



Reforço estrutural de uma edificação histórica na cidade de Rio Branco – Acre.

D. C. S. Amorim¹, D. R. C. Oliveira²

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Email: deniscley25@yahoo.com.br

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

Información del artículo

Artículo recibido el 01 de Diciembre de 2014, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 30 de Junio de 2015. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2016 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2016.

© 2015 ALCONPAT Int.

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 5, No. 3, Septiembre – Diciembre 2015, 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.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista
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 última modificación: 30 de Septiembre de 2015.

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 trabalho apresenta o emprego da técnica de reforço estrutural por encamisamento aplicada na reforma da edificação histórica denominada “Casarão”, devido à necessidade arquitetônica de permanecer o mais fiel ao projeto original, justificando-se pela necessidade do aumento de capacidade de resistência sem que haja aumento substancial na seção transversal dos pilares. Os resultados obtidos através da análise do reforço em relação aos pilares retangulares submetidos à flexão composta, esforços cortantes e torsores, em concordância com a NBR 6118 (ABNT, 2014), indicaram que a técnica estudada foi eficiente, pois todas as peças reforçadas tiveram uma capacidade portante maior e atenderam aos requisitos atuais de segurança estrutural sem comprometer as características arquitetônicas da edificação.

Palavras-chave: edificação histórica, reforço estrutural, encamisamento.

ABSTRACT

This work presents the use of the technique of structural reinforcement for jacketing applied in the reform of the historical building called "Big House", due to the architectural need to remain as faithful to the original design, justifying the need for increased resilience without substantial increase in the cross section of the pillars. The results obtained by analyzing the reinforcement relative to rectangular columns subjected to bending, shearing and torsional, in accordance with the NBR 6118 (ABNT, 2014), indicated that the studied technique was efficient because all reinforced parts had a greater bearing capacity and met the current requirements without compromising the structural safety of the building's characteristic architectural.

Keywords: historic building, structural strengthening, jacketing.

RESUMEN

Este artículo presenta el empleo del método de refuerzo estructural por revestimiento aplicada en la reforma del edificio histórico llamado "Casarão" en portugués, debido a la necesidad arquitectónica de permanecer tan fiel al diseño original, justificado por el interés de aumento de resistencia sin aumento sustancial de la sección transversal de los columnas. Los resultados obtenidos mediante el análisis del refuerzo con relación a las columnas rectangulares sometidas a flexión compuesta, esfuerzos de cizallamiento y de torsión, de acuerdo con la NBR 6118 (ABNT, 2014), indican que la método estudiada fue eficiente, porque todas las partes reforzadas tuvieron una mayor capacidad portante y cumplieron con los requisitos actuales de seguridad estructural, sin comprometer las características arquitectónicas del edificio.

Palabras clave: Edificio histórico, refuerzo estructural, revestimiento

Autor de correspondencia: Denis Cley Souza Amorim

1. INTRODUÇÃO

O “Casarão” (Figura 01), prédio público construído na década de 1930, apresenta estrutura mista de concreto armado e madeira em bom estado de conservação em sua parte central, mantendo características arquitetônicas ecléticas sírias e libanesas, com influência europeia, representando um estilo regional de grande importância cultural da cidade de Rio Branco, no estado do Acre. A sua revitalização atende a uma demanda da sociedade para o governo estadual, que recebeu um abaixo-assinado com centenas de assinaturas com esse pleito. O prédio histórico foi tombado pelo Conselho Estadual de Patrimônio Histórico e Cultural no dia 13 de agosto de 2009, por iniciativa da sociedade civil, sendo homologado no dia 30 de abril de 2010, através do decreto número 5.235. Sob a proteção e vigilância do poder público estadual, por intermédio do Departamento de Patrimônio Histórico e Cultural da Fundação de Cultura e Comunicação Elias Mansour.



Figura 1. O Casarão.

Neste estudo de caso, os pilares da edificação foram avaliados analiticamente e computacionalmente para verificação de suas resistências, visando atender os requisitos vigentes de segurança estrutural. Assim como em diversas edificações antigas na cidade de Rio Branco, o concreto destes pilares foi dosado com cacos de tijolos como agregado graúdo em substituição aos agregados normalmente usados, como seixo e brita. Não havendo comprovação técnica da resistência deste material para atender à NBR 6118 (ABNT, 2014), foram realizados procedimentos de extração de testemunhos e os resultados apresentaram resistência à compressão do concreto abaixo do especificado no projeto estrutural de reforma do edifício, realizado com o auxílio do programa computacional. A verificação dos resultados obtidos neste reforço torna-se importante porque a técnica do encamisamento com concreto armado é a mais usual e ainda apresenta dificuldades de execução em obras históricas devido à necessidade arquitetônica, consideradas culturalmente indispensáveis ao patrimônio arquitetônico da cidade, devendo permanecer o mais fiel à sua forma original, sem que haja aumento substancial na seção transversal dos pilares, o encamisamento de concreto armado, é viável em virtude das vantagens econômicas, rapidez de execução e coerência com o projeto arquitetônico.

2. METODOLOGIA ADOTADA

2.1 Características da edificação e do projeto.

A edificação a ser revitalizada chama-se Casarão e localiza-se na Avenida Brasil número 310, na cidade de Rio Branco, estado do Acre. Apresentando 405,1 m² de área construída, o Casarão é composto de subsolo, pavimento térreo e pavimento superior, com um estacionamento de 705,0 m² atrás e uma área livre de 154,7 m² à frente. Todas as etapas do processo de revitalização do prédio foram de responsabilidade do Governo do Estado do Acre e seguiram um cronograma executivo previamente estabelecido e detalhado. O plano diretor municipal, através da lei 1611 de 27 de Outubro de 2006, classificou o Casarão como uma edificação localizada na ZPHC (Zona de Preservação Histórica Cultural), com taxa de ocupação de 70% (810,0 m²), coeficiente de aproveitamento 6 (7.800,0 m²) e com taxa de permeabilidade de 10% (130,0 m²). Durante o processo de revitalização foi constatada a necessidade de reforço estrutural apenas no trecho do subsolo dos pilares 21, 30 e 41 para os novos carregamentos, o que não ocorreu com os demais pilares. A Figura 2 (forma pavimento superior) mostra a situação original dos pilares e a proposta de reforço.

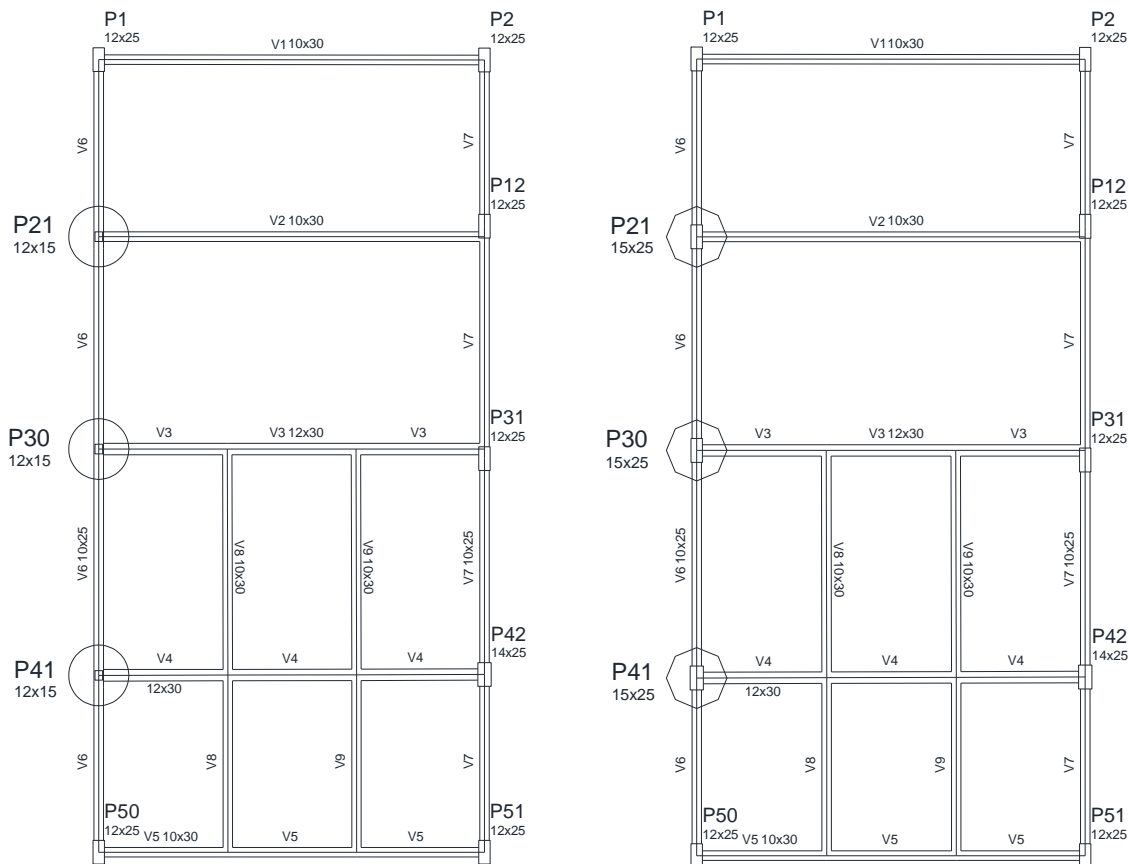


Figura 2. Localização e dimensões dos pilares P21, P30 e P41 antes e após o reforço (direita).

Na reforma da edificação, elementos de época foram mantidos e as áreas construídas que não estavam no projeto arquitetônico original foram removidas. Os serviços realizados compreenderam a revitalização das paredes originais de madeira, reforço estrutural dos pilares, substituição do forro, da estrutura de cobertura, do telhado, das tábuas do piso dos pavimentos térreo e superior, troca das instalações elétrica, de lógica, hidrossanitária e de combate a incêndio,

criação de uma área de estar com bancos e lixeiras, manutenção de três salas no andar superior e confecção de alvenarias nos três pavimentos. A Figura 3 mostra o aspecto das fachadas laterais e frontal do projeto de revitalização.



Figura 3. Aspecto final projetado para o Casarão.

2.2 A constatação do problema.

Para a verificação da segurança da estrutura existente, foram realizadas visitas de fiscalização e acompanhamento ao canteiro de obras durante a execução da obra de revitalização, onde foram identificados os procedimentos, técnicas e equipamentos utilizados nas intervenções, sendo realizado o registro fotográfico em todas as etapas do processo executivo nos anos de 2009 e 2010. Antes de realizar qualquer procedimento na estrutura, a equipe técnica evidenciou a importância de ensaios de compressão axial em testemunhos de concreto para identificação de eventuais problemas relacionados à resistência do concreto, uma vez que o concreto empregado originalmente foi confeccionado com pedaços de tijolos e telhas cerâmicos. Os resultados dos ensaios indicaram, de modo geral, que o concreto empregado na estrutura foi de baixa resistência à compressão e continha agregado graúdo com maior dimensão de até 50 mm, o que contribuiu para a formação de nichos de concretagem em alguns pilares. Cabe ressaltar que a utilização de agregados graúdos derivados da redução de elementos cerâmicos, como tijolos e telhas, ainda é prática comum na cidade de Rio Branco, onde existe escassez de brita e seixo rolado. A Figura 4 mostra o local da retirada do testemunho de um dos pilares e a Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão dos testemunhos de concreto dos pilares 21, 30 e 41, cujas análises posteriores indicaram a necessidade de reforço estrutural no trecho do subsolo.

Além da baixa resistência à compressão, também foi verificado que as armaduras de alguns pilares apresentavam adiantado estado de corrosão e severa perda de massa, comprometendo a capacidade resistente às cargas de serviço e até mesmo às permanentes, pois algumas barras foram totalmente seccionadas pela corrosão. A Figura 5 mostra o aspecto das barras corroídas nas armaduras dos pilares. Concluiu-se que os danos eram característicos de processos de deterioração com natureza sistêmica, ou seja, relacionados à qualidade do concreto utilizado na execução do sistema estrutural e, principalmente, à espessura de cobertura das armaduras que apresentou valores entre 10 mm e 15 mm, considerados reduzidos para propiciar a necessária vida útil à estrutura moldada com concreto contendo agregados tão porosos.



Figura 4. Local da extração de testemunho em um pilar.

Tabela 1. Resistência à compressão do concreto.

| Pilar | Testemunhos (MPa) | Projeto de reforço (MPa) |
|-------|-------------------|--------------------------|
| P21 | 13,7 | 25,0 |
| P30 | 20,1 | |
| P41 | 14,7 | |
| Média | 16,2 | |



Figura 5. Armadura longitudinal corroída nos pilares.

2.3 Reforço estrutural.

A metodologia empregada para definição da técnica de reforço estrutural a ser empregada considerou o conjunto de informações sobre o estado de conservação de toda a estrutura, visando conduzir o engenheiro projetista do reforço a elaborar um diagnóstico mais preciso sobre as causas e consequências das patologias encontradas, pois, de acordo com Julio *et al.* (2003), o sucesso das atividades de recuperação ou intervenção na estrutura depende de uma definição clara e precisa acerca dos problemas encontrados, contemplando o diagnóstico e prognóstico evolutivo das causas atuantes. Este estudo preliminar foi fundamental para a determinação do nível de intervenção a ser realizado na estrutura, que pode variar de simples reparos localizados até a

necessidade de demolição e reconstrução. Para o reforço estrutural foi escolhida a técnica de encamisamento com concreto armado, pois o concreto pode ser lançado em moldes ou projetado, tornando-se o material mais versátil para o reforço ou recuperação de estruturas de concreto armado, sendo utilizado em todos os tipos de elementos estruturais e nas mais diversas situações e condições (Mehta & Monteiro, 2014). O reforço estrutural foi então indicado para os pilares 21, 30, 41, no trecho do subsolo, sendo as etapas principais constituídas por apicoamento da superfície dos pilares, posicionamento da armadura adicional, instalação dos moldes de madeira e lançamento do concreto com resistência à compressão (f_{ck}) de 25 MPa.

2.3.1 Concreto. O concreto utilizado no reforço estrutural teve seu acompanhamento e fiscalização seguindo as recomendações da norma brasileira para projeto de estruturas de concreto, NBR 6118 (ABNT, 2014), e o dimensionamento do traço para atingir a resistência à compressão do concreto (f_{ck}) de 25 MPa forneceu a proporção em volume de 1:2:3 e fator água cimento de 0,5, utilizando agregados graúdos de diâmetro máximo igual a 9,5 mm. A verificação da resistência à compressão do concreto foi realizada por laboratório especializado que realizou a moldagem “*in loco*” de corpos-de-prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. Foram moldados 3 corpos-de-prova para cada betonada realizada pelos funcionários da empresa executora do reforço estrutural, que receberam treinamentos de qualidade e controle para que o traço dimensionado atingisse a resistência à compressão especificada pelo projetista do reforço estrutural.

2.3.2 Armaduras. As armaduras longitudinais e transversais (estribos) antes e após o reforço estrutural dos pilares foram compostas por barras de aço com os diâmetros, quantidades e espaçamentos apresentados na Tabela 2. O cobrimento de concreto para os pilares foi de 25 mm e 15 mm na menor e maior direção, respectivamente. A Figura 6 mostra detalhes das seções transversais dos pilares antes e após o reforço estrutural por encamisamento com concreto armado, e a Figura 7 mostra detalhes das armaduras transversais e longitudinais. Os pilares P21, P30 e P41 foram reforçados apenas no subsolo por ser o trecho onde esses pilares apresentaram coeficientes de segurança abaixo dos recomendados pela norma brasileira para projeto de estruturas de concreto armado para os novos carregamentos. A Figura 8 mostra o posicionamento das armaduras, onde é possível observar que, apesar dos esforços para preservar ao máximo a arquitetura original, as menores dimensões finais dos pilares, acrescidas da camada de argamassa de revestimento com 20 mm de espessura, seriam maiores que a espessura da parede.

Tabela 2. Dimensões da seção transversal e armaduras dos pilares.

| Pilar | Dimensões do pilar | | Aço | | |
|-------|------------------------|----------------|---|---|---------------------------------------|
| | Seção transversal (mm) | | Armaduras (mm) | | Tensão de escoamento de projeto (MPa) |
| | Antes do reforço | Após o reforço | Antes do reforço: Longitudinal / Estribos | Após o reforço: Longitudinal / Estribos | |
| P21 | 120 x 150 | 150 x 250 | 4Ø10,0 / Ø5,0c150 | 4Ø12,5 / Ø5,0c150 | 435 |
| P30 | | | | | |
| P41 | | | | | |

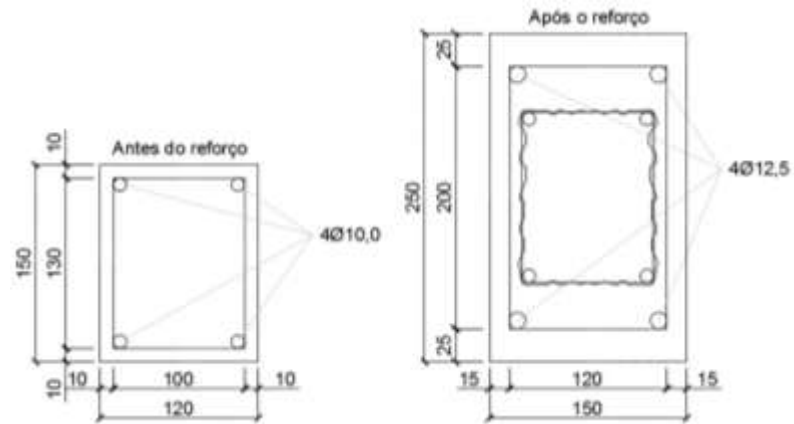


Figura 6. Seção transversal dos pilares antes e após o reforço.

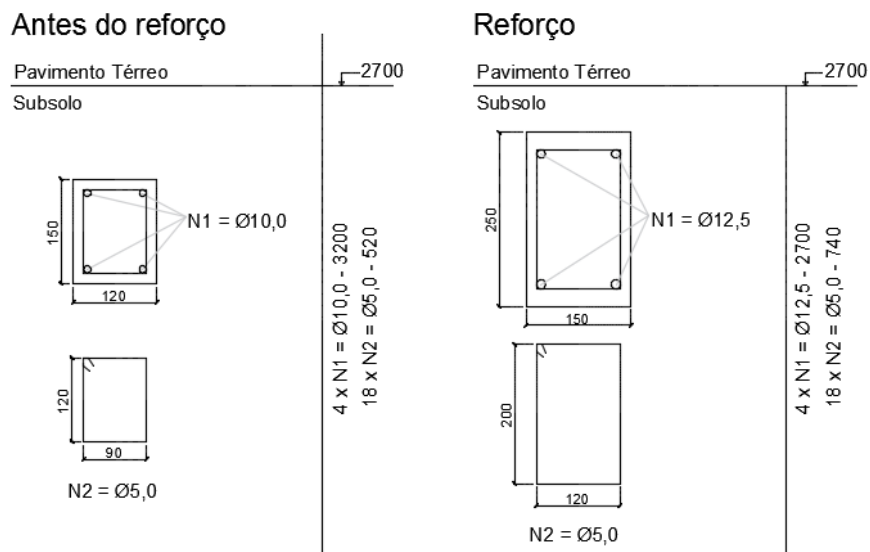


Figura 7. Armaduras dos pilares a reforçar e do reforço.



Figura 8. Armaduras longitudinais e estribos do reforço dos pilares.

2.3.3 Concretagem. Para que houvesse maior aderência entre o concreto velho e o concreto novo as superfícies dos pilares foram umedecidas para posterior lançamento do concreto. O concreto foi lançado cuidadosamente (Figura 9) e o adensamento foi realizado com vibrador de imersão com diâmetro da agulha de 20 mm, primeiramente em 50% do volume de concreto lançado em cada pilar e, posteriormente, no volume restante. Após a retirada dos moldes de madeira os pilares receberam uma camada de revestimento de argamassa para possibilitar o acabamento final, ou seja, pintura. A Figura 10 mostra o aspecto final dos pilares com as menores dimensões ultrapassando em 35 mm a espessura da parede.



Figura 9. Concretagem do reforço dos pilares.



Figura 10. Aspecto final dos pilares reforçados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Verificação da segurança dos pilares originais.

A metodologia de cálculo para verificação da segurança dos pilares sem e com reforço estrutural seguiram as recomendações normativas da NBR 6118 (ABNT, 2014). Primeiramente foi realizada uma análise simplificada onde foram determinados e comparados apenas os esforços normais solicitantes e resistentes dos pilares P21, P30 e P41 antes do reforço, com a sua força normal solicitante majorada de γ_u (Equação 1) e de um coeficiente de majoração adicional (Equação 2). Já o esforço normal resistente de cálculo foi determinado com Equação 3, sendo que a Equação 4 foi utilizada para determinar a resistência à compressão de cálculo do concreto (f_{cd}) e a Equação 5 viabiliza a determinação do coeficiente de segurança de cada pilar.

a) Parâmetros da seção transversal. A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não deve apresentar dimensão menor que 190 mm. Como a menor dimensão do pilar é inferior a 190 mm, no dimensionamento as ações devem ser multiplicadas por um coeficiente adicional γ_n , indicado na Tabela 3, onde b é a menor dimensão da seção transversal do pilar. Para os pilares analisados, $\gamma_n = 1,35$ ($b=120$ mm).

Tabela 3. Valores do coeficiente adicional γ_n NBR 6118 (ABNT, 2014)

| b (mm) | ≥ 190 | 180 | 170 | 160 | 150 | 140 | 130 | 120 |
|------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| γ_n | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 |

b) Força normal solicitante

$$N_{Sd,Eq} = \gamma_u \cdot \gamma_n \cdot N_{Sk} \quad (1)$$

$$\gamma_u = 1 + (6/b) \quad (2)$$

c) Força normal resistente da seção transversal

$$N_{Rd} = 0,75 \cdot f_{cd} A_c + f_{yd} \cdot A_s \quad (3)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (4)$$

d) Verificação da segurança

$$\gamma_f = \frac{N_{Rd}}{N_{sd}} \quad (5)$$

O esforço normal solicitante (N_{Sk}) foi obtido através do programa Altoqi Eberick 2002 e os resultados encontrados com a análise preliminar para os coeficientes de segurança dos pilares P21, P30 e P41 antes do reforço não atendem aos requisitos de segurança normativos, como apresentado na Tabela 4. Já a Figura 11 mostra as envoltórias dos esforços resistentes para esses pilares, ou seja, com a consideração dos momentos fletores solicitantes e resistentes característicos, sem qualquer coeficiente de majoração ou minoração das ações. Neste caso,

observa-se que os momentos fletores são preponderantes e desestabilizam os pilares (Marí & Helleland, 2005), o que não ocorreu porque os carregamentos que solicitaram a estrutura foram significativamente inferiores aos considerados em seu dimensionamento. Também é possível concluir nesta análise mais aprimorada que o progresso da corrosão nas armaduras reduziria significativamente a capacidade resistente dos pilares à flexão e mesmo que os carregamentos máximos previstos em projeto não ocorressem, pequenos acréscimos poderiam causar a perda de estabilidade dos pilares (Tang & Yang, 2011), ficando evidente a necessidade de reforço desses pilares.

Tabela 4. Coeficientes de segurança dos pilares antes do reforço

| Pilar | f_{ck} (MPa) | f_{cd} (MPa) | f_{yd} (MPa) | A_c (mm ²) | A_s (mm ²) | γ_u | γ_n | N_{Sk} (kN) | $N_{Sd,Eq}$ (kN) | N_{Rd} (kN) | γ_f |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------------|---------------------|------------------|------------|
| P21 | 13,7 | 9,9 | 435 | 18000 | 482 | 1,5 | 1,35 | 119 | 240 | 155 | 0,65 |
| P30 | 20,1 | 14,4 | | | | | | 198 | 400 | 215 | 0,54 |
| P41 | 14,7 | 10,5 | | | | | | 176 | 356 | 164 | 0,46 |

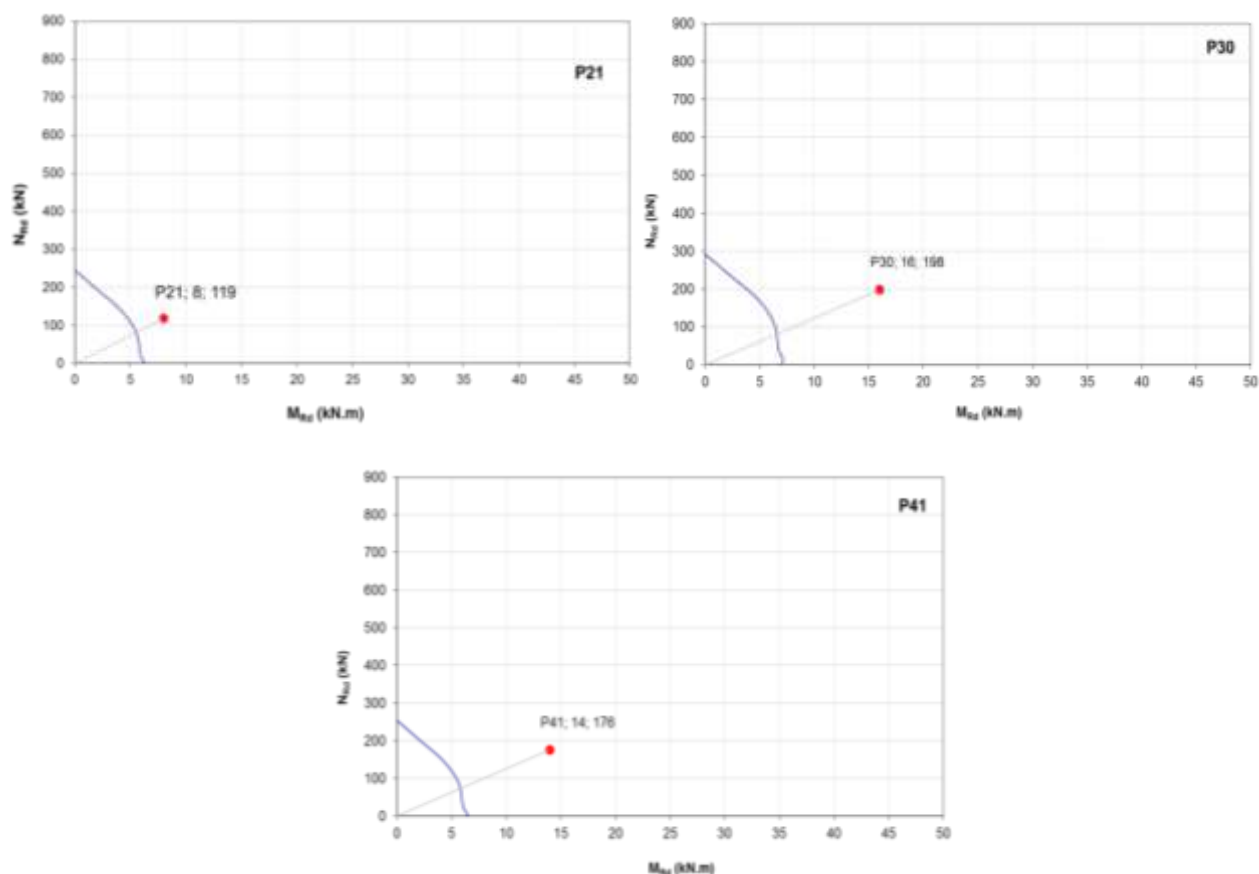


Figura 11. Envoltórias dos pilares 21, 30 e 41 antes do reforço.

3.2 Verificação da segurança dos pilares reforçados.

A verificação da segurança no cálculo dos pilares P21, P30 e P41 reforçados foi baseada nas recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014) seguindo os mesmos critérios utilizados para os pilares originais, sem reforço. Os resultados são apresentados através das envoltórias da Figura 12. Os coeficientes de segurança de cada pilar foram determinados pela relação entre o comprimento

da linha reta da origem à envoltória para o reforço, passando pelo ponto relativo às solicitações, e a distância desse ponto à origem, e são apresentado na Tabela 5.

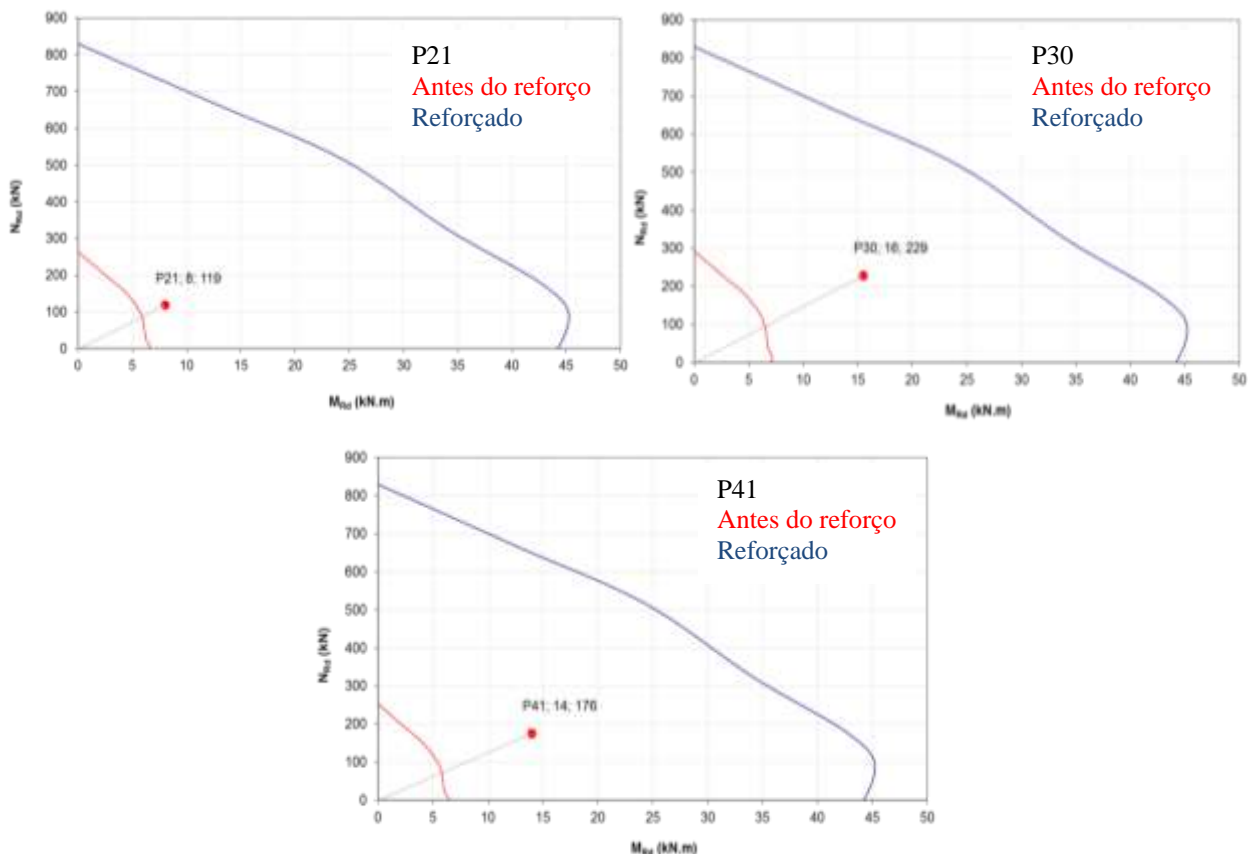


Figura 12. Envoltórias dos pilares 21, 30 e 41 reforçados.

Tabela 5. Valores dos coeficientes de segurança

| Pilar | Coefficiente de segurança final |
|-------|---------------------------------|
| P21 | 3,5 |
| P30 | 1,8 |
| P42 | 2,1 |

4. CONCLUSÕES

Foram apresentados problemas estruturais que levaram à necessidade de reforçar os pilares P21, P30 e P41 da edificação histórica Casarão, por não atenderem às recomendações da norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014). Considera-se que a técnica de reforço estrutural proposta para estes pilares, através do encamisamento com concreto armado, foi viável em virtude das vantagens econômicas, rapidez de execução e coerência com o projeto arquitetônico. Sua aprovação foi comprovada na verificação dos parâmetros de cálculo normativos, ressaltando que a intervenção executada nos elementos estruturais, por mais simples que seja, foi precedida de

análise estrutural com programas computacionais atuais e aumentou a segurança dos pilares da edificação histórica para níveis satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Secretaria de Estado de Infraestrutura e Obras Públicas do Acre - SEOP, IPEAM, TEGAM e COC - unidade Rio Branco.

REFERÊNCIAS

- Associação brasileira de normas técnicas (2014), “*NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*” (Rio de Janeiro, Brasil: ANBT), p. 238.
- Júlio, E. S.; Branco, F.; Silva, V. D. (2003), “*Structural Rehabilitation of Columns using Reinforced Concrete Jacketing*”, *Progress in Structural Engineering and Materials*, V.5, pp. 29-37.
- Marí, A.; Hellesland, J. (2005), “*Lower Slenderness Limits for Rectangular Reinforced Concrete Columns*”, [Journal of Structural Engineering](#), V.131, pp. 85-95.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014), “*Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*” (São Paulo, Brasil: Nicole Pagan Hasparyk), p.782.
- Tang, C. H.; Yang, Y. C. (2011), “*Loading Correlation for Reliability Analysis of Reinforced Concrete Columns*”, [Advanced Materials Research](#), V.243-249, pp.396-405.