



Histórico, situação e reforço das torres sineiras da basílica da Penha-Recife-Brasil

C.W.A. P. Sobrinho^{1,2}, A. C. Costa²

¹ Laboratório de Tecnologia Habitacional, Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, UPE. Brasil.

Información del artículo DOI:

Artículo recibido el 05 de Septiembre de 2015, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 25 de Enero de 2016. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 3, Septiembre – Diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org.

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: Septiembre de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMO

Este artigo apresenta e discute a história, situação atual, técnicas e estratégias utilizadas no reforço estrutural desenvolvimento design original de ambas as torres da Basílica da igreja de Penha. Mal concebido técnicas de reparo, realizada em 1981, juntamente com a falta de manutenção preventiva, vazamentos e até mesmo o crescimento de arbustos embutidas na alvenaria levou à instabilidade das torres da Basílica da igreja de Penha.

Palavras chave: reforço em alvenarias; monumentos históricos; técnicas de reforço; estratégias de execução; fibras de carbono.

ABSTRACT

This paper presents and discusses the history, current situation, original techniques and strategies used in the development of structural reinforcement design of both towers of the Basilica of Penha Church. Repair techniques poorly designed, conducted in 1981, along with lack of preventive maintenance, leaks and even the growth of bushes embedded in the masonry led to the instability of the towers of the Basilica of Penha Church.

Keywords: reinforcing masonry; historic monuments; reinforcement techniques; execution strategies; carbon fibers.

RESUMEN

En este trabajo se presentan y discuten el histórico, situación actual, técnicas y estrategias originales empleadas en el desarrollo del diseño de refuerzo estructural de ambos campanarios de la Basílica de la Iglesia de Penha. Técnicas de reparación mal diseñadas, llevadas a cabo en 1981, junto con ausencia de mantenimiento preventivo, filtraciones e incluso el crecimiento de arbustos incrustados en la mampostería, llevaron a la inestabilidad de los campanarios de la Basílica de la Iglesia de Penha.

Palabras clave: fortalecimiento de albañilería; monumentos históricos; técnicas de refuerzo; estrategias de implementación; fibras de carbono.

Autor de contacto: Carlos Welligton Pires Sobrinho (carlos@itep.br)

1. INTRODUÇÃO

A Basílica de Nossa Senhora da Penha, Ordem dos Frades Menores Capuchinhos, é um edifício imponente na paisagem urbana no bairro de São Jose - fortemente marcado pela presença de torres delgadas altas e uma enorme cúpula do cruzeiro, símbolos uma religiosidade forte - que orientou o ambiente urbano da formação inicial da cidade do Recife. Entre o início da construção (1656) e da conclusão de sua obra, que gastou mais de 200 anos, devido à expulsão dos calvinistas franceses do Recife, por ordem do tribunal Português (CECI,2014).

A Figura 1 mostra o registro histórico do edifício do início do século XX. O edifício tem uma nave central e um par de torres estilizado como "minarettes", que recentemente têm sido observados nas colunas internas, a torre do sino de espaço, uma série de rachaduras e deslizamentos de terra e materiais topo de uma ação bastante extensa raízes torre arbustivas epístola que cresceram e ramificadas entre na alvenaria de uma torre.

Em 1981, as intervenções de reforço e enchendo as janelas com cobogós (Araujo 2010) foram feitas, os reforços foram identificados com a inclusão de algumas colunas e barras de aço em elementos de betão armado.

Em 2010, devido ao agravamento das manifestações patológicas tiveram aberturas rachaduras em algumas colunas e perda de revestimento interno e externo, os reforços foram inseridos em estruturas de madeira nas janelas entre 8 colunas de estrutura de alvenaria torres.



Figura 1. Imagem histórica da Basílica da Penha-detalhe da torre sineira sem cobogo.

As Figuras 2 e 3 mostram o aspecto externo de uma das torres, mostrando detalhe do tipo de reforço utilizado nas colunas que constituem a torre da Epístola.



Figura 2. Vista atual da torre Epístola

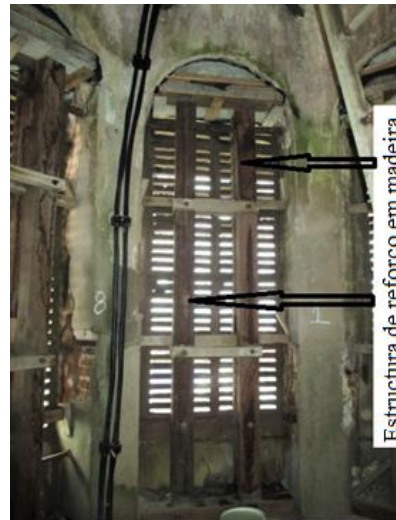


Figura 3. Reforço nas colunas do campanário

Nas Figuras 4 a 6 é possível observar aspectos de grandes fendas nas colunas do campanário geradas pela oxidação das armaduras incorporado nestas colunas.



Figuras 4 a 6. Fissuras causadas pela oxidação das braçadeiras de ferro inseridos nas colunas

2. INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

Objetivando balisar o projeto de reforço para as duas torres foram realizadas a caracterização do comportamento compressivo em amostras retiradas da edificação e uma análise numérica para detreminação das ações que atuam nas torres.

2.1 Caracterização físico-mecânica da edificação

As características físicas e mecânicas da edificação foram obtidas através de inspeção por prospecção em áreas na região da torre da Epístola, através de perfuratriz e cortadeira de alvenaria de disco duplo diamantado, sendo as amostras enviadas ao laboratório do ITEP-Instituto de Tecnologia de Pernambuco.

As tentativas de obtenção de amostras através de perfuratriz com broca diamantada de 4" não se mostraram eficiente, já que a necessidade de cortar com lubrificação hidráulica favorecia a solubilização da argamassa e do próprio tijolo, já que tanto a argamassa a base de cal quanto o tijolo não completamente calcinado sofriam com ação dos movimentos do disco e da ação da água. Para

conseguir a obtenção de amostras da alvenaria foi necessário utilizar cortadeira de disco duplo diamantado, conforma mostrado nas figuras 7 e 8.



Figura 7. Processo de retirada de amostra utilizando disco duplo diamantado.

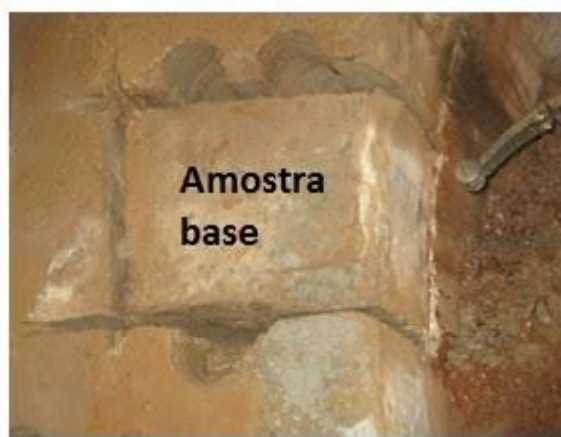


Figura 8. Amostra retirada da alvenaria encaminhada para laboratório.

As amostras foram cotadas e aparelhadas em quatro espécimes para realização dos ensaios de comportamento compressivo, sendo utilizada prensa com controle de deslocamento, com capacidade de 30ton, possibilitando registrar o comportamento pós ruptura.

Para determinação do módulo de elasticidade longitudinal e transversal foram instalados deflectômetros com precisão de milésimos de milímetros na seção transversal de aplicação de carga e utilizados LVDts na medição dos deslocamentos longitudinais. A composição das figuras 9 a-d mostram aspectos característicos dos ensaios sobre o comportamento compressivo das amostras.



a) Amostra 1

b) Amostra 2

c) Amostra 3

d) Amostra 4

Figuras 9 a-d. Comportamento compressivo dos ensaios nas amostras

Desta avaliação, sob análise de determinação da resistência característica, conforme recomendações da NBR 15182-2 foi obtida

$$f_{pk} = 1,15 \text{ MPa}$$

2.2 Tensões solicitantes

As tensões solicitantes foram obtidas com base na modelagem numérica tendo por base o método dos elementos finitos (Mamaghani,2004) sendo a estrutura de alvenaria modelada com elementos sólidos de formas variadas, os pisos em elementos de placas combinados com elementos de membrana e a flecha de cobertura das torres em elementos de casca. Foi utilizado o sistema computacional SAP2000

para obtenção das tensões, sendo a este informado as densidades e as características do comportamento compressivo (módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson).

A figura 10 mostra aspectos dos elementos sólidos utilizados e os resultados das tensões nos vários elementos que compõe uma das torres.

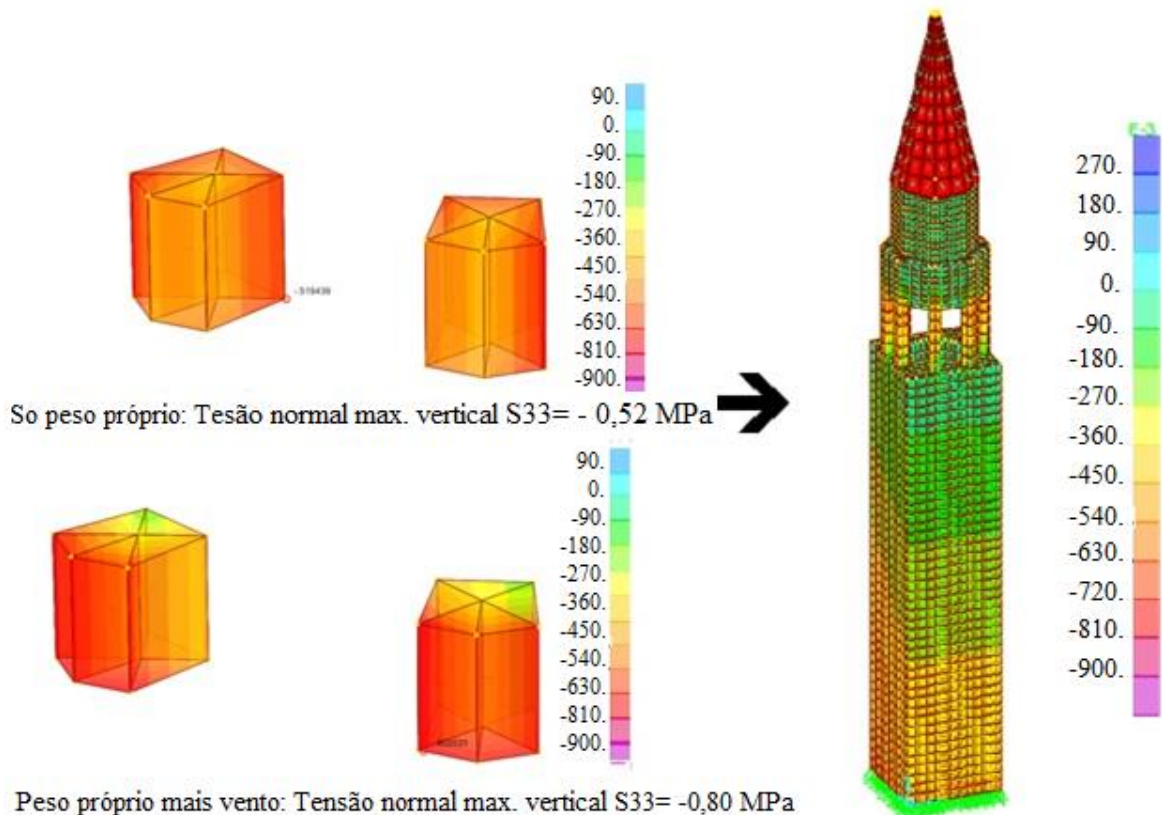


Figura 10. Resultados da análise numérica da torre da Epístola da Basílica

As imagens apresentadas na figura 10 mostram que as regiões mais críticas de concentração de tensões localizam-se na base das colunas do campanário, chegando a atingir o valor de 0,52MPa devido apenas ao peso próprio e de 0,80MPa quando se considera ação combinada de peso próprio e ação do vento.

2.3 Análise de seguranda estrutural

Considerando os resultados das tensões solicitantes, em especial na região próximo as bases das colunas do campanário, atingindo máximos valores ficaram entre 0,52MPa à 0,80MPa e considerando que a resistência característica das amostras foi determinado em 0,63MPa.

Estes valores mostram que na atuação do vento as tensões superam a capacidade resistente das colunas, inclusive sem considerar os fatores de segurança normalmente existentes quando se procede a um dimensionamento. Desta forma as estruturas de reforço provisórias, construídas com estruturas de madeira nos vedos das janelas do campanário estão atuando de forma decisiva, evitando colapso nesta região.

Os resultados destas análises estão muito coerentes com a situação que se apresenta as colunas do campanário da torre de Epístola, apresentando elevado estado de fissuração e indicativos de ruína localizada.

Assim se conclui ser extremamente necessária a utilização de reforço que possibilite elevar em pelo menos duas vezes a capacidade resistente, atendendo assim aos princípios normativos de segurança estrutural.

3. ANTEPROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

3.1 Princípios do anteprojeto de reforço

Os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono são eficientes para a absorção de esforços de compressão, impedindo, por meio do confinamento da seção das peças axialmente solicitadas, o crescimento da deformação transversal de materiais, oriundos da atuação da carga axial.

O efeito da pressão de confinamento é o de induzir um estado triaxial de tensões na alvenaria e nestas condições a alvenaria, ou outro material frágil, altera substancialmente seu comportamento compressivo, tanto na resistência quanto na ductilidade (Fiorelli,2002).

As figuras 11 e 12 mostram a diferença de comportamento compressivo de um elemento de concreto, que poderia ser de alvenaria, sem e com confinamento transversal.

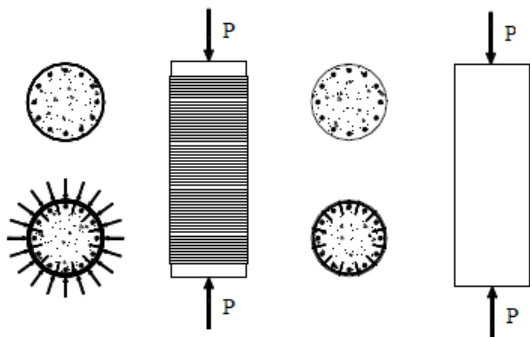


Figura 11. Tensões e deformações em sistemas confinados e não confinados

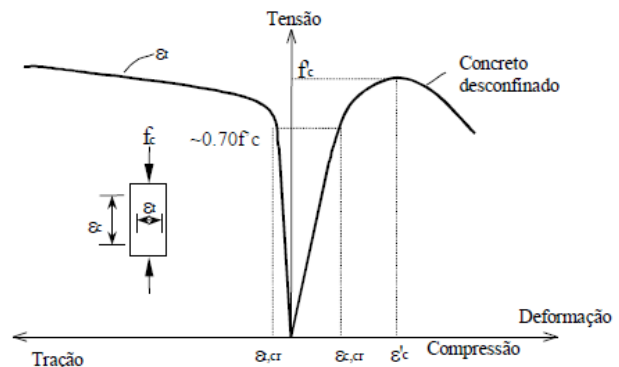


Figura 12. Configuração típica de uma peça de concreto confinada e não confinada

Além do efeito propiciado pelo confinamento, promovido com a utilização de um sistema composto de fibras de carbono e resina epoxy, haverá a substituição do revestimento de argamassa a base de cal por revestimento a base de argamassa polimérica a base de cimento e aditivos químicos.

3.2 Determinação da influência do reforço

As características compressivas desta argamassa polimérica em relação à argamassa de cal são substancialmente maiores, podendo superar em 15 vezes a resistência à compressão e em mais de 35 vezes o valor do módulo de elasticidade longitudinal, ver tabela 1.

Tabela 1. Características mecânica dos materiais

Material	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Fonte
Alvenaria tijolos e argamassa de cal	2,0	0,40	Ensaio em amostras (ITEP)
Argamassa polimérica	30,0	15,0	Características de produto (Viapol,2015)

O efeito propiciado pelo confinamento, promovido com a utilização de um sistema composto de fibras de carbono e resina epoxy poderá levar em até 30% a capacidade resistente de uma peça comprimida. Assim combinando os efeitos da substituição do revestimento com o confinamento nas seções externas transversais das colunas propicia uma elevação da capacidade resistente desses elementos que compõe o campanário.

As figuras 13 e 14 mostram o posicionamento das colunas que apresentam as situações mais críticas em termos de concentração de tensões.

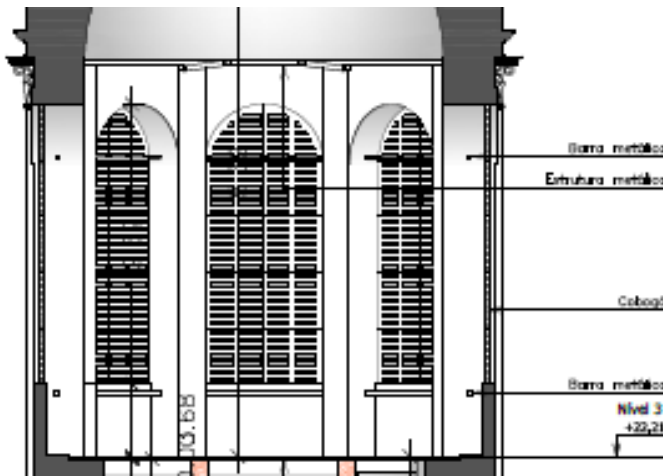
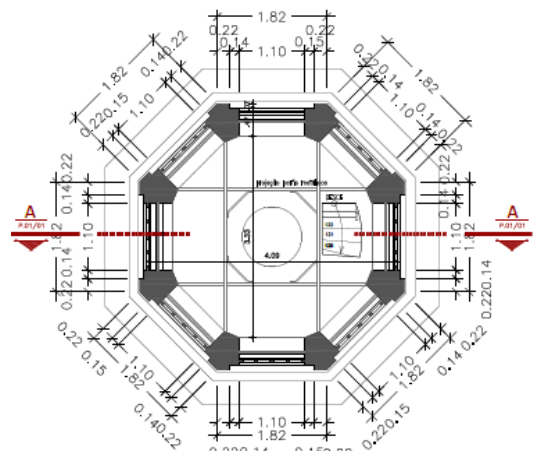


Figura 13. Região das colunas do campanário



Planta Baixa - Patamar (nível 3 - cota: +22.21)
Figura 14. Planta baixa na base das colunas

A avaliação das áreas da seção transversal de uma das colunas a serem reforçadas está considerada na figura 15.

Praticamente após as intervenções de corte (desbastamento das esquinas) e aparelhamento, necessárias para possibilitar o cintamento transversal das colunas, as áreas estimadas da alvenaria e do revestimento não se alteram.

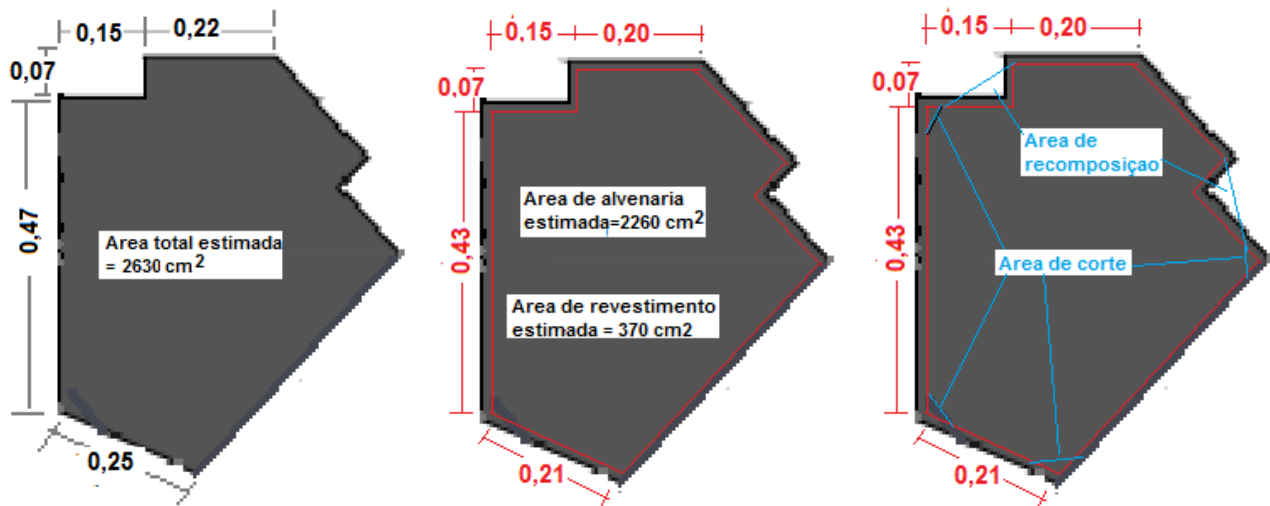


Figura 15. Avaliação áreas após as intervenções necessárias ao aparelhamento para reforço

A avaliação das cargas atuantes e resistentes na base das colunas do campanário, pode ser estimada em:

- a) Carga total atuante, devido ao peso próprio, considerando a modelagem numérica

$$S_{pp}=5,20*2630=13,676 \text{ ton}$$

- b) Carga total atuante, devido a ação combinada de peso próprio e vento, tem-se

$$S_{pp}=8,00*2630=21,040 \text{ ton}$$

c) Resistência da alvenaria atual, considerando a resistência característica obtida no ensaio.

$$R_a = 6,30 * 2630 = 16.569 \text{ ton}$$

d) Resistência estimada para alvenaria reforçada com substituição do revestimento de argamassa de cal por argamassa polimérica

$$R_{r1} = 6,30 * 2260 + 300 * 370 = 127,569 \text{ ton}$$

e) Resistência estimada para o reforço com a utilização do cintamento com fibra de carbono

$$R_{r2} = 127,569 * 1,20 = 153,082 \text{ ton}$$

Desta forma pode-se considerar que o reforço proposto possibilita uma elevação de resistência das colunas em 7 vezes sua capacidade resistente e se comparada a carga atuante na base das colunas devido ação combinada de peso próprio e ação do vento. Desta forma, o reforço proposto apresenta um coeficiente de segurança da ordem de 7,0, bem superior aos 2,0 recomendado pelas normas de alvenaria.

4. PROCEDIMENTOS DE REFORÇO

Na sequencia estão apresentados os procedimentos para a execução do reforço estrutural.

4.1 Procedimentos básicos para reforço das estruturas de alvenaria.

Os procedimentos básicos a serem seguidos para execução de reforço em alvenarias:

4.1.1 Demolição e retirada do revestimento existente, com desbaste das esquinas e limpeza das áreas a serem reforçadas

Nas áreas a serem reforçadas os revestimentos existentes deverão ser retirados, podendo para isso utilizar de rebolo de corodur acoplado a uma lixadeira rotativa, desta forma não haverá impactos significativos na estrutura de alvenaria, conforme apresentado na figura 16a.

As esquinas vivas devem ser desbastadas, A pós o desbaste das esquinas e a retirada de todo revestimento, as áreas deverão ser limpas e isentas de pó, podendo para isso utilizar jateamento de ar, ligeiramente úmido, conforma apresentado no esquema da figura 16b.



Figura 16a. Processo de desbaste com rebolo



Figura 16b. Esquema de jateamento e desbaste dos cantos

4.1.2 Preparação e aparelhamento da superfície

Nas áreas que receberão reforço, delimitadas pelo projeto, devem preparar as superfícies recebendo aplicação de primer para possibilitar colmatar os vazios para receber a camada de argamassa polimérica regularizadora, como indicado figuras 17a e 17b.

Esta argamassa deverá ter consistência adequada a sua aplicação com desempenadeira metálica sobre a superfície imprimada.

A superfície final deve apresentar acabamento liso e compacto.

Após 3 dias da aplicação da argamassa procede-se aplicação de nova camada de primer.



Figura 17a. Esquema do processo de preparação



Figura 17b. Aplicação de primer como preparação de superfície

4.1.3 Procedimento de aplicação de mantas de fibra de carbono

A superfície da alvenaria já preparada uma camada de primária de epoxi é aplicada com um rolo. Tipicamente, este produto tem uma baixa viscosidade - o que facilita a sua penetração na alvenaria. A função desta camada é proporcionar uma aderência adequada à superfície da estrutura (Grande 2011).

Após aplicação regularização em massa é então aplicada uma massa epóxi + carbonatos para corrigir e eliminar os defeitos de superfície que podem prejudicar a aplicação.

Após perfeita regularização é feita aplicação da primeira camada de resina. A superfície da estrutura é coberta com saturação de resina epoxi. Esta resina, de alta viscosidade, ajudar a manter o CFC e a posição correcta. A saturação impregnado no cobertor sendo aplicado, ele também ajuda nos esforços das fibras e abrasão proteção.

A aplicação das mantas de fibras de carbono, cortadas na dimensão das superfícies e a geomtria da área, é aplicada à saturação resina epoxi.

Continua com aplicação de resina saturante da camada superior reforçado são feitas ao longo de toda a área de modo que o sistema é escondido.

Após todas as camadas de CFC tenham sido aplicadas, promove-se regularização com compósito de argamassa polimérica e fibras plasticas.

A figura 18 mostra os procedimentos para a aplicação das mantas de fibra de carbono.

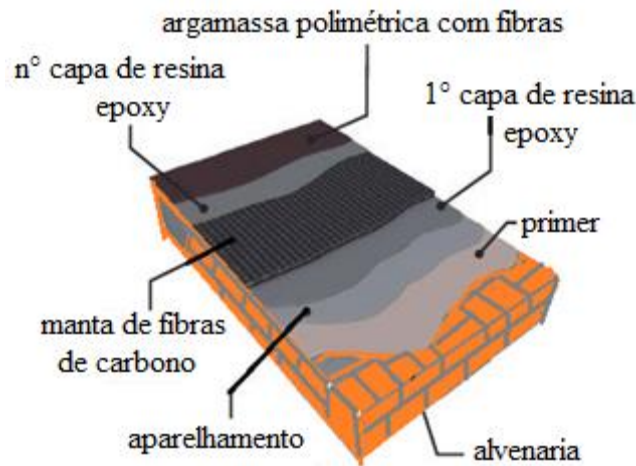


Figura 18. Sistema CFC

4.2 Estratégia para recuperação das torres

Considerando a situação crítica que se encontra os elementos que compõe as torres, desde a perda de revestimento das peças de cobre na cobertura das flechas, ocasionando apodrecimento de elementos estruturais desta cobertura, da ação de degradação de arbustos de cresceram e ramificaram no tambor da torre da epístola até o quadro de indicativo de ruína nas bases das colunas do campanário. Para proceder a recuperação das torres, há de se desenvolver uma estratégia para execução das etapas de reforço das torres.

4.2.1 Procedimento para limpeza e injeção de epóxy nas colunas fissuradas

Nas colunas fissuradas na altura do campanário há necessidade de limpeza e preenchimento com resina epoxy para recuperação da moniliticidade, esquematicamente apresentada na figura 19 [5].

- Limpeza das fissuras com jateamento de ar comprimido;
- Pinçamento de partes de armaduras impregnadas dentro das fissuras, de forma a não provocar maiores danos;
- Perfuração de furos ao longo da fissura e colocação de pugadoros, preenchendo o lado externo com massa epoxy + cimento;
- Injeção de resina epoxy, com baixa pressão, nos pugadoros, de baixo para cima, de forma a preencher as fissuras.



Figura 19. Processo de injeção: colocação de pugadoros e injeção através de bomba injetora de epoxy

4.2.2 Procedimentos para retirada das chapas de cobre da cobertura das flechas.

- a) Preparação de estrutura auxiliar para apoio de uma plataforma para andaimes: Inserir nas bases do campanário elementos de madeira que apoiarão 4 perfis metálicos transpassantes, o quais sustentaram as linhas de andaimes.
- b) Montar as 8 colunas de andaimes até atingir a borda da base da flecha, prendendo-os contra as paredes de alvenaria;
- c) Colocar uma grade/rede de proteção sobre os andaimes no sentido de evitar a queda de objetos da flecha;
- d) Com auxílio de um guindaste lança, acoplado a uma estrutura de proteção, retirar as peças de cobre da coberta das flechas.

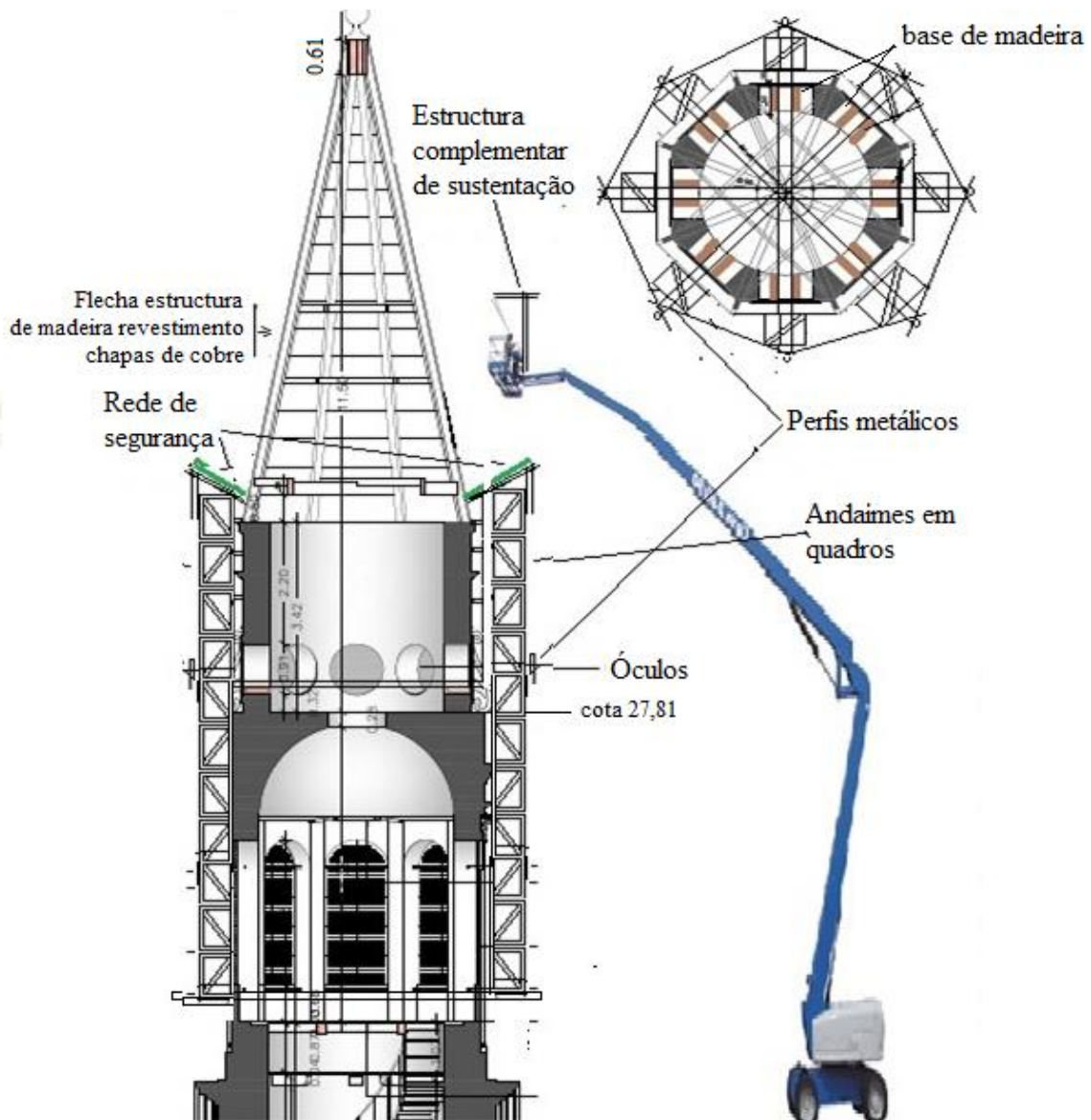


Figura 20. Esquema do processo

4.2.3 Procedimento para reforço nas colunas do campanário

As oito colunas que compõe o campanário, estão atualmente com reforço provisório em estrutura de madeira e com vedação em cobogo.

Para promover o reforço destas colunas, em pares e opostas, deverá ser utilizada a técnica de reforço com substituição do revestimento existente e cintamento com fibras de carbono.

- Inicia-se logo após o tratamento de fissuras, conforme 4.2.1.
- Promove-se o corte da área de cobogó entorno do par de colunas selecionadas;
- Remove-se o revestimento e o desbaste das esquinas, conforme descrito em 4.1.1;
- Promove-se o reforço conforme descritos em 4.1.2 e 4.1.3;
- Repete-se este procedimento para outros pares de colunas opostos.

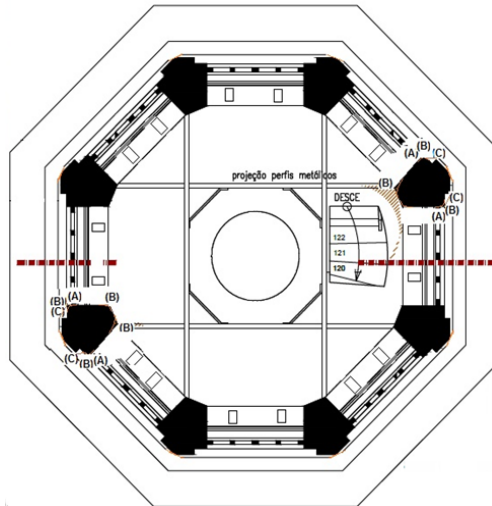


Figura 21. Planta baixa no nível 22.21

4.2.4 Procedimento para retirada dos arbustos enraizados na torre da Epístola e execução reforço da estrutura de madeira da coberta.

Os arbustos que cresceram e enraizaram na torre da Epístola necessitam de ser cuidadosamente retirado.

Após a retirada do revestimento das flechas procede-se a investigação da estrutura de madeira que compõe as flechas de coberta das torres.

- Identificar os elementos de madeira que sofreram danos e promover seu reforço;
- Os reforços podem utilizar chapas de aço e parafusos inox, podendo ser necessário o aparelhamento de novas peças de madeira.



Figura 22. Detalhe da situação da coberta

4.2.5 Procedimento de reforço de cintamento no contorno externo das torres

Nas regiões externas de contorno das torres, nos níveis 18,00, 25,00, 27,00, 29,00 e 31,00, serão desenvolvidos reforços, conforme as etapas a seguir e ilustrada na figura 23:

- Preparação de estrutura auxiliar para apoio de uma plataforma para andaimes: Inserir nas bases do campanário elementos de madeira que apoiarão 4 perfis metálicos transpassantes, o quais sustentaram as linhas de andaimes.
- Montar as 8 colunas de andaimes até atingir a borda da base da flecha, prendendo-os contra as paredes de alvenaria;
- Colocar uma grade/rede de proteção sobre os andaimes no sentido de evitar a queda de objetos da flecha;
- Com auxílio de um guindaste lança, acoplado a uma estrutura de proteção, retirar as peças de cobre da coberta das flechas.

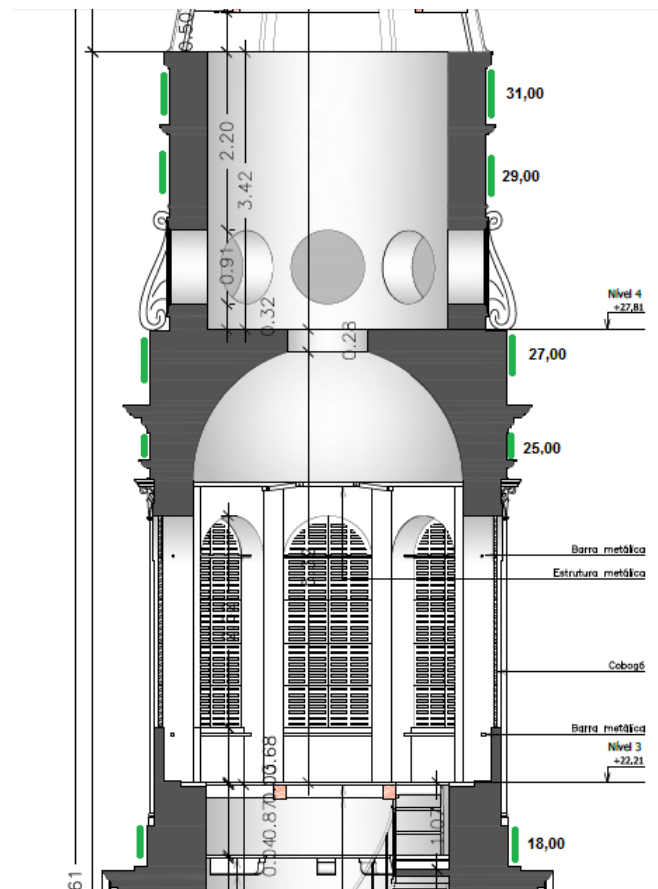


Figura 23. Reforço por cintamento das colunas

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A situação que se encontra as torres da Basílica da Penha mostra indicativos preocupantes no que se refere à estabilidade estrutural. Na avaliação realizada não existe reserva de segurança, o reforço provisório implantado está atuando de forma efetiva e plena, porém novos indícios de ruína estão à mostra.

A proposta de reforço apresentada possibilita não só a retirada do reforço provisório com os vedos em cobogó construídos posteriormente a construção da basílica no século XVIII.

A utilização de reforço a base de substituição da argamassa de cal por argamassa polimérica e cintamento em fibras de carbono, poderão ser recobertas por nova camada de argamassa a base da cal com reconstituição de detalhes arquitetônicos e afrescos semelhantes aos originais.

O reforço em fibras de carbono e argamassa polimérica não sofrem degradação com a umidade e ações de intempéries naturais, são assim consideradas duráveis.

6. REFERÊNCIAS

Araujo, R. A. D (2010), “*Sistema construtivo das torres sineiras da Basílica da Penha*”. Parecer técnico.

CECI- Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada (2014). <http://www.ceci-br.org/obras/penha.htm>

Corum, J. M., Bettiste, R. L., Lui, K. C., Ruggles, M. B (2000), “*Basic properties crossply carbon-fiber composite*”. OAK Ridge National Laboratory-tennessee, USA.

Fiorelli, J. (2002), “*Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira*”. Dissertação de mestrado UFSC, 138pgs.

Grande E., Imbimbo M., Sacco E. (2011), “*Bond behaviour of CFRP laminates on clay bricks: experimental and numerical study*”. Compos Part B 42:330–340

Mamaghani, I. H. P. (2004), “*Analysis of masonry structures by discrete finite elements method. Proceedings of the fourth International Seminar on structural analysis of historical constructions*”. Vol 1, pg 650-666. Padova, Italy.

Viapol- (2015), *Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono*. www.viapol.com.br/media/123118/manual-viapol-2015