



Contribuição Tecnocientífica ao **Construmetal 2025**
10º Congresso Latino-americano da Construção Metálica
09 de Setembro de 2025, São Paulo - SP, Brasil

Tema: Outros

AVALIAÇÃO MECÂNICA E QUÍMICA DE CANTONEIRAS METÁLICAS EM TORRE AUTOPORTANTE PARA REDUÇÃO DE REFORÇOS

David Marucci Soares¹

Resumo

Este trabalho apresenta a avaliação mecânica e química de cantoneiras metálicas utilizadas em uma torre autoportante treliçada, com o objetivo de identificar o tipo de aço empregado e sua conformidade com as normas técnicas, visando a possibilidade de exclusão ou redução de reforços estruturais. Foram realizadas análises químicas conforme ASTM E415 [3] e ensaios de tração segundo a ABNT NBR ISO 6892-1:2024 [4], com um mínimo de três amostras por tipo de elemento estrutural. Os resultados indicaram que os montantes de reforço atendem às especificações do aço ASTM A572 [2] Grau 50, enquanto os montantes originais apresentam comportamento compatível com o aço ASTM A36 [1]. As diagonais, por sua vez, mostraram resistência intermediária. Com base na caracterização obtida, foi possível reavaliar a necessidade de reforços previstos inicialmente, apontando para uma solução técnica e economicamente mais eficiente.

Palavras-chave: Ensaios Mecânicos; Composição Química; Estruturas Metálicas; Torres Autoportantes

MECHANICAL AND CHEMICAL EVALUATION OF STEEL ANGLE SECTIONS IN A SELF-SUPPORTING TOWER

Abstract

This paper presents the mechanical and chemical evaluation of steel angle sections used in a self-supporting lattice tower, aiming to identify the type of steel applied and verify its compliance with technical standards, enabling the potential elimination or reduction of structural reinforcements. Chemical analyses were performed according to ASTM E415 [3] and tensile tests followed ABNT NBR ISO 6892-1:2024 [4], with a minimum of three samples per structural element type. The results showed that the reinforcement angles meet the ASTM A572 [2] Grade 50 specifications, while the original main angles matched ASTM A36 [1] behavior. The diagonal members exhibited intermediate strength. Based on the obtained characterization, it was possible to reassess the initially proposed reinforcements, pointing to a more technically and economically efficient solution.

Keywords: Mechanical Testing; Chemical Composition; Steel Structures; Self-Supporting Towers

¹ Engenheiro Civil, Especialista em Estruturas Metálicas, Diretor Técnico da Marucci Engenharia, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção e reabilitação de torres autoportantes treliçadas têm ganhado crescente relevância no cenário nacional, especialmente em função da ampla utilização dessas estruturas em sistemas de telecomunicação, transmissão de dados e radiodifusão. No Brasil, a expansão da cobertura de serviços móveis e digitais intensificou a demanda por estruturas capazes de sustentar antenas e equipamentos em posições elevadas, estáveis e seguras. As torres autoportantes são particularmente empregadas em áreas urbanas e semiurbanas, onde a ocupação do solo e as restrições de acesso impõem limites à implantação de estruturas estaiadas.

Historicamente, as torres metálicas autoportantes foram majoritariamente fabricadas com perfis laminados em aço carbono, sendo o ASTM A36 [1] o material mais comum em projetos executados entre as décadas de 1980 e 2000. Com o avanço das normas técnicas e o aprimoramento dos processos produtivos, passou-se a adotar aços de maior resistência mecânica, como o ASTM A572 Grau 50 [2], possibilitando estruturas mais leves e econômicas. Contudo, muitas torres em operação no país permanecem com materiais de resistência desconhecida, especialmente em casos em que não há disponibilidade dos projetos e memoriais de cálculo originais.

A prática coerente recomenda a consideração de parâmetros conservadores na verificação e no dimensionamento de reforços quando a resistência do material não é conhecida, o que pode levar a superdimensionamentos e ao uso desnecessário de materiais. Nesse contexto, uma abordagem técnica de grande valia é a aplicação de ensaios laboratoriais para a caracterização do aço utilizado em estruturas existentes. Tais ensaios permitem obter dados precisos sobre o limite de escoamento, resistência à tração, ductilidade e composição química do material, subsidiando reavaliações estruturais mais aderentes à realidade [4][5].

O caso estudado neste trabalho refere-se a uma torre autoportante com altura superior a 100 metros, destinada à transmissão de sinais de radiodifusão, localizada em região urbana. Devido à necessidade de acréscimo de capacidade de carga, foi solicitado o laudo técnico da estrutura existente, seguido do projeto de reforço. A análise preliminar indicou que a torre, em sua configuração original, não possuía reservas suficientes para suportar o aumento de carregamento previsto. Dessa forma, iniciou-se uma fase de estudos visando à viabilidade de reforço estrutural, tendo como primeira etapa a caracterização dos materiais existentes por meio de ensaios mecânicos e químicos.

Embora a literatura ainda apresente lacunas sobre a aplicação sistemática de ensaios destrutivos em torres autoportantes, há crescente interesse em estudos que abordam a conservação e reabilitação de estruturas metálicas. Quaresma et al. [6] destacam a relevância da manutenção preventiva em estruturas metálicas, com ênfase em inspeções regulares, controle de corrosão e monitoramento contínuo como medidas para prolongar a vida útil e garantir a segurança estrutural de galpões e torres metálicas.

Silva et al. [7] aprofundam a discussão sobre técnicas modernas de conservação, como pintura eletrostática, galvanização e anodização, que, se aplicadas corretamente, podem minimizar a necessidade

de intervenções corretivas e reduzir custos ao longo do ciclo de vida da estrutura. Esses métodos tornam-se ainda mais relevantes em ambientes urbanos e industriais agressivos, como aqueles sujeitos à salinidade ou poluição atmosférica.

Já o trabalho de Leal Júnior e Guterres [8] enfoca o diagnóstico de patologias estruturais comuns em perfis metálicos, incluindo fissuras, flambagens e processos corrosivos avançados. O estudo propõe protocolos sistemáticos para inspeção e classificação da severidade dos danos, fundamentais para a definição de estratégias de recuperação adequadas.

Os três autores convergem quanto à importância de abordagens integradas, combinando monitoramento técnico, análise de desempenho histórico e caracterização laboratorial do material. Em contextos em que a documentação original da estrutura é inexistente ou incompleta, como frequentemente ocorre em torres mais antigas, essas abordagens tornam-se essenciais.

Esses estudos também apontam que a caracterização precisa do material, por meio de ensaios destrutivos ou semidestrutivos, fornece subsídios objetivos para a tomada de decisão sobre reforços, substituições ou readequações estruturais. Isso contribui para intervenções mais assertivas, com menor impacto financeiro e ambiental.

Além disso, os trabalhos ressaltam que, em estruturas elevadas, como torres de telecomunicações, qualquer intervenção deve considerar rigorosamente os aspectos de segurança na execução, logística de acesso, e impacto sobre os sistemas em operação. Nesse sentido, a identificação prévia da real resistência dos elementos estruturais pode evitar reforços desnecessários e reduzir significativamente o tempo de intervenção, o que, em última análise, reduz também os riscos operacionais.

Neste contexto, o presente trabalho visa apresentar os resultados da avaliação mecânica e química de cantoneiras metálicas coletadas na torre em questão, com o objetivo de validar a hipótese de que parte do material corresponde ao aço ASTM A572 Grau 50. Com base nessa caracterização, busca-se demonstrar a viabilidade técnica e econômica de revisão ou eliminação de reforços inicialmente propostos, contribuindo para práticas mais sustentáveis e seguras na engenharia de estruturas metálicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo em questão, foram coletadas nove amostras representativas de três diferentes elementos estruturais da torre: montantes originais (cantoneiras L203x25,4 mm), montantes de reforço (L127x12,7 mm) e diagonais (L102x6,35 mm). A seleção das peças foi realizada com base na análise dos elementos estruturais que apresentariam maior incremento de esforço na condição futura de carregamento, garantindo a representatividade das regiões críticas no contexto do reforço projetado.

As regiões de retirada das amostras foram previamente determinadas com base nas análises estruturais, com o objetivo de não comprometer a integridade global da torre durante os procedimentos de extração e durante o intervalo de tempo até a recomposição. A intervenção foi planejada em conjunto com o setor

de engenharia de campo e acompanhada por profissionais capacitados. As recomposições estruturais foram previstas em projeto específico, e sua execução seguiu rigorosamente as instruções técnicas.

As amostras destinadas aos ensaios mecânicos foram seccionadas com dimensões padronizadas de 220 mm de comprimento por 60 mm de largura, viabilizando a execução dos corpos de prova segundo os requisitos normativos. A Figura 1 mostra o montante original da torre após a remoção da amostra padronizada para os ensaios mecânicos:



Figura 1 – Trecho de remoção da amostra para ensaio mecânico

As cantoneiras que passaram por remoção de amostras para o ensaio mecânico, exigiram recomposição com a instalação de talas metálicas parafusadas na aba das cantoneiras que sofreu intervenção, com dimensionamento conforme a norma ABNT NBR 8800:2024 [9]. A Figura 2 indica o detalhe do projeto de adequação:

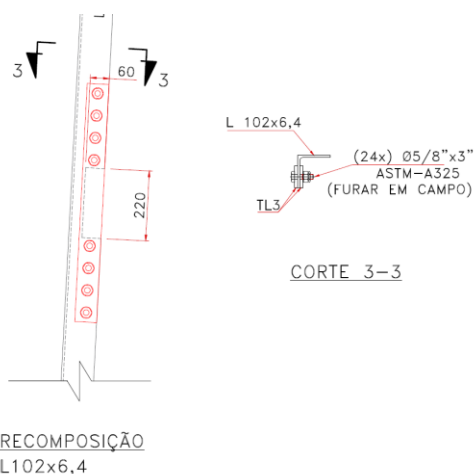


Figura 2 – Projeto de recomposição dos elementos após remoção das amostras para ensaio mecânico

Para a análise química, foram extraídas amostras com serra copo de diâmetro 19 mm. Este processo foi realizado com o auxílio de fluido de corte apropriado e equipamentos operando em baixa rotação, com o intuito de evitar o aumento localizado de temperatura e a possível alteração microestrutural do material base. A Figura 3 mostra o montante de reforço após a remoção da amostra química:



Figura 3 – Trecho de remoção da amostra para ensaio químico

Os procedimentos de corte, tanto para os corpos de prova para ensaios mecânicos quanto para os pontos de amostragem química, foram realizados com cautela, utilizando ferramentas calibradas e monitoramento constante para evitar deformações nas peças remanescentes. Após a coleta, as superfícies afetadas foram pintadas com composto rico em zinco e posterior tinta spray a base de esmalte alquídico, além de serem identificadas.

Todos os ensaios mecânicos foram conduzidos conforme os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 6892-1:2024 [4]. A preparação dos corpos de prova seguiu rigorosamente os critérios de retificação das superfícies e controle dimensional, assegurando simetria e paralelismo nas seções. Durante os ensaios, foram utilizados extensômetros eletrônicos para a medição precisa da deformação longitudinal, aplicando-se carregamento axial monotônico sob taxa de deformação controlada (método B, strain rate control). Os parâmetros obtidos incluíram o limite de escoamento convencional, a resistência máxima à tração, o alongamento total e a estrição da seção após a ruptura.

Os equipamentos utilizados para os ensaios foram certificados por calibração rastreável conforme a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 [3], sendo a máquina de tração dotada de célula de carga compatível com a faixa de esforço esperada para os materiais testados. Os dados obtidos foram registrados digitalmente, com geração de curvas tensão-deformação para cada amostra, permitindo análise gráfica da ductilidade e do regime plástico dos materiais.

A caracterização química foi realizada de acordo com a norma ASTM E415:2017 [5], utilizando o método de espectrometria de emissão óptica por centelha direta (OES). As amostras foram submetidas a limpeza com jato abrasivo e lixamento prévio para eliminação de camadas oxidadas e contaminações superficiais.

A análise identificou os teores de carbono, manganês, silício, fósforo, enxofre e elementos residuais como cromo, níquel e molibdênio. Para maior confiabilidade, cada ponto foi analisado em triplicata, sendo adotada a média aritmética dos resultados.

Todos os resultados obtidos nos ensaios foram organizados em tabelas específicas e comparados com os limites estabelecidos para os aços ASTM A36 [1] e ASTM A572 Grau 50 [2], conforme especificações normativas vigentes. Essa comparação permitiu estabelecer correlações entre o desempenho real das peças avaliadas e os parâmetros normativos, subsidiando tecnicamente a decisão quanto à manutenção ou modificação do plano de reforço originalmente proposto. Os resultados também foram utilizados para atualizar os modelos de cálculo estrutural, com base em propriedades mecânicas representativas do material efetivamente utilizado na torre.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos confirmaram diferenças significativas entre os tipos de cantoneiras analisadas. A Tabela 1 apresenta os dados individuais obtidos nos ensaios mecânicos e químicos das nove amostras testadas.

Código	Elemento	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Alongamento (%)	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
1A	Montante Original	304	507	30,0	0,15	1,21	0,018	0,024
2A	Montante Original	299	500	28,5	0,18	1,22	0,015	0,023
3A	Montante Original	313	499	29,0	0,16	1,23	0,015	0,019
1B	Montante Reforço	362	503	27,0	0,14	0,60	0,012	0,029
2B	Montante Reforço	355	494	24,5	0,16	0,55	0,012	0,029
3B	Montante Reforço	361	503	25,0	0,13	0,55	0,012	0,030
1C	Diagonal	224	482	26,5	0,18	0,77	0,018	0,022
2C	Diagonal	260	494	26,0	0,19	0,82	0,032	0,023
3C	Diagonal	235	498	27,5	0,19	0,81	0,032	0,025

Tabela 1 – Resultados encontrados nos ensaios mecânicos e químicos

Em comparação aos valores normativos, os montantes de reforço apresentaram limites de escoamento acima de 345 MPa, valor exigido para o aço ASTM A572 Grau 50 [2], confirmando compatibilidade com esse material. Já os montantes originais apresentaram valores médios entre 299 e 313 MPa, alinhados com o aço ASTM A36 [1], cujo limite mínimo é de 250 MPa.

A Tabela 2 permite verificar que todos os elementos ensaiados atenderam, em maior ou menor grau, aos limites estipulados pelas normas ASTM A36 [1] e A572 Grau 50 [2], considerando as propriedades mecânicas e químicas máximas e mínimas exigidas. Essa comparação direta foi essencial para a correta classificação do material e para a definição de intervenções estruturais localizadas.

Propriedade	ASTM A36	ASTM A572 Grau 50
Limite de Escoamento	≥ 250 MPa	≥ 345 MPa
Resistência à Tração	400–550 MPa	450–650 MPa
Alongamento mínimo (%)	20–22	18–21
C (máx.)	0,26%	0,23%
Mn (mín.)	0,60%	0,50%
P (máx.)	0,04%	0,035%
S (máx.)	0,05%	0,040%

Tabela 2 – Propriedades químicas e mecânicas conforme as normas ASTM

As diagonais apresentaram comportamento intermediário, com valores de escoamento entre 224 e 260 MPa. Embora parte das amostras se aproxime do limite do ASTM A36, algumas indicam resistência abaixo do padrão, exigindo cautela em seu reaproveitamento estrutural.

Do ponto de vista químico, os montantes de reforço exibiram baixos teores de carbono (0,13 a 0,16%) e enxofre (0,029 a 0,030%), compatíveis com o perfil de aços de baixa liga de alta resistência, como o A572 Grau 50 [2]. Os montantes originais, por sua vez, apresentaram altos teores de manganês (acima de 1,2%), característica frequente em aços carbono destinados a aplicações estruturais de boa ductilidade.

As curvas obtidas nos ensaios mostraram comportamento típico dos aços laminados estruturais, com regiões bem definidas de escoamento, endurecimento por encruamento e ruptura. O alongamento médio acima de 24% em todas as amostras reforça a ductilidade dos materiais e sua aptidão para regime plástico em situações de sobrecarga.

A validação da composição química também foi essencial para excluir a presença de elementos prejudiciais à soldabilidade, como enxofre em excesso. Nenhuma das amostras superou os limites especificados pelas normas para os aços avaliados.

Com base nesses resultados, foi possível atualizar os modelos computacionais de análise estrutural com valores de resistência mais realistas, o que resultou em redução significativa dos perfis inicialmente previstos para o reforço.

A identificação do material como ASTM A572 Grau 50 [2] nos montantes de reforço permitiu eliminar o uso de perfis adicionais em diversos trechos da torre. Essa medida representa não apenas uma economia de material e tempo, mas também menor interferência operacional na estrutura.

Por fim, os dados obtidos oferecem base segura para a continuidade do projeto de reforço da torre, evidenciando a importância dos ensaios mecânicos e químicos na tomada de decisão em obras de reabilitação estrutural.

Adicionalmente, observou-se que as amostras dos montantes de reforço apresentaram menor dispersão entre os valores de escoamento e resistência à tração, indicando maior uniformidade do lote. Essa homogeneidade é desejável, pois reduz incertezas no comportamento global da estrutura e permite adoção de critérios mais racionais no dimensionamento.

Já os montantes originais, embora atendam ao ASTM A36 [1], apresentaram uma leve dispersão nos resultados, o que pode estar relacionado a variações no processo produtivo à época da fabricação. Esse fator foi considerado na reanálise estrutural destes elementos.

As diferenças entre os elementos também se manifestaram na estricção observada após os ensaios, não detalhada nas tabelas, mas com valores consistentemente acima de 50%, indicando elevado grau de ductilidade.

Com relação às diagonais, é importante destacar que, apesar de algumas amostras apresentarem limite de escoamento inferior ao desejável, a resistência à tração foi satisfatória, e os teores de impurezas mantiveram-se dentro de limites normativos. Assim, a análise estrutural manteve as propriedades mecânicas conforme ASTM A36 [1].

A economia gerada pela redução de perfis e pela manutenção parcial da estrutura existente foi estimada em aproximadamente 18% no custo direto dos materiais. Essa redução tem impacto direto no cronograma da obra, na logística de montagem e na necessidade de interrupção do funcionamento da torre.

Outro aspecto relevante é a sustentabilidade: a menor intervenção estrutural reduz a emissão de CO₂ associada à produção de novos perfis metálicos, o que está alinhado com diretrizes internacionais de construção consciente.

A execução dos ensaios também evidenciou a importância da metodologia adotada para coleta de amostras, com um impacto controlado na estrutura e elevado controle de qualidade. Tal abordagem deve ser replicada em outras inspeções de estruturas metálicas existentes.

Em resumo, os ensaios realizados foram decisivos para o redirecionamento da estratégia de reforço. A compreensão aprofundada das propriedades dos materiais permitiu uma abordagem técnica mais eficiente, segura e econômica para a extensão da vida útil da torre.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a importância da caracterização mecânica e química de materiais estruturais em torres autoportantes existentes como estratégia para otimização de reforços. Frente à necessidade de aumento de capacidade de carga da torre avaliada, a realização dos ensaios permitiu identificar diferentes patamares de resistência entre os elementos estruturais, com destaque para os montantes de reforço, compatíveis com o aço ASTM A572 Grau 50 [2].

A metodologia aplicada, com remoção de amostras em pontos estrategicamente definidos e posterior recomposição segundo projeto, demonstrou-se eficaz e segura, possibilitando a obtenção de dados confiáveis sem comprometer a integridade estrutural. Tal procedimento pode ser replicado em outros contextos de reabilitação estrutural com igual sucesso.

A interpretação dos resultados, com base em normas internacionais reconhecidas, como ASTM A36 [1], ASTM A572 [2] e ASTM E415 [5], embasou tecnicamente a decisão de revisar o projeto de reforço, reduzindo a necessidade de perfis adicionais e otimizando a solução estrutural.

Entre os benefícios observados, destacam-se a economia de material, a redução do impacto ambiental da obra e a diminuição no tempo de execução. Além disso, a abordagem adotada amplia o horizonte de aplicação de ensaios destrutivos/semi destrutivos e de caracterização localizada para obras existentes.

O estudo também evidenciou que muitas estruturas antigas possuem desempenho superior ao previsto em projeto, o que reforça a necessidade de diagnósticos individualizados antes de se adotar reforços padronizados ou conservadores. Essa constatação é especialmente relevante para estruturas singulares, como torres treliçadas com mais de 100 metros de altura.

Ressalta-se ainda o papel fundamental da equipe de campo na execução dos ensaios, uma vez que a coleta cuidadosa das amostras evitou elevações térmicas, trincas ou danos colaterais que poderiam comprometer o desempenho da torre ou comprometimento das amostras.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que projetos de reforço em estruturas existentes considerem, sempre que possível, a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos para fundamentar suas decisões. Isso representa um ganho em segurança, economia e sustentabilidade.

Adicionalmente, destaca-se que os custos envolvidos na coleta das amostras e na realização dos ensaios, bem como os prazos para execução dessas etapas, são consideráveis. Dessa forma, a viabilidade econômica da caracterização do material deve ser cuidadosamente analisada caso a caso. Para torres de menor porte, ou situações em que os reforços previstos sejam pouco significativos, esse tipo de investigação pode não se justificar economicamente. No entanto, para estruturas de grande altura e elevado grau de solicitação, como é o caso tratado neste estudo, os benefícios decorrentes da redução de reforços e otimização da solução estrutural são expressivos e justificam plenamente o investimento.

Por fim, conclui-se que a abordagem adotada neste trabalho pode ser tomada como referência para estudos futuros, tanto em torres de telecomunicação quanto em outras tipologias de estruturas metálicas de grande porte que demandem avaliação de desempenho para extensão de vida útil ou aumento de capacidade.

REFERÊNCIAS

[1] ASTM International. ASTM A36/A36M-19 – Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken, PA, USA, 2019.

[2] ASTM International. ASTM A572/A572M-21 – Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel. West Conshohocken, PA, USA, 2021.

[3] ASTM International. ASTM E415-17 – Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry. West Conshohocken, PA, USA, 2017.

[4] ABNT. ABNT NBR ISO 6892-1:2024 – Materiais metálicos – Ensaio de tração – Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.

[5] ABNT. ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

[6] Quaresma, J. E.; Florian, F.; Ricco, M. C. "A importância da manutenção periódica em estruturas metálicas visando garantir a segurança e durabilidade", RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar, Novembro 2024. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/376606838_A_IMPORTANCIA_DA_MANUTENCAO_PERIODICA

[7] Silva, B. Q. Dantas et al. "Estudo da aplicação de técnicas de conservação em estruturas metálicas", Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, Vol. 8, Ed. 8, p. 160–179, Agosto 2022. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/tecnicas-de-conservacao>

[8] Jerry A. Leal Júnior; Paulo R. C. Guterres. "Estudo das patologias em estruturas metálicas", monografia UFU, 2022. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37483/1/EstudoPatologiasEstrutura.pdf>

[9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.