

Viabilidade da madeira de reflorestamento *Corymbia citriodora* como alternativa à madeira de Lei na Reforma Estrutural de uma torre de resfriamento

Feasibility of reforestation wood Corymbia citriodora as an alternative to high-density hardwood in the structural reform of a cooling tower

Wagner Henrique Saldanha 

Petrobras, Rio de Janeiro-Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: wagnerhs@petrobras.com.br

**Elbert Fernando Martins
Coelho** 

Petrobras, Rio de Janeiro-Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: elbertfmc@petrobras.com.br

Vinicius Santos Lima 

Petrobras, Rio de Janeiro-Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: viniussl@petrobras.com.br

Thiago Rafael de Oliveira



Petrobras, Rio de Janeiro-Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: thiagorafael@petrobras.com.br

Palavras-chave:

Torres de resfriamento.
Madeira de lei.
Madeira de reflorestamento.

Keywords:

Cooling towers.
High-density Hardwood.
Reforestation wood.

Recebido:

17 de agosto de 2024

Aceito para publicação:

13 de agosto de 2025

Publicado:

29 de setembro de 2025

<https://doi.org/10.70369/txspvm07>



RESUMO

Uma Torre de Resfriamento é um equipamento usado para reduzir a temperatura da água quente ou fluidos de resfriamento que passam através dela, sendo usada em processos industriais ou sistemas de ar-condicionado. Alguns dos materiais usados na construção das estruturas de torres de resfriamento incluem aço carbono, aço inoxidável, polímeros reforçados com fibra de vidro, madeira de lei e concreto armado. Ainda existe uma lacuna na literatura em relação ao uso desses materiais em termos dos aspectos de reforma estrutural das torres, ou até mesmo que apresente estudos de casos reais, o que acaba impedindo a criação de um direcionamento ou conjunto de boas práticas que possam auxiliar os profissionais envolvidos nas atividades desse tipo de equipamento. Esse trabalho tem o objetivo de abordar alguns aspectos relacionados ao uso de madeira de reflorestamento em substituição das madeiras de lei em um projeto de torres de resfriamento a partir do conhecimento adquirido em um problema real.

ABSTRACT

A Cooling Tower is equipment used to reduce the temperature of hot water or cooling fluids that pass through it, being used in industrial processes or air conditioning systems. Some of the materials used in the construction of heating tower structures include carbon steel, stainless steel, fiberglass-reinforced polymers, hardwood and reinforced concrete. There is still a gap in the literature regarding the use of these materials in terms of tower structural renovations, or even presenting real-world case studies, which ultimately prevents the creation of guidelines or a set of best practices that can assist professionals involved in these types of equipment. This work aims to address some aspects related to the use of reforested wood as a replacement for hardwood in a cooling tower project, based on knowledge gained from a real-world problem.

1 INTRODUÇÃO

Conforme Costa (2023) torres de resfriamento evaporativa são equipamentos utilizados para resfriar a água de processos industriais, por transferência de calor para o meio ambiente. A água quente a ser resfriada é bombeada para a parte superior da torre e distribuída em forma de gotas ou *spray* através de difusores, enquanto essa água cai por gravidade, uma corrente de ar frio que entra na torre por ação natural ou mecânica faz com que ocorra a troca térmica e parte dessa água seja evaporada, desse modo a temperatura da água é diminuída e retorna para bacia com destino ao processo.

Vinha (2010) cita que as indústrias com processos químicos exotérmicos utilizam torres de resfriamento, por exemplo, refinarias de petróleo, usinas de energia, fábricas químicas, indústrias de processamento de alimentos e em sistemas de ar-condicionado de edifícios comerciais e residenciais de grande porte.

Em instalações industriais muitas das vezes as estruturas são antigas e grandes, e periodicamente necessitam de manutenções programadas. Entre as principais causas da necessidade de manutenção de uma torre se destacam a perda da espessura dos componentes estruturais, desempenho térmico afetado por quebra e dano nos recheios e distribuidores e vibração anormal dos ventiladores que promovem a convecção forçada do ar.

No caso de torres de resfriamento projetadas e construídas com estruturas de madeiras de lei, a perda de espessura torna-se preocupante, pois se tem a perda de resistência mecânica e na literatura é difícil encontrar uma referência para uma porcentagem admissível de perda de espessura para esses casos. Logo a solução é a reforma estrutural, com a parada da célula que necessita de reparo naquele momento, para substituição das madeiras danificadas.

Pensando em alternativas sustentáveis surge-se a proposta de usar alguma madeira de reflorestamento para realizar a reforma estrutural de uma torre de resfriamento projetada e construída com madeira de lei. Essa foi uma escolha mais adequada, pois seria possível usar os mesmos tipos de perfis de projeto e as mesmas ligações. Assim, ressalta-se que esse estudo fica restrito essa condição.

Um dos maiores complicadores para substituição das madeiras de lei em primeiro momento se dá em relação a resistência mecânica e durabilidade da madeira visando manter a disponibilidade do equipamento e em um segundo momento foi com relação a conseguir fornecedor das peças de madeira de reflorestamento visto que a perda durante a fabricação (corte nas medidas de projeto) é grande, o que torna pouco atrativo.

2 OBJETIVO

Neste trabalho o objetivo é relatar a proposta de usar a madeira de reflorestamento *Corymbia Citriodora* em substituição ao uso de madeira de lei na reforma estrutural de uma torre de resfriamento.

3 TORRES DE RESFRIAMENTO COM ESTRUTURAS EM MADEIRA DE LEI

Segundo Carneiro (2022), as primeiras torres de resfriamento eram construídas com estruturas de

madeira do tipo *Red Wood* de florestas renováveis, com massa específica em torno de 700 Kg/m^3 , parecida com o pinheiro brasileiro (*Araucária*). Ainda conforme Carneiro (2022) no Brasil, por falta de madeira similar, foram empregadas no passado madeiras de lei, como a peroba-rosa, ipê, maçaranduba, e cumaru, pois a exigência técnica principal era a de que tivessem massa específica em torno de 1.100 Kg/m^3 .

No caso em estudo, o projeto original da torre foi concebido em madeira *Aspidosperma polyneuron* (Peroba Rosa), porém, historicamente as manutenções da torre foram realizadas com a compra pelo nome comercial de Paraju, legalmente autorizada pelo IBAMA e com o documento de origem florestal válido. Esse Paraju tem propriedades equivalentes a Peroba Rosa, sendo ambas em madeira de lei. Na foto 1 verifica-se um exemplo de peça com início de dano na madeira e marcada para substituição.

Ainda existe uma carência de técnicas para inspeção de madeiras de estruturas de torre de resfriamento. Uma delas, mas que ainda precisa de certo desenvolvimento seria o uso da ferramenta de ultrassom (DE MELO TELES, 2002; VAN DIJK, 2014). Além disso, não se observam estudos de casos ou informações na literatura que prescrevem o reparo de estruturas de torres de madeira com adição de materiais cujo objetivo é restabelecer a massa perdida durante o processo de degradação.

Foto 1. Madeira marcada para substituição.



Fonte: AUTOR, 2023.

4 REFORMA DE TORRES DE RESRIAMENTO COM MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO

Tendo em vista a sustentabilidade florestal é necessário buscar alternativas para o uso da madeira de lei. Entre as opções pode-se citar o uso de polímero reforçado com fibra de vidro e madeiras de reflorestamento. Contudo não se encontra na literatura estudos de caso em que se usou madeiras de reflorestamento em estruturas de torres de resfriamento.

Araujo e Magalhães (2012) realizaram estudos de substituição de madeira de lei por madeira de reflorestamento. Eles avaliaram a durabilidade da madeira de reflorestamento em contato com o solo, porém, a aplicação em contato com o solo não reproduz as condições de madeira expostas a água de resfriamento.

Não se pode usar diretamente o estudo da madeira de reflorestamento em contato com o solo como referência para madeiras de lei porque os ambientes são técnica e biologicamente diferentes. A madeira em contato com o solo sofre o ataque de fungos e cupins subterrâneos, a madeira na torre de resfriamento está sujeita a vapores, variações térmicas, fungos termofílicos e produtos químicos como biocidas e anti-incrustantes. Madeiras em contato com o solo as exigências mecânicas são menores, em contraste com as madeiras de torre de resfriamento que precisam resistir mecanicamente a tração, flexão. E o tratamento preservativo da madeira usado no solo pode não ser aprovado para uso em torres ou se deteriorar rápido em contato com água aquecida e tratada quimicamente.

Buscando-se melhores condições de sustentabilidade florestal na reforma estrutural de torres de resfriamento foi indicado o uso da madeira de reflorestamento *Corymbia Citriodora* tratada com soluções de sais de cromo, cobre e arsênico (CCA), em autoclave sob 14 atm de pressão e retenção mínima de 9,6 kg de ingrediente ativo por metro cúbico de madeira. Outra possibilidade de madeira seria a espécie *Eucalyptus Cloeziana* (ALVES, OLIVEIRA, CARRASCO, 2017), também tratada, isso devidos as características de densidade da *Eucalyptus Cloeziana*. Porém, a mesma só foi avaliada na literatura em termos de densidade, para seu uso seria necessário certificar que a mesma passaria no cálculo estrutural.

Inicialmente, percebeu-se a dificuldade em conseguir fornecedores para adquirir a madeira *Corymbia Citriodora* cortada nas dimensões de projeto e também tratada conforme especificado. A maioria dos fornecedores alegava desinteresse no corte, pois seu negócio é a venda das toras de madeira para estruturas. Mas apesar da dificuldade, conseguiu-se fornecedor e iniciou-se a reforma da torre. Na Foto 2 é possível observar a reforma do pisos e na Foto 3 verifica-se a reforma da estrutura com o uso da madeira *Corymbia Citriodora* tratada.

Foto 2. Reforma dos pisos com madeira *Corymbia Citriodora* tratada



Fonte: AUTOR, 2023.

É importante destacar que antes do uso da madeira de reflorestamento tratada é fundamental que se exija certificado da madeira indicando a sua espécie, sua origem e suas propriedades físicas, além do certificado do tratamento realizado. Também é necessário enviar amostras para um laboratório especializado em ensaios destrutivos de madeira para a verificação dos valores das propriedades mecânicas, as quais devem estar de acordo com os valores considerados no dimensionamento estrutural, e de preferência enviar amostras suficientes para realizar um estudo estatístico das propriedades da madeira que foi comprada.

Contudo, vale mencionar que além da dificuldade em termos da pouca quantidade de fornecedores, há outro inconveniente ao se considerar sistemas estruturais de madeira de reflorestamento, que seria o pequeno intervalo de tempo recomendado entre inspeções, o que leva ao aumento das paradas para realização das atividades de correção. Até que seja consolidado o uso, é necessário avaliar a estrutura com madeiras *Corymbia Citriodora* com maior frequência que a madeira de lei, para que se chegue a estimativas de tempo de degradação da mesma, observando que esse tempo também pode mudar, dependendo das condições operacionais da torre e ao tipo de tratamento que a água está sendo submetida.

Outra desvantagem da madeira *Corymbia Citriodora* é o seu corte, algumas peças chegam quebradiças e/ou empenadas, e infelizmente, isso impede que a mesma seja utilizada na reforma.

Foto 3. Reforma da estrutura com madeira *Corymbia Citriodora* tratada



Fonte: AUTOR, 2023.

5 REFORMA DE TORRES DE RESFRIAMENTO COM POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

Perfis de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) são fabricados a partir do processo de pultrusão. No Brasil, a maioria dos fornecedores tem em seu portfólio peças para estruturas leves, o que dificulta o acesso completo a perfis nas dimensões necessárias às reformas de torres de resfriamento E as

informações de dimensão, resistência mecânica e estimativa de vida não são dados fáceis de se encontrar, inclusive com os próprios fabricantes.

Normalmente não é usual a mistura de matérias de origem polimérica e madeira em estrutura deste tipo de equipamento. Até mesmo pela complexidade no modelamento estrutural, avaliação do comportamento e a dificuldade para garantir uma fixação adequada entre os componentes, visto isso, foi necessário optar por um material similar, no caso a madeira de reflorestamento por questões ambientais e por requisitos técnicos.

Foi levantado a opção de substituição integral do equipamento para material de PRFV mas o custo de aquisição, tempo de fornecimento e a necessidade de um reprojeto total da estrutura foram restrições encontradas.

Com base na expectativa de vida útil do perfil de plástico reforçado com fibra de vidro serem maiores que as das madeiras na aplicação em torres de resfriamento, também é necessário um estudo de consultoria, em que considere toda a estrutura de madeira sendo substituída por PRFV, sendo que o estudo também deve validar os materiais para reformar apenas uma célula de forma independente.

6 CONCLUSÃO

No cenário atual já não é mais usual a fabricação de torres de madeira de lei, mas como ainda existem em operação algumas temos a necessidade de mesmo com limitações tentarmos sempre otimizar e inovar as atividades de manutenção/reforma garantindo segurança operacional aliada aos requisitos ambientais. A manutenção deste equipamento é complexa devido a necessidade de mão de obra especializada no trabalho com madeiras, aos esforços constantes que age na estrutura e visto isso a madeira *Corymbia Citriodora* tratada quimicamente vem apresentando um resultado satisfatório e visualizando as questões de manutenção não houve necessidade de mudanças no processo de trabalho para uso da madeira de reflorestamento na reforma da torre de resfriamento.

Assim ampliar essa discussão e implementar novas soluções é fundamental, pois a divulgação das informações estimulará o desenvolvimento de pesquisas e também do mercado, e assim criará uma infraestrutura capaz de preencher a lacuna atualmente existente.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. C.; OLIVEIRA, A. L. C.; CARRASCO, E. V. M. Propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

ARAUJO, H. J. B. de; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 49-58, 2012.

COSTA, R. J. P. **Otimização de sistemas de refrigeração industrial com recurso a torres de refrigeração**. 2023. Tese de Doutorado.

CARNEIRO, P. W. G. **Artigo técnico – Reforma de torres de resfriamento exige capacitação tecnológica.** Petróleo e Energia. Disponível em:< <https://www.petroleoenergia.com.br/artigo-tecnico-reforma-de-torres-de-resfriamento-exige-capacitacao-tecnologica/>> Acesso em: 20 abril 2022.

TELES, C. D. de Melo **Estruturas de madeira: proposta de metodologia de inspeção e correlação da velocidade ultra-sônica com o dano por cupins.** 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

VAN DIJK, R. **Associação de métodos não destrutivos para inspeção de estruturas de madeira.** 2014. Tese de Doutorado.

VINHA, João Celso Rosa da. **Sistema de Torre de Refrigeração.** 2010. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.