



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE TRELIÇA EM AÇO MONTADA EM AMBIENTE CORROSIVO

Structural recovery of metallic trusse located in corrosive environment

José Geraldo de Araújo Silva (1); Antônio Maria Claret de Gouveia (2); Hisashi Inoue (3)
Gustavo de Oliveira Daumas (4) Lucas Teixeira Araújo (5)

- (1) MSc José Geraldo de Araújo Silva (P), Engenheiro Civil, Ipatinga – MG, Brasil.
 - (2) Dr. Prof. Antônio Maria Claret de Gouveia, Universidade Federal de Ouro Preto - MG, Brasil.
 - (3) Dr. Prof. Hisashi Inoue, Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco – MG, Brasil.
 - (4) Gustavo de Oliveira Daumas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, Brasil.
 - (5) Lucas Teixeira Araújo, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, Brasil.
- Email para Correspondência: jgaraujo@gmail.com

Resumo: Num mundo cada vez mais competitivo, onde a crescente necessidade de aumento da produção/produtividade industrial exige rendimento máximo, novas tecnologias e equipamentos são exigidos. Assim sendo, nos casos de aumento da performance industrial corre a necessidade de reforço/recuperação de elementos estruturais, uma vez que estes não foram dimensionados para absorver os novos esforços. Ocorre porém, nos casos em que a manutenção deixou a desejar (ou não fora realizada), diversas patologias podem surgir, fazendo com que haja não somente a necessidade de reforço estrutural, mas também de correção.

Com o passar do tempo, uma estrutura pode apresentar diversas patologias, quer sejam originadas por novo carregamento, ações dinâmicas, deficiência de projeto/montagem/fabricação ou até mesmo por falta de manutenção (principalmente). Assim sendo, quando da necessidade de inserção de novas cargas é necessário que as propostas contemplem não apenas os novos carregamentos e suas combinações, mas também a condição estrutural dos elementos envolvidos nesta etapa.

A estrutura objeto do estudo é composta por duas treliças verticais em aço (principais) que são estabilizadas por duas treliças horizontais (travamento), estando uma localizada no centro do banzo superior e a outra no centro do banzo inferior das treliças verticais, formando assim um túnel. As ligações são parafusadas (parafuso A325) através de chapa *gousset* localizada na linha neutra dos banzos, o que confere ao sistema um bom grau de liberdade, ou seja, não há momento fletor nas barras (banzos superior e inferior). Algumas barras das treliças horizontais recebem cargas dos equipamentos e são tratadas com vigas simplesmente apoiadas nos nós das treliças verticais.

Este trabalho relata a experiência de campo durante o trabalho de repotencialização de treliças metálicas com quase 20 anos de uso, 30m de vão, localizada em ambiente extremamente agressivo (indústria química), onde havia a proposta de colocação de novos equipamentos, inclusive com carga dinâmica. Todas as fases do projeto (seus problemas e a solução adotada) -necessidade de colocação de novos equipamentos, estudo de viabilidade técnica, proposta de reforço estrutural e execução dos serviços- serão aqui relatadas.



Ao final serão apresentados croquis comparativos entre a proposta inicial (as built) e a proposta de reforço, bem como croquis de detalhamento para que as patologias não voltem a ocorrer.

Palavras chaves: Corrosão, manutenção, patologia, repotencialização estrutural, recuperação estrutural.

Abstract: In an ever increasing competitive world, where the growing need to develop industrial production/productivity requires maximum performance, new technologies and equipment are required. Thus, in cases of increased industrial performance there is a need for reinforcement/recovery of structural elements, since these were not initially designed to absorb the new efforts. It occurs, however, in cases where the maintenance has left something to be desired (or been lacking completely), various pathologies may arise, causing not only the need for structural reinforcement, but also for correction.

After some time in use, a structure can present several pathologies that can be caused by new loading, dynamic actions, design/assembly/fabrication deficiency or even lack of maintenance (mainly). Therefore, when it is necessary to accommodate new loads, it is crucial that the proposals contemplate not only the new loadings and their combinations, but also the structural condition of the elements involved in this stage.

The case study consists in two vertical steel trusses (main) that are stabilized by two horizontal trusses (bracing), one at the center of top chord and the other at the center of bottom chord, forming a tunnel. The connections are bolted (bolt A325) through *gousset* plate located in the neutral line of chord web, which gives to the system a good degree of freedom, that is, does not exist bending moment in bars (top and bottom chord). Some bars of horizontal trusses receive loads from the equipment and are treated like a isostatic beam, supported at the knots of vertical trusses.

This paper reports the field experience (on industry) during the work of repowering trusses (steel profile) with almost twenty years of use, spanning 30m, located in an extremely aggressive environment (chemical industry), where there was the proposal of placement of new equipment, including dynamic load. All phases of the project (and their problem and adopted solution) - the need for new equipment placement, technical feasibility study, proposal for structural reinforcement and service execution - will be reported here.

At the end, comparative sketches will be presented between the initial proposal (as built) and the proposal of reinforcement, as well as detailed sketches so that pathologies are avoided.

Keywords: Corrosion, maintenance, pathologies, structural repowering, structural reinforcement.



1 INTRODUÇÃO

O *retrofit* estrutural, seja por necessidade da alocação de novos equipamentos e/ou correção, está se tornando muito comum nos dias de hoje. Por esta razão, o engenheiro de estruturas deve estar atento às razões que levam à necessidade de reforço estrutural, bem como ter conhecimento dos avanços tecnológicos em termos de materiais e metodologias de cálculo.

O presente caso trata-se de um sistema treliçado espacial (3d), formado por quatro unidades, sendo duas verticais (principais) e duas horizontais (secundárias) responsáveis pela estabilização horizontal do sistema. Algumas literaturas especializadas denominam este sistema estrutural como túnel treliçado.

A estrutura faz parte de um conjunto de transportadores de um grande complexo industrial no norte brasileiro e é responsável pelo transporte de material corrosivo entre duas unidades fabris, sendo que o elemento químico por vezes cai da correia transportadora e se aloja na parte inferior da estrutura (nos flanges dos perfis dos banzos, nas peças da treliça horizontal e principalmente nas ligações). Uma vez que a limpeza da estrutura, bem como a retirada dos materiais que caem da correia são difíceis de ser realizados e há a constante briga entre o pessoal da manutenção e da produção, o processo corrosivo iniciou e por sorte não levou a estrutura à ruína.

Diante da necessidade de colocação de novos equipamentos e aumento da capacidade da correia transportadora, parou-se completamente o sistema e fez uma inspeção geral na estrutura, onde foram encontrados corrosão generalizada, deformação excessiva de elementos estruturais (secundários e primários) e ligações desfeitas.

As treliças verticais são do tipo Pratt e as horizontais assemelham-se à treliça tipo K. As dimensões da estrutura são:

- Vão: 36m
- Subdivisão dos banzos: 3m
- Distância entre treliças verticais: 4m (centro a centro de perfis)
- Altura das treliças verticais: 3m (centro a centro de perfis)
- Condição de contorno: treliça isostática
- Tipo de ligação: rotulada
- Perfil adotado nos banzos: perfil soldado em aço ASTM-A36
- Perfil adotado nas diagonais e montantes: cantoneira (dupla OPV) em aço ASTM-A36
- Chapa das ligações (*gousset*): # 9.7mm
- Parafusos: A325N (plano de corte passando pela rosca).

As Figuras 1 e 2 mostram as dimensões da estrutura.

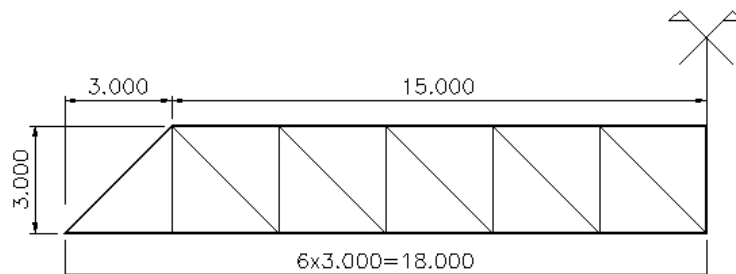


Figura 1. Vista lateral da treliça principal (vertical). Os montantes e as diagonais são em cantoneiras opostas pelos vértices (OPV), sendo que os banzos e a primeira diagonal são em perfis tipo I soldados.

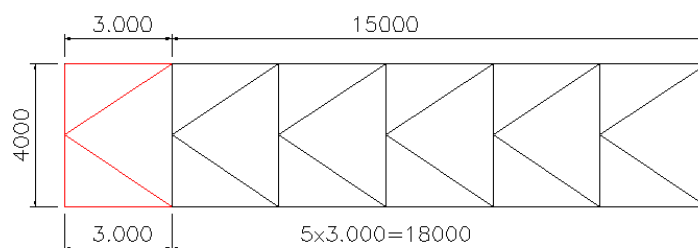


Figura 2. Vista superior da treliça secundária (horizontal) em formato de K. Os banzos são comuns a esta treliça e às treliças principais. As diagonais são em cantoneiras opostas pelos vértices (OPV). Os montantes são em perfis tipo I soldados, sendo que na treliça superior estes são solicitados à flexão, pois as cargas dos equipamentos se apoiam sobre estas peças. Em vermelho está a projeção da treliça inferior.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Pesquisa documental

A fase inicial do processo de recuperação da estrutura foi a coleta de dados, tanto em campo quanto no arquivo técnico, para posterior comparação dos mesmos. A intenção deste procedimento era verificar se o *as built* estava compatível com o projetado. Após minuciosa pesquisa e comparação, concluiu-se que as pequenas alterações realizadas não afetavam a resistência da estrutura na forma em que fora projetada.

Durante a análise do projeto original observou-se que o autor do mesmo teve o cuidado de garantir que o sistema trabalhasse como uma treliça, ou seja, que as peças fossem dispostas de tal forma que os pontos de trabalho (P.T.) dos nós fossem coincidentes com o encontro dos eixos geométricos das peças envolvidas, e que também, no caso do apoio da treliça horizontal nos banzos da treliça vertical, as chapas de ligação (*gousset*) fossem soldadas na linha neutra dos perfis.

As cargas que estão alocadas na treliça superior, encontram-se sobre perfis laminados padrão americano, estando estes apoiados nos banzos através de ligação de primeiro gênero,

através da alma, o que não transmite momento ao apoio e garante que a travessas sejam considerada bi-apoiadas. A Figuras 3 apresenta as ligações presentes na estrutura.

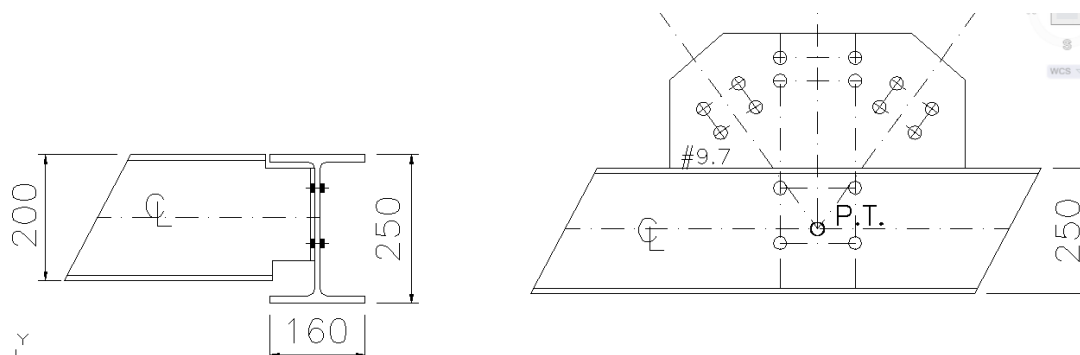


Figura 3. Vista das ligações das treliças: a figura à esquerda representa a ligação entre as diagonais/montantes da treliça de travamento (horizontais) nos bantos inferior e superior da treliça principal (vertical), onde se vê que a ligação é pela alma, ou seja, não transmite momento ao banto e a peça horizontal é isostática. A figura à direita representa o nó da treliça vertical, mostrando o ponto de trabalho localizado no centro geométrico da fica, o que impede a presença de esforços de flexão.

De posse dos dados obtidos através dos projetos existentes, partiu-se para verificação da estrutura, nas condições em que fora inicialmente projetada, com as sobrecargas propostas (equipamentos, materiais e vento segundo a NBR6123) . Com auxílio do *software* MCalc3D e utilizando a norma NBR8800, a estrutura fora analisada e foram encontradas as barras mais solicitadas, bem como a flecha máxima, cujos valores são:

Barra mais solicitada: diagonal comprimida com 80% de aproveitamento, Figura 4.

Flecha máxima: 80mm, no centro do vão ($L/450$), quando atuava a carga máxima, Figura 5.

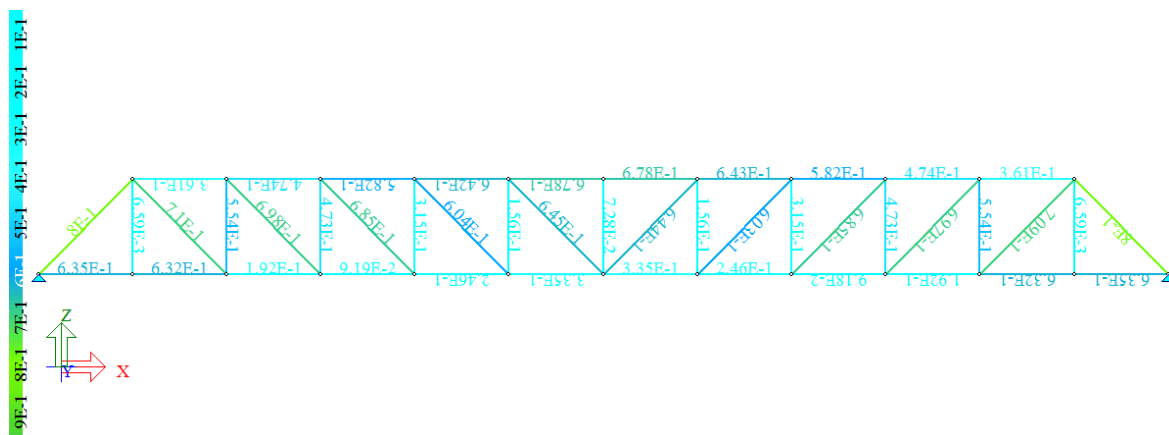


Figura 4. Vista do esquema de aproveitamento estrutural da treliça principal (vertical). As diagonais do apoio são as peças mais solicitadas, estando com 80% de utilização. Os valores presentes nas demais peças mostram que a estrutura apresenta muita folga quando comparada aos valores de esforços máximos permitidos pela norma NBR8800.

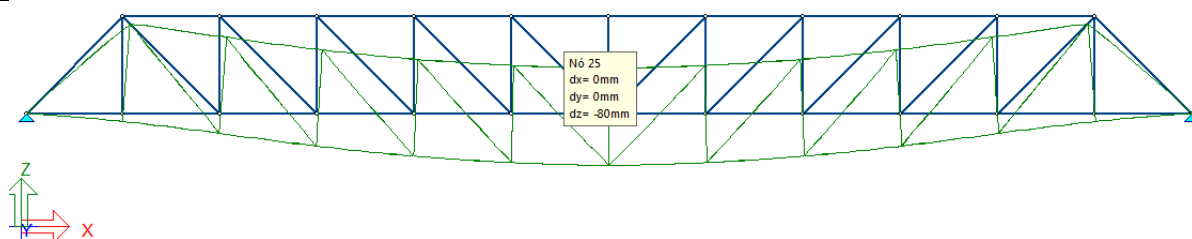


Figura 5. Vista frontal da treliça principal deformada, através do modelamento matemático (análise estrutural) com a combinação de carregamento mais desfavorável. A deformação máxima obtida foi de 80mm ($L/450$), ocorrida no centro do vão.

2.2 Pesquisa de campo (*as built*)

De posse dos dados teóricos, partiu-se para verificação em campo da real situação da estrutura para que se pudesse realizar o novo estudo, uma vez que os indicativos eram de perda de material pois havia uma acentuada deformação próxima a um dos apoios e o material que é transportado pela correia tem pH em torno de 4.

Outrossim, vale salientar que em seus 40 anos de existência a estrutura nunca passara por uma manutenção severa, com medições topográficas e, dependendo, do índice de vibração. Neste ponto, cabe uma nota sobre a relação entre os responsáveis pela manutenção e a equipe de produção. Via de regra, no meio produtivo brasileiro, estas duas equipes não conseguem se entender, pois o pessoal da manutenção exige mais tempo para realização do serviço da forma que necessita ser realizado, porém, a produção diz que é muito tempo e que ali está o coração da empresa. É imperativo, em todos os setores produtivos, que estas equipes cheguem a um bom termo, pois a ausência de uma manutenção efetiva pode trazer desgaste prematuro de equipamentos e ainda deixa uma lacuna para ocorrência de acidentes. Do contrário, uma demanda de tempo grande, pode causar perda na produção e atraso nos compromissos.

Durante a inspeção, foram encontradas diversas não conformidades, tais como:

- ligações rompidas ou sem efetividade
- corrosão em barras principais
- corrosão em barras secundárias
- montantes e diagonais amassados
- montantes e diagonais com parte da seção rompida
- deformação excessiva
- empeno de viga de rolamento.

A Figura 6 mostra algumas destas patologias.

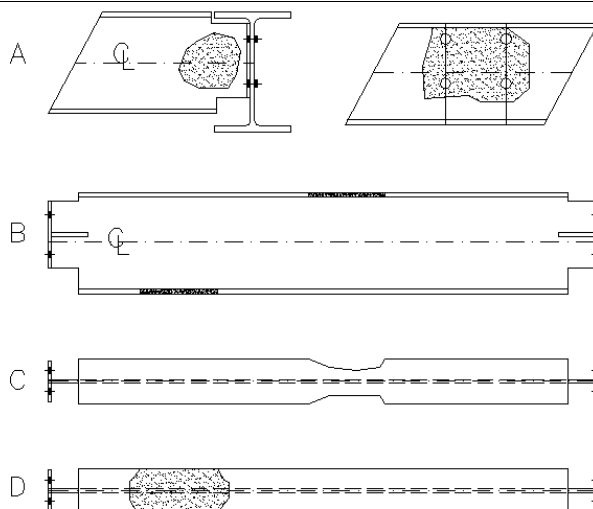


Figura 6. Croquis de algumas das patologias presentes na estrutura . A: corrosão na alma de viga transversina próxima ao apoio. À direita o mesmo processo de corrosão, porém na alma do banzo inferior do perfil da treliça principal. Em algumas situações esta patologia chegou a furar a chapa da alma. B: corrosão nas mesas dos perfis, tanto das vigas transversinas quanto dos banzos. C: vista da mesa inferior, onde, em alguns casos, boa parte da seção da mesa fora corroída. D: vista da mesa superior do perfil, onde a corrosão, na maioria das vezes, fora apenas superficial.

2.3 Proposta de recuperação das partes corroídas

Retrofit é um termo utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização de algum equipamento ou estrutura já considerado ultrapassado ou fora de norma. No presente caso, a re-engenharia fora realizada para contemplar ambas as propostas, uma vez que a norma utilizada para cálculo fora a NB14 (método das tensões admissíveis), vigente à época da fabricação da estrutura e que quando da realização das melhorias na treliça a norma vigente era a NBR8800 (método dos estados limites), que está em vigência até os dias de hoje.

Objetivando atender aos requisitos normativos de segurança e de utilização, foram realizados reparos (troca de peças estruturais, de partes de perfis e de ligações) e reforço em peças onde os valores de resistência encontrados estavam fora de norma ou não atendiam às necessidades frente aos esforços gerados pelos novos equipamentos.

Como já era do conhecimento de todos os envolvidos na recuperação que havia algo de errado com a estrutura, uma vez que a mesma apresentava deformações visíveis, tornou-se imperativo a paralização total de todas as atividades, com a retirada dos equipamentos e limpeza de todas as partes constituintes das treliças para que as atividades fossem realizadas com segurança.

Após a limpeza das estruturas, as patologias, como mostrado na Figura 6, foram tratadas da seguinte forma:

- A- Limpeza manual com escova de aço, com retirada total do óxido. Pintura das partes afetadas com inibidor de corrosão. Soldagem de chapas tipo sanduíche em uma área maior que a área afetada, garantindo assim a integridade da alma. No caso de ligações, estas eram refeitas, com utilização de parafuso A490N, com duas arruelas.
- B- Para o caso mostrado na letra C, optou por corte da parte corroída e soldagem de nova chapa. Para letra D, na maioria dos casos – corrosão superficial -, fez-se a limpeza manual com escova de aço, com retirada total do óxido e realizou-se a pintura das partes afetadas com inibidor de corrosão e tonta de acabamento.

2.4 Proposta de reforço

Com a estrutura, pelo menos teoricamente, em sua condição original, partiu-se para a análise estrutural da mesma com a colocação das novas cargas, visando os possíveis pontos onde poderia ser necessário o reforço estrutural. Uma vez que os equipamentos apresentam carga móvel, as peças mais solicitadas poderiam estar em qualquer ponto, sendo necessária uma análise mais criteriosa do sistema. O reforço da estrutura fora realizado apenas na estrutura principal (treliças verticais) pois as treliças de travamento originariamente dimensionadas encontravam-se bem acima da resistência exigida.

As chapas (*gousset*) de ligação foram mantidas, uma vez que as peças (diagonais e montantes) em sua maioria trabalham à compressão, onde o modo de falha é a flambagem, não comprometendo a ligação. Mesmo assim, optou-se pela troca dos parafusos de A325X (com rosca no plano de corte) para parafuso A490 (com rosca fora do plano de corte). Onde houve aumento esforço dobrou-se as cantoneiras, obtendo também o cisalhamento duplo do parafuso, o que dispensa a verificação. Devido à sua espessura, as chapas de ligação não precisaram ser alteradas.

Uma vez que a estrutura fora dimensionada como elemento de treliça, os banzos das treliças principais estavam submetidos somente à tração e compressão, sendo que para contemplar a proposta de aumento de carga bastava aumentar a área da seção dos mesmos que o problema estaria solucionado. Poderia ter optado por aumento do raio de giração, porém seria mais oneroso e de difícil execução.

Com o novo carregamento, a diagonal mais solicitada com o carregamento inicial, ultrapassou os limites normativos de resistência, sendo necessário reforçar a mesma. Desta forma, na peça que era composta por duas cantoneiras opostas pelo vértice (OPV), foram adicionadas duas cantoneiras, transformando-a em uma peça composta por quatro cantoneiras, no formato de cruzeta. Neste caso a variação de esforço fora pequena, não afetando os elementos constituintes das ligações.

Após a elaboração dos projetos de reforço, com a colocação das novas cargas (equipamentos, materiais e passadiço), verificou-se a deformação da estrutura, estando esta na casa de 95mm ($L/379$), ficando abaixo do limite normativo ($L/300 = 120\text{mm}$).

A Figura 7 apresenta croquis das soluções adotadas para reforço da estrutura.

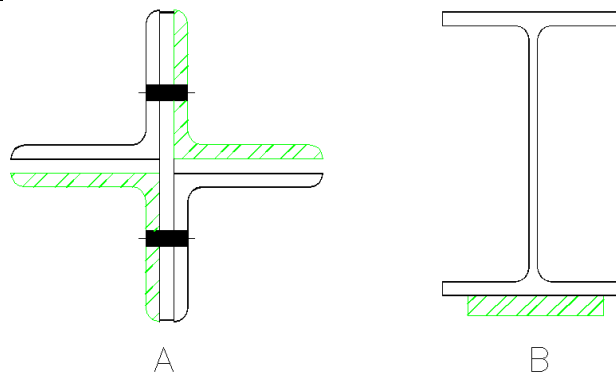


Figura 7. Croquis do reforço executado nas treliças principais (na cor verde). A: colocação de mais cantoneiras em alguns montantes e algumas diagonais. Com a duplicação das cantoneiras ocorreu não apenas o aumento de área e mas também da rigidez torcional. B: colocação de chapa soldada ao banzo inferior para aumento de área (para o banzo superior a colocação se deu pela mesa superior). Para os casos de compressão o ideal é a colocação de chapas simétricas, mas devido às interferências com as ligações a forma aqui mostrada foi a única possível.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Em todo grande equipamento e/ou estrutura, antes da sua entrega e início da utilização é necessário que sejam realizados testes para que se garanta a boa performance do mesmo, sendo esta etapa conhecida como comissionamento, que, segundo o CONFEA – Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, pode ser definido em:

Atividade técnica que consiste em conferir, testar e avaliar o funcionamento de máquinas, equipamentos ou instalações, nos seus componentes ou no conjunto, de forma a permitir ou autorizar o seu uso em condições normais de operação.

Após a recuperação e *retrofit* estrutural era necessário certificar de que os resultados obtidos através da simulação numérica via *software* fosse confiável. Desta forma, realizou-se o teste de carga, onde o carregamento adotado (somente sobrecarga, uma vez que os equipamentos são fixos) foi 50% maior que os valores obtidos para a combinação mais desfavorável.

Nesta etapa (teste da carga) realizou-se a análise das ligações (visual) e das deformações (topografia). No primeiro caso (ligações) não foram encontrados afastamentos dos parafusos em relação ao furo, uma vez que a pintura nestas regiões encontravam-se intactas. Logo, as ligações estavam solicitadas dentro do padrão de segurança. De outra parte, a deformação encontrada no centro da estrutura, medida com laser foi de 110mm (L/327).

De posse de todos os dados obtidos nas etapas anteriores (carregamentos e teste de carga), pode-se afirmar que a estrutura encontra-se segura para absorção dos esforços oriundos dos novos equipamentos, bem como está isenta de patologias causadas pela corrosão e com os elementos estruturais dimensionados em consonância com o atual estado da arte.



4 CONCLUSÃO

Após a realização dos serviços pode-se concluir que:

- um projeto muito bem definido é muito importante, pois isto pode facilitar a manutenção e as futuras intervenções estruturais, sendo que a simples utilização de um *software* não garante qualidade de projeto;
- se deve procurar ao máximo preservar a documentação relativa ao histórico de uma estrutura, desde a sua concepção, registrando todas as intervenções que foram realizadas, com data, tipo, local e razão da mesma;
- independente de tamanho, finalidade e do meio em que se encontra, toda estrutura deve ter um manual de utilização e de manutenção, sendo que neste constará quais são as possibilidades de uso e, no caso de manutenções, devendo ser informada a data da realização da mesma, responsável e motivação para tal;
- a inspeção estrutural deve ser realizada detalhadamente, uma vez que a ausência de deformações não significa que está tudo funcionando normalmente com a estrutura, uma vez que esta pode estar superdimensionada e/ou os esforços atuantes não condizem com a proposta de projeto.
- quando se necessita de reforço e/ou recuperação estrutural, a estrutura metálica fornece diversas possibilidades, com demanda baixa de tempo e de dinheiro;
- quando se trabalha com projetos é de suma importância a elaboração de um *databook*, com todos os dados relativos à estrutura, contendo projetos, alterações e fotografias.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6123/1988 – Cargas devidas ao vento em edificações

ABNT NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

ASTM A36 - *Standard Specification for Carbon Structural Steel*

ASTM A325 - *Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints*

ASTM A490 - *Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi*

Software MCalc3D, versão 5.0 – Stabile, Porto Alegre, RS.