

# Avaliação Estrutural da Torre de Madeira do Monte Sião, Localizada no Município de Itacoatiara – AM

*Levi D'Araújo Nogueira<sup>1</sup>*  
*Wagner Queiroz Silva<sup>2</sup>*

## Resumo

---

Na Amazônia, em razão da vocação natural para construções em madeira, a aplicação desse material para produção de estruturas em geral sempre foi bastante comum, o que se observa em diversas comunidades no interior do estado do Amazonas. No entanto, observa-se que há uma expressiva quantidade de construções executadas sem acompanhamento técnico de engenheiros devidamente habilitados. Nesse contexto, busca-se analisar uma estrutura de madeira de cinco pavimentos, construída no início da década de 90 no município de Itacoatiara/AM e mantida em uso até os dias de hoje, a fim de identificar patologias presentes na edificação, simular os seus possíveis impactos no comportamento mecânico da estrutura e propor ações para a recuperação e manutenção da torre. Foi realizada uma verificação da segurança estrutural considerando a norma brasileira de projeto de estruturas de madeira, NBR 7190. Os resultados serviram de base para a proposição de um projeto de recuperação dos elementos estruturais da torre, buscando assim a manutenção do partido arquitetônico e desse registro histórico de uma construção local que se destaca pelo porte.

**Palavras-chave:** Estrutura de madeira; Patologia e recuperação de estruturas; Amazônia.

---

## 1 Introdução

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos utilizados pelo homem. Sua disponibilidade na natureza e o fácil acesso a este, aliados à facilidade de manuseio para criação de peças e montagem de estruturas contribuíram para o emprego difundido desse material.

É predominante na Amazônia a utilização da madeira como material de construção, principalmente nas áreas mais afastadas dos centros urbanos, onde sua abundância, as características das construções locais e as peculiaridades logísticas da região tornam as soluções em madeira as mais viáveis do ponto de vista técnico e econômico.

Devido à origem vegetal (orgânica) e características singulares, a madeira, quando utilizada como material de construção, requer cuidados especiais a fim de se evitar o desgaste prematuro da estrutura (FARIA, 2009). Quando não há o tratamento adequado para a proteção das peças de madeira, dependendo das condições climáticas e ambientais locais, pode haver o aparecimento de manifestações patológicas que degradam a madeira. Fatores como insolação, umidade e temperatura desempenham papel determinante no aparecimento e proliferação dessas anomalias (BRITO, 2014).

Para que se possa garantir a segurança estrutural, é preciso identificar as causas das manifestações para assim eliminar seu desenvolvimento e restaurar possíveis peças afetadas (VITORIO, 2003).

A estrutura objeto de estudo deste trabalho se diferencia devido à sua arquitetura singular e porte, com altura de aproximadamente 20 m, o que a destaca das construções presentes na região. Atualmente a construção exibe uma série de sinais patológicos que trazem preocupações quanto a integridade estrutural da torre. Nesse sentido, o presente trabalho busca analisar e propor soluções para essas patologias encontradas a fim de garantir a saúde da estrutura, buscando assim contribuir com o aumento de sua vida útil, do desempenho e da segurança de seus usuários.

## 2 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido basicamente em três etapas, sendo estas: um levantamento em campo, análises computacionais seguidas do desenvolvimento de um projeto de intervenção.

Para a realização do trabalho de campo foram realizadas visitas ao local visando identificar dados técnicos, além dos aspectos gerais da edificação, o seu

---

<sup>1</sup> Engenheiro Civil formado pela UFAM / [nogueira.civileng@gmail.com](mailto:nogueira.civileng@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor / UFAM / Departamento de Engenharia Civil / [wqs@ufam.edu.br](mailto:wqs@ufam.edu.br)

estado de conservação e levantar ainda informações sobre o processo construtivo, materiais empregados e pessoal envolvido na construção, uma vez que não há documentação técnica. Também foram realizadas medições das peças estruturais dos alicerces e dos pavimentos. Em todas as etapas do levantamento de campo, utilizaram-se trenas eletrônicas, trenas e fitas métricas, câmeras fotográficas, além de outros materiais de apoio.

A segunda etapa consistiu em uma modelagem computacional da estrutura de madeira. Nas análises computacionais, fez-se o uso de *softwares* para a produção de desenhos, com a geração de modelos geométricos da estrutura. Em seguida, esse modelo geométrico foi inserido em outro *software* para a análise estrutural de pórticos espaciais por meio do método de elementos finitos.

Com base nos resultados, foi então elaborada uma proposta de intervenção focada principalmente nas patologias encontradas, no grau de comprometimento da função estrutural das peças, além de considerar as técnicas e recursos disponíveis na região.

Buscou-se primeiramente propor intervenções que garantam a eliminação das causas que originaram as patologias encontradas, visando assim impedir a propagação e retorno desses problemas. Posteriormente, seguiu-se com o estudo de técnicas para a extinção das patologias existentes, considerando o tipo adequado de tratamento para cada caso. E por fim, determinou-se as ações necessárias para recuperação das peças mais degradadas.

## 3 Desenvolvimento

### 3.1 Informações sobre a edificação

A edificação está localizada no sítio Monte Sião, próximo à Vila de Lindóia, no município de Itacoatiara, a aproximadamente 180 km de Manaus, ambos no Estado do Amazonas. O Monte Sião é um terreno de propriedade da Igreja Presbiteriana de Manaus e é utilizado para retiros e acampamentos em alguns períodos no ano. A Torre, como é conhecida a edificação, é, portanto, utilizada como dormitório nos períodos de eventos (IDPB, 2021).

A construção da Torre ocorreu em meados da década de 90, entre os anos de 1994 e 1996. A Torre foi concebida toda em madeira, com ligações por parafusos de aço e cobertura de palha. Contudo, devido à baixa durabilidade da cobertura de palha, esta foi substituída posteriormente, por telhas de zinco. A Figura 1 exhibe a situação atual da estrutura da Torre.



Figura 1 – Torre do Monte Sião, Itacoatiara/AM.

A edificação tem cinco pavimentos. Do primeiro ao quarto andar, os espaços são compostos por suítes (quarto mais banheiro), uma para cada andar. Cada suíte tem aproximadamente 26 m<sup>2</sup> de área, além da varanda. O quinto e último pavimento é aberto e conta com instalações de banheiro de mesmas características dos pavimentos inferiores.

Com relação às espécies de madeira empregadas na construção dessa estrutura, tem-se encontrar três diferentes tipos: peças de madeira Acariquara (*Minquartiaguianensis*), peças em Jatobá (*Hymenaeacourbaril*) e peças de madeira Pequiá (*Caryocarvillosum*).

Empregada exclusivamente nos pilares da estrutura estudada, a Acariquara é considerada uma madeira de lei e é encontrada em toda região Amazônica. De resistência elevada às solicitações mecânicas e ao ataque de fungos e xilófagos, a Acariquara costuma ser empregada na construção civil para fins estruturais de um modo geral (GONZAGA, 2006).

A madeira Jatobá, empregada na construção civil principalmente como viga estrutural, possui alta resistência mecânica e alta estabilidade, e pode ser encontrada em diversas regiões do país, incluindo a Amazônia (GONZAGA, 2006). É a madeira utilizada no vigamento da estrutura da torre, e nos assoalhos.

Elementos não estruturais, como guarda-corpo, paredes e corrimão foram feitos em madeira de diversas

espécies, entre elas a Pequiá. Segundo Gonzaga (2006), essa é uma madeira de lei encontrada desde a floresta Amazônica até o Mato Grosso do Sul. Por ser altamente resistente à ataques biológicos, é bastante empregada em estruturas externas e como assoalho.

A solução estrutural adotada para a construção da torre conta com os componentes a seguir relacionados:

**Pilares inclinados:** Tais pilares estão localizados na parte externa do edifício sendo três em cada um dos quatro vértices da torre e 12 no total. São as peças de maior comprimento da estrutura, atingindo valores entre 9,50 m e 9,80 m. São de madeira Acariquara e vão desde o bloco de fundações de concreto até o topo do terceiro pavimento, como mostra a Figura 2, onde se ligam ao pilar vertical da estrutura principal por meio de parafusos simples. O diâmetro médio dessas peças é de 12,9 cm.



**Figura 2 – Pilares inclinados e principais.**

**Pilares principais:** são os componentes principais de transmissão das cargas atuantes na estrutura. De madeira Acariquara, inicia nos blocos de fundações e seguem verticalmente até o topo do quinto pavimento. As peças são ligadas a partir de parafusos simples. Os diâmetros das peças utilizadas variam de acordo com o pavimento, sendo maiores nos pavimentos inferiores, a fim de suportar uma carga mais elevada (Figura 2).

**Vigas principais:** as vigas principais fazem a distribuição dos esforços verticais dos assoalhos para os pilares. São em madeira Jatobá maciça, com seção transversal retangular de 5 cm x 15 cm. Atuam no suporte de todos os pavimentos e do sótão. Se ligam aos pilares por meio de parafusos simples. A Figura 3 mostra umas das vigas do primeiro pavimento.

- **Assoalho:** é estrutura do pavimento, também em madeira Jatobá, é responsável por transferir as cargas de uso para as vigas das estruturas principais (ver Figura 3). As peças têm seção transversal irregular, sendo

identificada uma seção retangular média de 3 cm x 10 cm. As tábuas são ligadas as vigas por meio de pregos.



**Figura 3 – Vigas principais e assoalho de madeira.**

Em relação aos tipos de ligações utilizados na estrutura, para as conexões entre vigas e pilares, e nas emendas de pilares, observou-se o emprego de parafusos simples, conforme mostram as Figuras 4 e 5. Para as ligações entre as tábuas do assoalho e o vigamento são utilizados pregos.



**Figura 4 – Ligação viga-pilar.**



**Figura 5 – Emenda de pilar.**

A cobertura principal da estrutura tem uma forma interessante de tronco de cone e é formada por círculos

circunscritos e suportes radiais, conforme mostra a Figura 6. Foi inicialmente concebida em cobertura com talhamento de palha, mas devido as dificuldades de manutenção e baixa durabilidade das palhas naturais, optou-se pela substituição por telhas de zinco após alguns anos de uso da construção. A cobertura se apoia nas vigas superiores do quinto pavimento por meio de uma estrutura de distribuição e a partir de pilares inclinados que se ligam aos pilares principais da edificação já na altura do terceiro pavimento.



Figura 6 – Estrutura da cobertura.

É importante observar que, conforme levantado junto aos moradores da região, a construção não tem registros de projetos ou de qualquer desenho técnico. Assim, somente com as medições e levantamentos realizados em campo, foi possível desenvolver os desenhos técnicos relativos ao sistema estrutural. A seguir apresenta-se a planta de locação dos pilares que foi gerada nesse trabalho para o plano base da estrutura da torre.

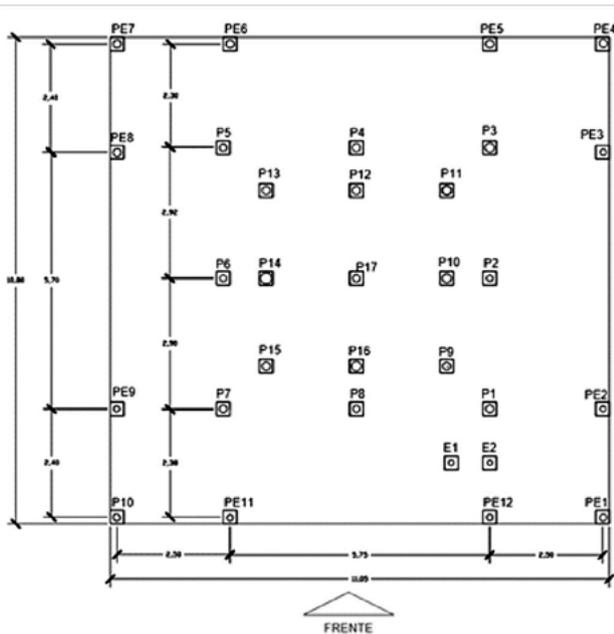


Figura 7 – Planta de locação dos pilares (medidas em metros).

### 3.2 Diagnóstico das patologias

Para a identificação e caracterização das patologias presentes na estrutura, foram realizadas duas diferentes vistorias. A primeira teve ênfase na avaliação geral da estrutura em relação às manifestações patológicas existentes e grau de degradação das peças estruturais. Na segunda, uma análise mais detalhada foi realizada a fim de identificar as causas de origem das manifestações, para assim propor soluções sistêmicas à resolução dos problemas identificados.

### 3.3 Situação dos pilares inclinados

A análise começou a partir dos pilares inclinados externos. Percebe-se que estes atuam principalmente na absorção e distribuição das solicitações impostas pelo vento, ou seja, funcionam como estrutura de contraventamento global da torre. Além da função estrutural, percebe-se que os pilares inclinados são componentes importantes da composição arquitetônica do edifício.

Por serem inclinados para fora da estrutura, parte desses pilares fica externa e, conseqüentemente, mais exposta às intempéries, como chuvas, insolação, ventos, entre outros. Esses fatores propiciam ambiente ideal para ataques biológicos. Observa-se que quando há infestação, a umidade e luz solar intensificam as atividades dos microrganismos patológicos, acelerando o processo de degradação.

Nas partes mais exposta da estrutura, que fica fora da área de abrangência da cobertura, foram identificadas manifestações em estados mais avançados de degradação e até mesmo a perda quase total da seção transversal de alguns componentes inclinados.

Todos os pilares apresentaram algum grau de ataques por fungos. A região mais atacada foi, justamente, a mais próxima ao solo e desprotegida pela cobertura. Foram encontrados vestígios de ataques por insetos isópteros nos pilares PE1, PE2, PE5 e PE12 (posições identificadas na Figura 7). Também se detectou a presença de algas e vegetação no pilar PE3 (Figura 8a) assim como algas nos pilares PE6 e PE8 (Figura 8b).

Os danos mais severos, com comprometimento significativo da seção transversal ocorreram nos pilares PE2 (no primeiro quarto de seu comprimento), PE4 (na metade do seu comprimento), PE10 (no primeiro quarto de seu comprimento), PE11 (também no primeiro quarto do comprimento) e no PE12 (primeiro quarto de seu comprimento). A Figura 9 mostra alguns dest



Pilar PE3

b) Pilar PE8

**Figura 8** – Presença de algas e vegetação em pilares.



**Figura 9** – Patologias identificadas nos pilares.

### 3.4 Situação nos alicerces

Nomearam-se como alicerces os pilares e vigas localizados abaixo do piso do primeiro pavimento. Nessa região, devido à proximidade com o solo, a falta de iluminação direta do sol e ventilação limitada, há uma concentração maior de umidade, o que torna essa localidade mais delicada em relação a possibilidade de manifestações patológicas e velocidade de degradação por tais patologias.

Pode-se notar a presença de ataques por fungos cromogêneos, em grau médio, em todas as peças dessa região. Além disso, a alta umidade contribui para a oxidação das ligações entre as peças que estão em sua maioria com processo de corrosão avançado. Contudo, os danos por ataques biológicos e pela umidade na madeira estão em nível superficial, sem ter sido notado

nenhum indício de ataques às regiões mais centrais das seções peças. Verifica-se que, apesar da mudança de coloração da superfície das peças, estas apresentam um bom estado de conservação e suas seções estão integras, o que garante o bom desempenho desses elementos estruturais.

Entretanto, o pilar P17, mostrado na Figura 10, apresenta seção transversal parcialmente comprometida, visivelmente necessitando de reforço para garantir seu desempenho de forma segura.



**Figura 10** – Pilares e Vigas da fundação.

Observa-se que em relação aos pilares de apoio da torre, de modo geral, deve-se tratar as anomalias encontradas e eliminar as causas de origem dessas manifestações.

### 3.5 Situação no primeiro andar

O primeiro andar da edificação dispõe de oito pilares externos e quatro internos. Em todos os pilares externos foi possível detectar a presença de fungos cromogêneos, em grau médio de intensidade. Além disso, havia muita sujeira acumulada nos orifícios da madeira, o que pode favorecer possíveis infestações patológicas por acúmulo de umidade. A presença de insetos xilófagos foi identificada nos pilares P1, P3, e P5, todos no exterior da edificação. No pilar P5, além dos caminhos característicos de isópteros, verificou-se também a presença de ninho desse ripo de inseto.

Com exceção do pilar P5 que apresentou um ninho de isópteros, os outros pilares estão sob ataques superficiais, que precisam ser tratados imediatamente, mas ainda não comprometem o desempenho estrutural das peças.

Essas situações estão ilustradas na Figura 11 a seguir.



**Figura 11** – Situação dos pilares P5 e P9.

As vigas de suporte do segundo andar, que estão expostas para o primeiro andar, apresentam bom estado de conservação, sem indícios de ataques por fungos ou insetos xilófagos. Acredita-se que, por estarem pintadas com tinta comum, livre de umidade e longe da exposição à intemperes, foi possível haver alguma prevenção aos ataques biológicos às peças. Isso pode servir de demonstração da importância dos tratamentos de prevenção, ainda que mínimos, e da necessidade de aplicação de boas práticas de projeto a fim de evitar a degradação prematura dos componentes da estrutura.

### 3.6 Situação no segundo andar

A estrutura do segundo andar está submetida a um leve ataque por fungos, com exceção do pilar P8, onde não foi encontrado nenhum indício de ataque biológico. Além de fungos, também pode se observar a presença de mofo nos pilares P2 e P5. E de caminhos de isópteros no pilar P1. Em relação aos pilares internos, foram identificadas a presença de insetos isópteros nos pilares P9 e P11.



**Figura 12** – Presença de isópteros nos componentes estruturais.



**Figura 13** – Pilar P1 e Pilar P5.

As vigas do segundo pavimento se encontram em bom estado de conservação, não sendo observada nenhuma manifestação patológica nessas peças. Deve-se ter cuidado, no entanto, com as manifestações de isópteros nos pilares, que devem ser eliminadas o quanto antes para prevenir sua propagação para o vigaamento.

### 3.7 Situação no terceiro andar

Em todos os pilares exteriores do terceiro pavimento, com exceção do pilar P8, foram detectados ataques por fungos, em intensidade leve. Além disso, nos pilares P1, P2, P3, P7, P11, P12, identificou-se a presença de mofo. O pilar P7 apresentou um grau médio de ataque por fungos.



**Figura 14** – Pilar P7 e Pilar P1.

Nos pilares do interior da edificação, perceberam-se indícios de ataque por isópteros nos

pilares P9, P13 e P15. O pilar P9 também apresentou um grande acúmulo de sujeira nas ranhuras da madeira.

As vigas de suporte do quarto andar, observadas a partir do terceiro piso, estado em bom estado de conservação, não apresentando, portanto, nenhuma manifestação patológica.

### 3.8 Situação no quarto andar

Identificou-se na estrutura do quarto andar a presença de fungo nos pilares exteriores P1, P2, P3, P4, P8, P11 e P12. Os pilares P1, P2, P3 e P4 também apresentaram mofo. Nos pilares interiores, detectou-se a presença de Isópteros no pilar P9 e no topo dos pilares P11 e P13. No pilar P13 há uma elevada presença de isópteros. No pilar P15, apesar de não haver indícios de ataque biológico, há acúmulo de sujeira, que pode ocasionar o aparecimento de outras patologias.

O vigeamento do quinto andar, aparente no quarto andar, está em boas condições de conservação, exigindo apenas cuidado em relação à manifestação no topo dos pilares P11 e P13.

### 3.6 Situação no quinto andar

Os pilares do quinto andar foram os que apresentaram um melhor estado de conservação em relação aos outros pavimentos. A única região que apresentou leve manifestação de fungos foi a região superior dos pilares P8, P9, P11, P13, P15. Foram identificados ataques de leve intensidade por fungos na região dos pilares onde não foi aplicada pintura.

As vigas superiores do quinto andar também não receberam tratamento através da aplicação de tinta. Com isso, observa-se leve ataque por fungos, com alteração da cor da madeira.



**Figura 15** – Vigas do quinto pavimento.

Contudo, apesar do leve ataque por fungos em determinados segmentos da estrutura do quinto andar, as peças encontram-se em bom estado de conservação e com seções intactas, carecendo apenas da eliminação

das patologias existentes e prevenção contra futuras manifestações.

### 3.10 Modelo Estrutural

Para a análise estrutural, adotou-se o modelo de pórtico espacial, com apoios simples para os pilares, ou seja, impedindo somente a movimentação de translação. Considerou-se que somente os pilares e vigas principais atuavam como estrutura portante, sendo os demais elementos construtivos, como paredes, pisos, guarda-corpo, incorporados apenas como carregamentos na estrutura principal.

Em relação as dimensões das seções transversais dos pilares com seção variável, analisou-se estatisticamente a distribuição dos diâmetros das peças, determinando-se um valor médio de seção transversal para cada pavimento.

Um ponto interessante a ser destacado foi a escolha da seção transversal a ser efetivamente utilizada para os cálculos dos pilares. Devido as características particulares da madeira Acariquara, que possui sulcos e irregularidades ao longo do seu comprimento que acabam dificultando a determinação precisa de sua seção transversal, não há nas normas atuais metodologia que contemple essa situação. Faz-se necessário, portanto, a definição de um fator ser aplicado as seções transversais dos pilares a fim de representá-los de forma mais realista nos cálculos estruturais

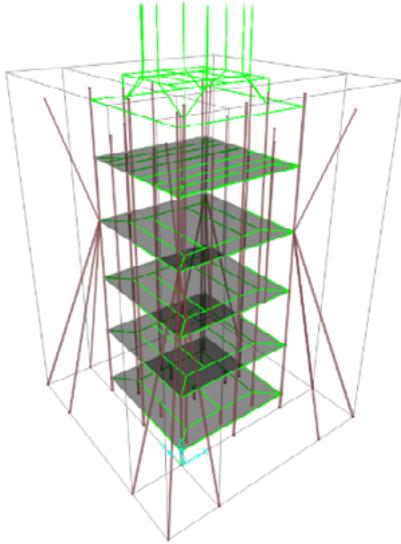
Neste trabalho, optou-se por aplicar um fator de penalização para obtenção de um valor de seção útil de 0,60, ou seja, considerou-se que o valor da área da seção transversal das peças corresponde a 60% da área da seção circular definida pelo perímetro médio, tendo sido o perímetro determinado no levantamento em campo. Portanto, mediu-se o diâmetro da seção como se fosse maciça e descontou-se tal percentual para levar em consideração os sulcos da madeira Acariquara.

Ensaio mecânicos realizados com peças de madeira Acariquara revelam que, apesar das irregularidades da seção transversal, essa espécie apresenta resistências bem elevadas, tendo alcançado valores superiores a 100 MPa (GONZAGA, 2006). Considera-se que a escolha do fator de penalização de 60% se mostra a favor da segurança.

Para as vigas, adotou-se seção retangulares constantes de 5 cmx15 cm, em todos os pavimentos e nos alicerces.

Em relação ao modulo de elasticidade adotados, utilizou-se o valor de  $7,67 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup> para a Acariquara e  $10,623 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup> para o Jatobá. Esses valores foram baseados nos resultados apresentados pelo Manual das Centrais Elétricas de Santa Catarina S.

A (DVEN, 2004), que traz resultados de ensaios com diversas espécies de madeira utilizadas para suporte de cabeamento elétrico.



**Figura 16** – Modelo Estrutural.

Devido às características anisotrópicas da madeira, é difícil determinar precisamente o valor do coeficiente de Poisson por meio de ensaios, pois esses apresentam grande variabilidade. Para as análises realizadas, adotou-se o valor de 0,3.

Para se determinar as propriedades de projeto da madeira Acariquara, utilizaram-se os valores obtidos a partir de Gonzaga (2006) e calculados conforme a norma NBR 7190, considerando coeficiente de modificação  $K_{mod} = 0,45$ . Dessa forma, obteve-se como resistência à compressão paralela de cálculo o valor de 17,45 MPa, e para a tração paralela de cálculo o valor de 10,45 MPa.

### 3.11 Análise estrutural

A partir da concepção estrutural da edificação, determinaram-se as cargas atuantes para análise estrutural. As cargas consideradas foram: peso próprio da estrutura e demais elementos construtivos; sobrecarga de uso de 1,5 kN/m<sup>2</sup> em cada pavimento; carga de vento, conforme preconizado pela norma NBR 6123 – Forças devidas ao vento nas edificações, considerando parâmetros aplicáveis à região de Itacoatiara/AM. Também foi analisada a distribuição das solicitações na estrutura considerando a ocorrência de um recalque de 3 cm na fundação de um dos pilares principais.

Inicialmente, analisaram-se a distribuição de tensões na torre conforme o desempenho inicial, para verificar se a solução estrutural adotada se mostra adequada. Para essa etapa, consideram-se as

combinações para o estado limite último que foram determinadas de acordo com o recomendado pela norma NBR 7190. A Tabela 1 abaixo reúne as 4 combinações utilizadas, onde PP é o Peso Próprio da estrutura, SC a sobrecarga de uso, VENTO é a carga de vento e RECALQUE é a simulação de recalque em um dos apoios principais.

**Tabela 1** – Combinação de Ações.

COMBINAÇÃO DE AÇÕES	
1	1,4*PP+1,4*SC+0,7*VENTO
2	1,4*PP+1,4*VENTO+0,7*SC
3	RECALQUE
4	1,4*PP+1,4*RECALQUE

Após a determinação de todos os parâmetros geométricos, aplicação das condições dos apoios, das cargas atuantes e montagem das combinações adotadas, simulou-se o desempenho da estrutura sobre tais condições realizando-se uma análise estática linear. Verificou-se então, quais os casos mais críticos, em termos de esforços simples, e quais os elementos apresentaram valores de solicitações mais elevadas para cada caso.

Após determinar as solicitações nos elementos da torre, realizou-se a verificação à compressão e à tração dos pilares mais carregados. A escolha dos pilares para as análises de verificação se baseou na constatação que o caso mais desfavorável (retirada dos pilares inclinados) poderia sobrecarregar os pilares remanescentes. Além disso, as vigas, apesar de terem sido avaliadas, não apresentaram graus mais severos de degradação, contribuindo, portanto, integralmente para resistir aos esforços.

Uma outra análise estrutural foi realizada no intuito de verificar as condições de segurança da torre no estado atual, ou seja, levando-se em consideração as perdas de resistência resultantes das patologias encontradas na edificação.

Decidiu-se, portanto, analisar o caso mais extremo, que foi simulado através da retirada de todas as peças inclinadas, que foram as que apresentaram degradações mais severas em virtude dos ataques biológicos. Uma vez que as peças inclinadas têm função fundamental resistir à esforços gerados pelas cargas de vento, adotou-se a combinação com ação do vento como ação variável principal para essa verificação.

Compararam-se então os resultados obtidos na segunda análise com os oriundos da análise dos esforços da torre no estado inicial para se verificar o comprometimento da segurança da estrutura em função da perda de capacidade de resistência das peças mais

degradadas. Foi possível observar que, apesar dos pilares terem papel importante na resistência contra as ações do vento, a estrutura ainda consegue redistribuir as solicitações na ausência dessas peças, o que explica a sua estabilidade estrutural atual apesar das patologias identificadas.

## 4 Medidas de recuperação

A estrutura analisada, apesar de ter diversos componentes que, de forma geral, estão ainda em bom ou razoável estado de conservação, apresenta, principalmente nos pilares inclinados, mais expostos às intempéries, um avançado grau de deterioração, com seções parcialmente a completamente comprometidas, o que pode limitar a sua capacidade de suporte de cargas.

Os tipos de patologias identificadas podem causar com o tempo a degradação completa das peças, além de se propagarem para outros elementos estruturais (BERTOLINI, 2010). É, portanto, necessário a realização de serviços de engenharia para a recuperação da estrutura.

### 4.1 Proposta de intervenção

A fim de se garantir o desempenho seguro da estrutura e preservá-la, contribuindo assim para vida útil da edificação, propõe-se a seguir um plano de intervenção. Descrevem-se as etapas sequenciais deste plano, que foi elaborado a partir dos resultados obtidos com o levantamento de campo e com a análise estrutural, e também considerando recomendações da literatura técnica, como por exemplo os trabalhos de Silva (2008) e de Costa (2009).

#### 4.1.1 Limpeza inicial

Deve-se inicialmente proceder com a limpeza geral da estrutura, começando pela área no entorno, onde deve-se verificar a eventual presença de colônias de insetos xilófagos, seguindo para as fundações. Atenção especial deve ser dada as ligações e ranhuras dos pilares, onde foi possível notar grande acúmulo de sujeira, o que pode levar a manifestações patológicas por ataques biológicos.

Em seguida deve-se proceder a limpeza do primeiro pavimento. Nesse nível, é preciso que, tanto a limpeza da área externa quanto da área interna garanta a remoção de qualquer galeria e ninho dos insetos xilófagos, para assim eliminar os focos presentes. Da mesma forma que nos alicerces, cuidado especial deve ser dispensado às ligações das peças e ranhuras dos pilares.

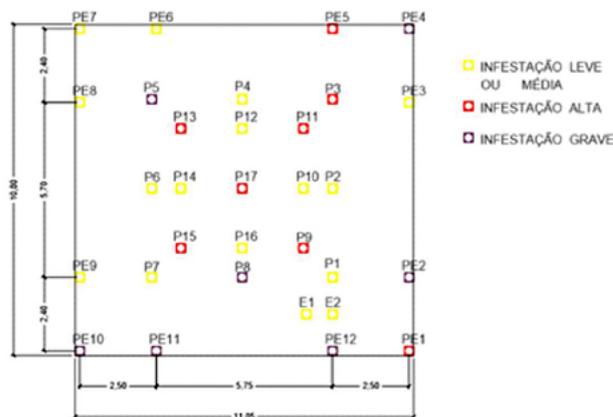


**Figura 17** – Acúmulo de sujeira e mofo peças estruturais.

O tratamento em relação a limpeza dos outros pavimentos deve ser igual ao do primeiro pavimento. No quinto andar, no entanto, deve-se dispor de escadas e equipamentos de segurança com cordas a fim de realizar a limpeza da estrutura de cobertura. Nesta etapa, sugere-se que sejam realizadas as manutenções dos reservatórios de água presentes nesse nível, garantindo que não haja nenhum tipo de vazamento e infiltração de água na estrutura.

#### 4.1.2 Eliminação das patologias nas peças estruturais

Nesta etapa deve-se eliminar todas as patologias identificadas a fim de garantir que não haja danos posteriores à integridade da estrutura. Na Figura 18 é possível verificar o grau de intensidade das patologias por pilar.



**Figura 18** – Grau de infestação patológica por pilar.

Recomenda-se a aplicação de fungicidas que sejam eficazes contra uma larga faixa de organismos fúngicos. Desta maneira, estar-se-á protegendo a estrutura dos ataques dos fungos presentes e de ataques futuros.

A aplicação do fungicida deve focar, principalmente, a região dos alicerces e pilares inclinados, onde notou-se uma infestação mais aguda por fungos. Os pilares e vigas dos pavimentos tipo que estão localizadas na parte externa da edificação devem ser contempladas também, para se garantir a eliminação da ação patológica presente e prevenir contra futuros ataques desses microrganismos. Outra região importante são as vigas da cobertura do quinto pavimento, onde o ataque por fungos foi também expressivo.

Com relação ao tratamento contra os insetos xilófagos, recomenda-se que, após a eliminação dos focos existentes, seja aplicada uma camada de inseticida para combate de xilófagos, principalmente isópteros. Prioridade novamente deve ser dada às peças em contato com o solo, para depois seguir para demais componentes da edificação.

#### **4.1.2.1 Tratamento contra fungos**

A patologia mais disseminada na estrutura é o ataque por fungos. Pôde-se identificar que a alta umidade local e a falta de tratamento preventivo da madeira contra o ataque desses microrganismos são as principais causas dessa manifestação patológica. Na maioria das peças atacadas por fungos, os danos estão em níveis superficiais, limitando-se à alteração da cor da superfície da madeira. Dessa maneira, será necessário realizar tratamento para a eliminação do fungo em nível superficial e inibição de manifestações futuras.

Nessa categoria de tratamento superficial contra fungos encontram-se os pilares e vigas dos alicerces, os pilares do primeiro ao quinto andar que não apresentam danos mais profundos por fungos, além do vigamento superior do quinto andar. Para essas peças, sugere-se a aplicação de fungicida a fim de garantir a eliminação da manifestação patológica presente e inibir infestações posteriores.

No caso dos fungos de podridão, onde a patologia se manifesta de forma mais severa na superfície e, em algumas peças, chega até a comprometer a seção transversal da madeira, deve se optar por tratamento e inibição do fungo, reforço dos trechos afetados e mesmo a troca de peças já em estado de podridão avançado.

A região onde o ataque por fungos de podridão foi mais severo foi na área externa, onde estão localizados os pilares inclinados. Todos eles apresentaram algum grau de podridão devido à ação dos fungos. Os pilares

PE2 (primeiro  $\frac{1}{4}$  do comprimento), PE 10 (primeiro  $\frac{1}{4}$  do comprimento), PE 11 (primeiro  $\frac{1}{4}$  do comprimento) e PE 12 (primeiro  $\frac{1}{4}$  do comprimento), PE4 (1/2 do comprimento da peça). Para os pilares PE2, PE11 e P12, sugere-se a reparação do trecho apodrecido com substituição parcial da peça. Já para as peças PE4 e PE10, sugere-se a substituição total da peça, uma vez que os danos são bem graves e se manifestam em boa parte da peça.

#### **4.1.2.2 Tratamento insetos xilófago**

Em relação aos insetos xilófagos, recomenda-se, inicialmente, a limpeza e eliminação de todos os caminhos e ninhos desses insetos presentes na estrutura. Destaca-se as manifestações de isópteros nos pilares P9, P13 e P15 do primeiro pavimento, P9 e P11 no segundo pavimento, P5 que abriga um ninho no terceiro pavimento e o topo dos pilares P13 e P11 do quarto pavimento.

Após limpeza e eliminação de focos existentes, deve-se aplicar o biocida a fim de eliminar qualquer ação dos insetos no interior da madeira. É importante que haja a eliminação de focos que também possam estar presentes no solo, ao redor da edificação.

Por fim, recomenda-se a aplicação de solução inseticida em toda a estrutura, com atenção especial as peças com mais proximidade ao solo. Isso garantirá que não haja a nova infestação de insetos xilófagos, garantindo a segurança da estrutura contra-ataques biológicos por mais tempo.

#### **4.1.3 Recuperação da estrutura**

Após a limpeza inicial e eliminação de todas as manifestações patológicas identificadas, pode-se proceder para etapa de recuperação da estrutura. Nessa etapa, o intuito é reestabelecer a capacidade de suporte das peças estruturais que foram prejudicadas devido à ação degradante das patologias.

Dependendo do grau de degradação da peça e da importância que ela possui na resistência e distribuição de cargas, a peça pode ser reparada, reforçada ou substituída. As peças que apresentaram maior severidade de danos devido aos ataques biológicos foram os pilares inclinados. Foi realizada análise estrutural para verificar o impacto da perda de resistência dessas peças para segurança da estrutura. Apesar da importância dos pilares inclinados para a distribuição dos esforços, principalmente em relação aos carregamentos de vento, a estrutura foi capaz de redistribuir as solicitações de maneira satisfatória. Portanto, será possível a retirada dessas peças para que se possa realizar o reparo destas, sem que haja comprometimento da estabilidade estrutural.

Recomenda-se que, além dos tratamentos já indicados anteriormente para os pilares inclinados, haja a substituição do trecho apodrecido dos pilares PE2, PE11 e P12. Deve-se remover completamente a parte comprometida, ligando o novo trecho à peça original através de parafusos de 16 mm.

Para as peças PE4 e PE10, onde a seção transversal já foi completamente comprometida pelo apodrecimento da madeira devido ao ataque biológico, sugere-se a substituição total da peça. Deve-se então retirá-la e substituí-la por peças de seções semelhante.

Apesar da análise do modelo sem a participação dos pilares inclinados revelar que a estrutura se mantém segura, recomenda-se que seja removido um pilar por vez, prosseguindo com o a remoção do próximo após a reinstalação do anterior.

Recomenda-se também a recuperação dos blocos de fundação dos pilares inclinados PE1, PE3, PE4, PE5, PE7, PE8 e PE10.



**Figura 19** – Bloco de fundação em ruína.

Sugere-se que haja substituição de pregos e parafusos que estão oxidados nos alicerces, a fim de garantir a segura transferência de esforços entre os elementos.



**Figura 20** – Exemplo de ligação oxidada.

É importante que se faça uso de um cronograma

para direcionar a execução das intervenções propostas, uma vez que a região em que está localizada a torre possui clima tropical. Isso significa que há um período chuvoso ao longo do ano, o que pode comprometer o andamento dos serviços a depender da data de início.

## 5 Conclusões

A partir do cumprimento das etapas estabelecidas a fim de se identificar as principais causas de patologias na estrutura da torre do Monte Sião, localizada no município de Itacoatiara – AM, foi possível compreender os mecanismos responsáveis pelas manifestações patológicas e determinar a intensidade dos danos nos elementos estruturais da torre.

Verificou-se que o excesso de umidade, principalmente nos alicerces, criou ambiente propício ao ataque por fungos e consequente degradação da madeira. Os pilares inclinados, expostos às intempéries, foram o que apresentaram maior comprometimento das seções devido aos ataques por fungos, insetos isópteros e pela exposição direta ao sol e as chuvas.

As análises estruturais verificaram que o comportamento da estrutura em faces as solicitações e carregamentos ainda se mostra em situação de segurança. Quando considerado o efeito das patologias nas peças estruturais para o desempenho da edificação, pôde-se verificar que houve uma redistribuição das solicitações. Tais resultados são importantes para balizar o plano de intervenção para reabilitação de peças comprometidas.

Os resultados provenientes das análises estruturais e das inspeções para determinação das patologias presentes permitiram a elaboração de uma proposta de intervenção para recuperação dos elementos da torre, a partir da eliminação dos agentes de degradação da madeira, resolução dos problemas que propiciam o surgimento dessas patologias e aplicação de técnicas de recuperação de componentes estruturais para o restabelecimento da capacidade de suporte de carga das peças afetadas.

Para a proposta de recuperação, levou-se em consideração os aspectos técnicos e econômicos, a fim de se apresentar a solução mais adequada para realidade local. Dessa maneira, se garantirá que a intervenção ocorra de forma segura e eficaz, buscando eliminar qualquer condição que favoreça o retorno dos microrganismos patológicos e restaurando a capacidade de suporte das peças originais. A região Amazônica, devido aos fatores climáticos, dos sistemas de transporte e de recursos técnicos disponíveis, necessita de atenção especial com relação às técnicas de engenharia para a prevenção das construções, principalmente nas fases

de concepção e projeto, visando assim evitar patologias que podem atacar as estruturas de madeira, tão comuns nessa região.

Por fim, pôde-se resgatar o legado histórico da estrutura e, a partir das intervenções recomendadas, garantir bom funcionamento do edifício ao longo de sua vida útil. Resguardou-se também o patrimônio arquitetônico representado pela estrutura no contexto em que está inserida e contribuiu-se para prolongar a existência da torre.

## Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123, **Forças devidas ao vento nas edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190, **Projetos de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. Tradução de Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo, 2010.
- BRITO, L. D. **Patologia em Estruturas de Madeira: metodologias de inspeção e técnicas de reabilitação**, São Carlos, SP, 2014.
- COSTA, L. F. S, **Tipificação de Soluções de Reabilitação de Pavimentos Estruturais em Madeira em Edifícios Antigos**, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2009.
- DVEN. **Manual Especial das Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A**, Santa Catarina, 2004.
- FARIA, J. A. **Patologias das Construções com Madeira. Sugestão de Intervenção**, 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação dos Edifícios. FEUP, Porto, Portugal, 2009.
- GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação. Cadernos Técnicos 6**, Brasília, DF, 2006.
- IDPB – **Igreja Deus Petencostal do Brasil, Página do Facebook**. Disponível em <<https://www.facebook.com/idpbmontesiaoofficial/>>. Acesso em 01 de junho de 2021.
- SILVA, J. P. A. G, **Especificações de Tratamentos de Preservação para Elementos de Madeira**, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2008.
- VITORIO, A. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia**, 2003, Recife.