balanço, apoiadas sobre o topo dos pilares principais, e contrabalançadas por tirantes protendidos ancorados em fundações

específicas. Destaca-se que os estudos anteriores para ampliação da cobertura, previam aumento da estrutura com reforços em protensão externa das vigas invertidas. Essas soluções se revelaram inviáveis executivamente, exigindo alternativas ajustadas às possibilidades da obra. Na primeira fase dos estudos conceituais alternativos, eram previstas até seis treliças metálicas de cada lado, com geometria conformando a curvatura da cobertura original, prevalecendo o aspecto estético da obra. Por outro lado, essa solução se mostrou pouco

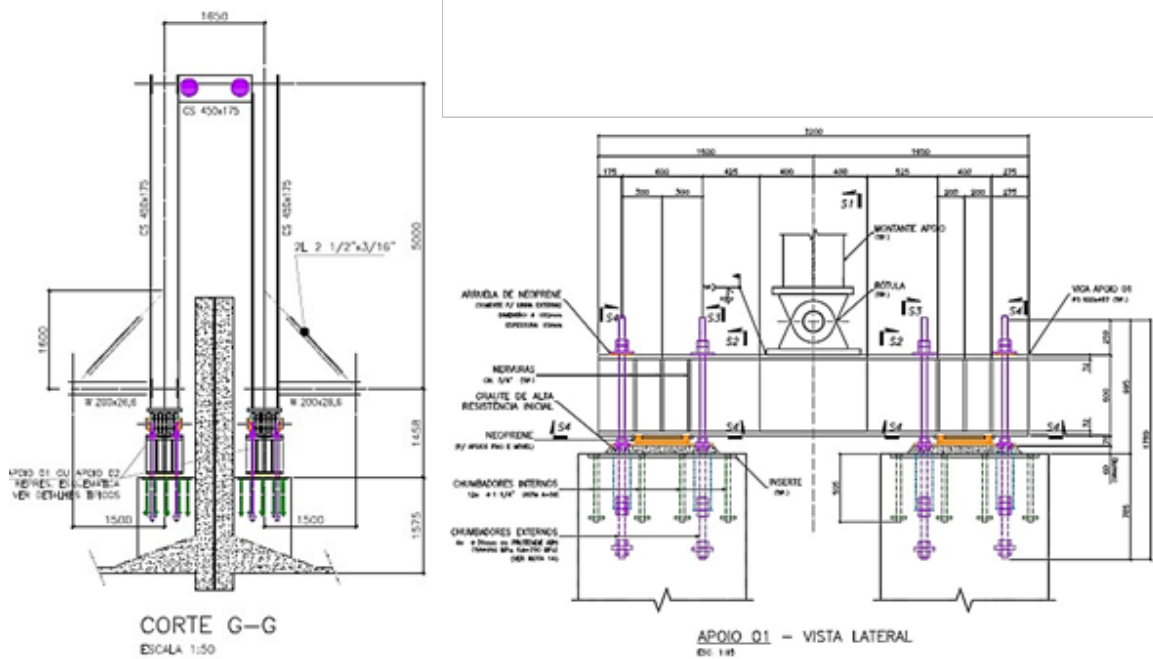


Figura 12 – Ligações Metálicas da Treliça com Pilares de Concreto.

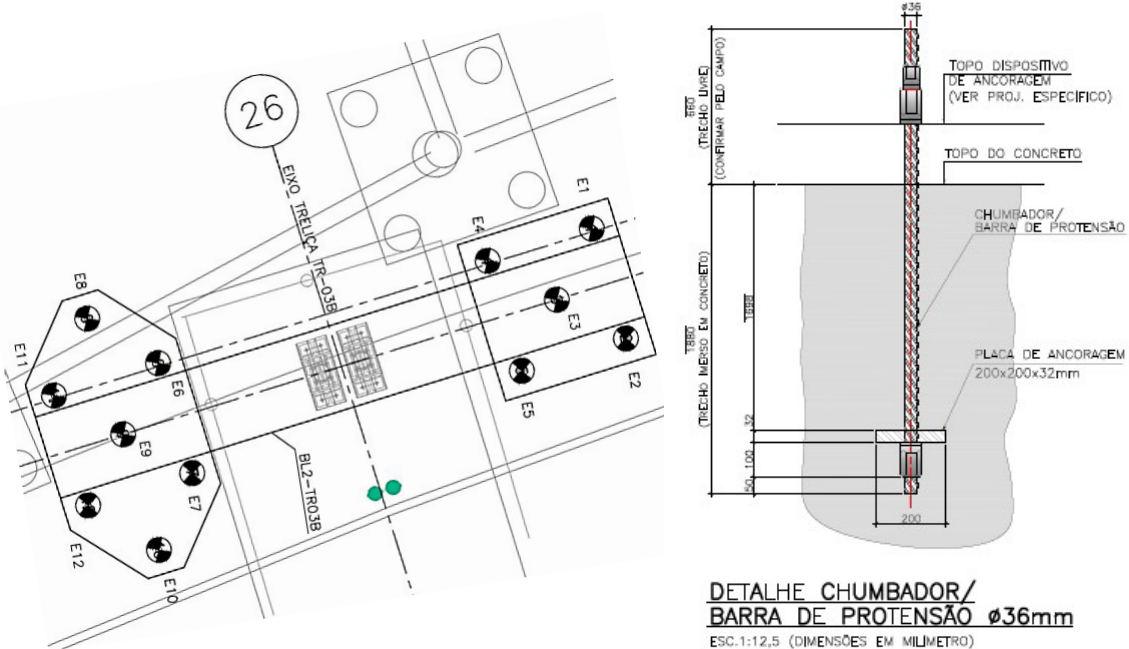


Figura 13 – Blocos de Fundação e Chumbadores dos Tirantes Protendidos.

vantajosa do ponto de vista estrutural, já que o efeito espacial da estrutura manifestava reações de grande magnitude nas treliças das extremidades, em razão do efeito de arco. Para reduzir esse efeito, buscou-se reduzir as extremidades das ampliações, terminando-as sobre as vigas invertidas, e introduziram-se cabos na parte inferior da estrutura espacial, capazes de absorver as solicitações originadas pelo efeito de arco. Adicionalmente, como as treliças estavam posicionadas sobre pórticos entre juntas de dilatação, necessitou-se atribuir a elas apoios fixos de um lado, e apoios móveis de outro lado, com objetivo de se manter a liberdade de deformações nessas juntas. Por fim, a otimização estrutural permitiu a redução do número de treliças de 06 para 04 em cada lado do Estádio assim como uma distribuição mais segura dos esforços.

A aplicação da solução final requisitou novas avaliações estruturais de todos os elementos existentes, que incluíram principalmente os pilares principais e as vigas invertidas suportando as extremidades da estrutura metálica. Foram utilizados alguns documentos remanescentes do projeto original, assim como alguns dados extraídos de campo, para se estimar a capacidade resistente desses elementos. Devido às novas cargas foram projetados reforços estruturais no topo dos pilares.

Outros aspectos sensíveis do projeto foram os blocos de fundação e ancoragens dos tirantes protendidos, considerando o baixo peso relativo da estrutura metálica, foram realizadas análises não lineares para permitir a correta mensuração dos esforços neles, evitando sua indesejada compressão. Além disso, a dificuldade com a locação dos blocos e estacas, considerando as interferências com as fundações existentes, exigiu o dimensionamento e detalhamento de apoios especiais, em alguns casos com vigas de transição.

Conclusão

Projetos de ampliações de estruturas esportivas

existentes são complexos, e requisitam soluções inovadoras por parte de engenheiros estruturais e geotécnicos. Para o sucesso de empreitadas desse gênero, é necessária grande sinergia por parte das equipes de obras e de projeto, tendo em vista a necessidade de investigações em campo continuamente. Desta forma, conclui-se que os trabalhos de projeto desenvolvidos para ampliação do Estádio Olímpico do Pará obtiveram êxito e atendem às expectativas do público em geral.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: Projeto e execução de obras de concreto armado – Procedimento. Rio de Janeiro, 1975.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto e execução de obras de concreto armado – Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.
- BOWLES, J. E. Foundation Analysis and Design. 5th Edition, New York, McGraw-Hill, 2001.
- ISTRUCTE JOINT WORKING GROUP. Dynamic performance requirements for permanent grandstands: recommendations for management, design and assessment. IStructE / DCLG / DCMS Joint Working Group, London, 2008.
- STUART, J. G., T. H. Hanna, and A. H. Naylor. Notes on the behaviour of model pile groups in sand. Proc. Symposium on Pile Foundations, I.A.B.S.E. Stockholm, 1960.
- TERZAGHI, K. and PECK, R. B. Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st ed. John Wiley, New York, 1948.
- VASCONCELOS, Augusto Carlos de. Volume IV: O Concreto no Brasil: Obras Especiais – Contos Concreto. São Paulo: IBRACON, 2011.
- WHITAKER, Thomas. Experiments with model piles in groups. Géotechnique, VII, 1954.