

MODIFICAÇÃO DE USO (RETROFIT) DE EDIFICAÇÕES: IMPACTO ESTRUTURAL

USE MODIFICATION (RETROFIT) OF BUILDINGS: STRUCTURAL IMPACT

Valdir Moraes Pereira^{1*}, Ana Carolina Fernandes², Nestor Kenji Yoshikawa³

¹ Doutor, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, valmop@gmail.com

² Mestre, Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo, SP, anacarol.fernandes@live.com

³ Doutor, Universidade São Judas Tadeu (USJT), São Paulo, SP, prof.nestoryoshikawa@usjt.br

* Autor de correspondência

Resumo

A readequação/retrofit do layout interno de edificações pode ser realizada para modificação de uso, modernização de edificações e/ou para atender às exigências normativas atuais. Quando isso ocorre, é importante que seja feita uma análise estrutural da edificação visando verificar se esta possui capacidade de resistir aos carregamentos do novo uso, verificando se as novas cargas são compatíveis com a estrutura existente. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de analisar os impactos da modificação do uso em uma edificação fictícia, considerando a modificação de uso residencial para o uso como uma escola. Para isso, foram realizados dois modelos estruturais (um para cada uso) e realizadas comparações por meio das diferenças percentuais entre as armaduras dimensionadas para os elementos estruturais da edificação. Os resultados mostraram que a modificação de uso ocasionou alterações dos esforços internos solicitantes e, conseqüentemente, na quantidade de aço necessária das lajes, vigas e pilares da edificação. As maiores alterações de quantidade de armadura foram verificadas nas lajes e vigas, que ocorreu em até, respectivamente, 72,7% e 50,0%; essas alterações não foram tão significativas nos pilares, cujas armaduras aumentaram em até 25,0%. Dessa forma, observou-se quantitativamente a necessidade da realização de uma análise estrutural de edificações quando estas são submetidas a modificação do uso devido aos novos carregamentos que podem ocorrer quando sua utilização é modificada.

Palavras-chave: Análise estrutural, modelagem estrutural, modificação de uso, retrofit.

Abstract

Readjustment/retrofit of the internal layout of buildings can be conducted to modify the use, modernization of buildings and / or to meet current regulatory requirements. When this occurs, it is important to conduct a structural analysis of the building to verify if this resistant capacity to support the loads of the new use, verifying if the new loads are compatible with an existing structure. Thus, the present work aims to evaluate the impacts of use modification in a fictitious building, considering the modification of residential use for use as a school. For this, two models were performed (one for each use) and comparisons were made through the percentage differences between the dimensioned reinforcement for the gate elements of the building. The necessary results that the change of use caused changes in the internal efforts required and, consequently, in the amount of steel needed for the slabs, beams and pillars of the building. The biggest changes in the amount of reinforcement were verified in the slabs and beams, which occurred in up to, respectively, 72.7% and 50.0%; these changes were not as important on the pillars, form tattoos increased by up to 25.0%. Thus, it is quantitatively observed the need to carry out a structural analysis of buildings when they are subjected to change in use due to new loads that may occur when their use is modified.

Keywords: Retrofit, structural modelling, structural analysis, use modification.

1 INTRODUÇÃO

A modificação de uso de edifícios ou readequação de seus ambientes internos pode ser realizada por diversos motivos, seja pela falta de áreas/terrenos com dimensões satisfatórias para a construção de novas edificações, visando a preservação histórica de edifícios existentes ou quando pretende-se atualizar o conjunto habitacional para a vida e padrões tecnológicos devido ao surgimento de novas realidades sociais e culturais (MIRANDA et al., 2015; SCUDERI, 2019). Essa readequação também pode ser vista como uma estratégia em favor da sustentabilidade, posto que são causados menores danos ao meio ambiente, principalmente, no que diz respeito ao consumo de novas quantidades de matérias-primas e gastos energéticos com a construção de novas edificações.

Segundo Martins e Claro (2019), nas cidades brasileiras, as mudanças a serem introduzidas pelo retrofit devem ser associados a um planejamento objetivando o seu reuso, dentro de um contexto definido pelas características locais que considerem tipologias de edificação de acordo com as demandas locais. Cabe, portanto, a engenharia adequar os materiais e métodos construtivos estruturais para uma melhor adaptação a esta condição, visando a melhor relação custo-benefício.

A preocupação com a degradação de materiais é o fator preponderante sob o ponto de vista de recuperação; no entanto, o conceito de retrofit, sob o ponto de vista arquitetônico, deve ser aplicado sempre em harmonia com o tecido urbano. Dunhan-Jones e Williamson (2011), entendem que há três estratégias para aplicar este conceito: re-habitação, re-desenvolver e trazer áreas verdes na malha urbana.

As edificações do Brasil, podem ser consideradas como relativamente “jovens”, posto que foram construídas há, aproximadamente, 60 a 80 anos; são consideradas “jovens”, principalmente, quando comparadas com as primeiras estruturas de concreto armado, as quais foram construídas por volta de 1901 (HELENE, 2007; MIRANDA et al., 2015); no entanto, algumas destas edificações, principalmente, as construídas nas grandes capitais do país, apresentam-se degradadas pelo processo natural de perda de vida útil devido às intempéries e ao seu uso (MORAES e QUELHAS, 2011). Além do processo de degradação, existe também o problema que essas edificações possuem infraestrutura obsoleta e equipamentos com tecnologias ultrapassadas, sendo a sua readequação uma oportunidade para garantir os padrões de qualidade e de desempenho atuais (MORAES e QUELHAS, 2011).

A realização de reabilitações e/ou modificação do uso de uma edificação é denominada no meio técnico como retrofit e pode ser definida, conceitualmente, como uma remodelagem ou atualização de um edifício ou conjunto de sistemas, tendo como objetivo a sua modernização, melhorias no desempenho de sistemas ineficientes ou ultrapassados, reabilitação de um edifício para uso diferente do qual foi projetado, resultando em uma requalificação da edificação com qualidade e um custo geral viável (VALE, 2006). No entanto, deve-se ressaltar que há restrições quando se trata de patrimônios históricos, principalmente, no que diz respeito à legislação (MARTINS e DOS PASSOS CLARO, 2019).

No que diz respeito ao retrofit de edificações, a avaliação do seu desempenho estrutural é de fundamental importância, pois deve-se garantir que a readequação atenda aos requisitos de segurança e mantenha a capacidade resistente da estrutura devido ao novo uso (verificação estrutural para a nova finalidade). O retrofit também traz a oportunidade de realizar medidas

corretivas para que a edificação atenda às exigências normativas atuais (CROITOR e MELHADO, 2009; MIRANDA et al, 2015).

A definição do tipo de uso de um edifício é fundamental para a concepção de um projeto estrutural, pois, de acordo com o tipo, são determinados os carregamentos que devem ser atribuídos à estrutura, que interferem diretamente na modelagem e dimensionamento dos elementos estruturais. A mudança de uso de um edifício pode ocasionar o aumento de carregamentos e o surgimento de cargas não previstas no projeto anterior. Com isso, as dimensões dos elementos estruturais e suas armaduras devem ser analisadas, visando a determinação dos esforços solicitantes atuais e avaliação se a estrutura possui a capacidade de resisti-los, de modo que a capacidade resistente dos elementos estruturais seja superior aos esforços atuantes (SOUZA, 2004; MORAES e QUELHAS, 2012; ABNT, 2014; ABNT, 2019).

A alteração dos carregamentos acidentais em diferentes tipos de uso de uma edificação, como por exemplo, os relacionados a um edifício residencial, comercial, industrial ou de uso público, podem fazer com que a estrutura não resista aos novos esforços provenientes do novo destino que foi atribuído a ela e, portanto, devem ser realizadas técnicas para reforçar os elementos estruturais, aumentando sua capacidade resistente a fim de que a estrutura não atinja o seu estado-limite (ADORNO, DIAS e SILVEIRA, 2015).

Neste trabalho é realizado um exemplo típico de redimensionamento das estruturas, como proposta metodológica de retrofit, vista não simplesmente como recuperação estrutural, apesar de ser fundamental, mas com enfoque na segurança e risco, com a preservação das características urbanísticas originais.

Dessa maneira, o presente trabalho tem o objetivo de realizar uma análise dos impactos estruturais em uma edificação que inicialmente foi projetada para uso residencial e, posteriormente, sofreu um retrofit ao ter seu tipo de uso modificado para se tornar uma escola técnica. Para essa avaliação foram elaborados os modelos estruturais e comparadas as quantidades de aço necessárias para atender aos dois tipos de uso da edificação, simulando a readequação (retrofit) do edifício.

2 MÉTODOS DE TRABALHO

O estudo do presente trabalho consistiu em avaliar as alterações que a modificação de uso pode ocasionar nas quantidades de aço necessárias para os elementos estruturais em concreto armado (lajes, vigas e pilares) em função das mudanças dos carregamentos atuantes na estrutura. Para isso, foi projetado um edifício de 4 pavimentos com uso residencial (Etapa I) e modificado o uso para uma escola técnica (Etapa II). As Figuras 1 e 2 apresentam as plantas arquitetônicas da edificação com uso residencial (Etapa I) e as Figuras 3 até 5 apresentam as plantas arquitetônicas da edificação com a modificação de uso (escola técnica) (Etapa II).

Na Etapa II (uso escola técnica) há plantas do pavimento 1 (Figura 3), pavimento tipo (2 e 3) (Figura 4) e pavimento 4 (Figura 5), o qual foi utilizado como biblioteca.

As modificações do uso implicaram em alterações do layout interno do edifício; principalmente, nas posições das alvenarias, que delimitam os ambientes.

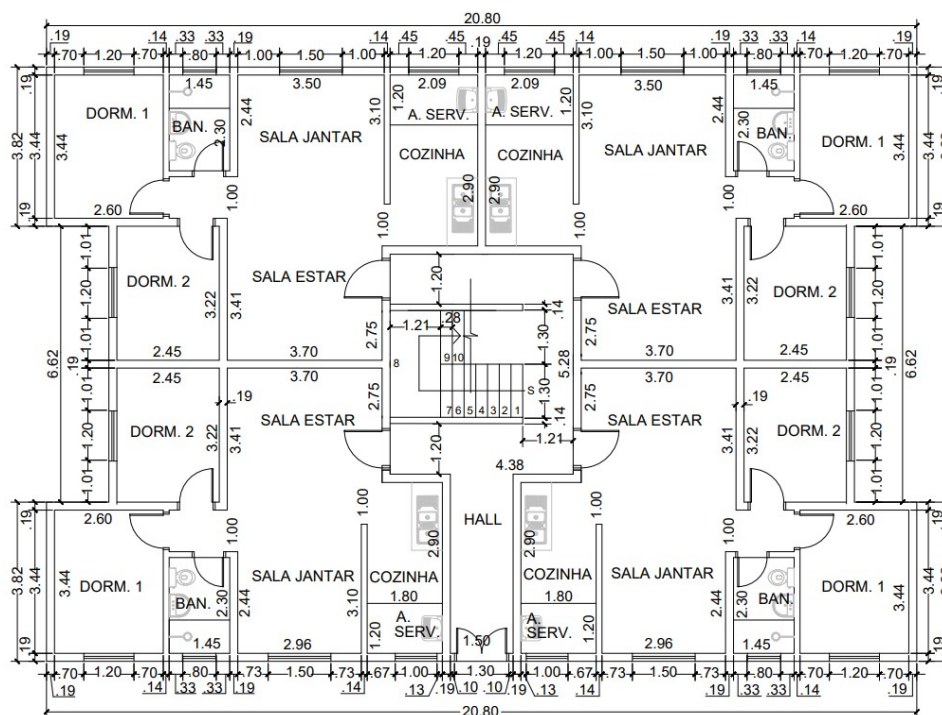
A partir dos projetos, foram realizados dois modelos estruturais no programa TQS® (modelo estrutural da Etapa I e modelo estrutural da Etapa II). Os modelos estruturais diferiram-se pela locação/posicionamento das alvenarias (cargas permanentes), devido à modificação do

layout, e pelas modificações de carregamentos acidentais, devido à alteração do tipo de uso em cada pavimento (ABNT, 2019).

Salienta-se que o pavimento de cobertura não foi apresentado no trabalho pois não foi alterado da Etapa I para a Etapa II e, conseqüentemente, não ocorreram modificações devido à mudança de uso da edificação.

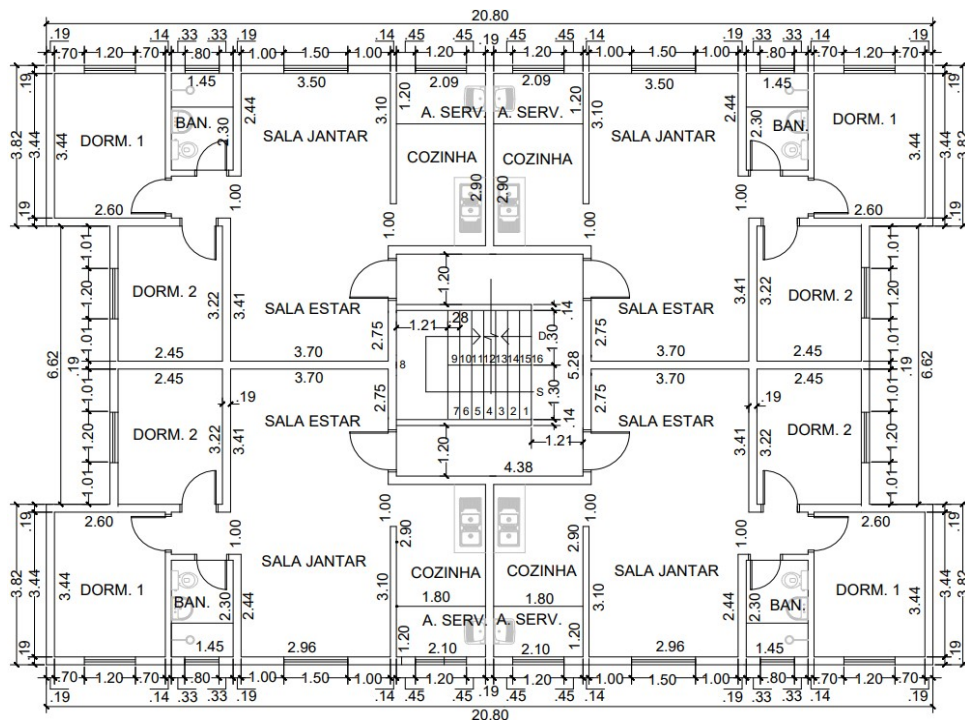
As etapas do dimensionamento da edificação são apresentadas a seguir:

- Definição do projeto arquitetônico no software AutoCAD. O edifício foi projetado com quatro (4) pavimentos, sem elevador:
 - Etapa I: quatro (4) apartamentos por andar, sem elevador, sendo os cômodos especificados como sala, cozinha, banheiro e dois dormitórios;
 - Etapa II: pavimentos 1, 2 e 3 com salas de aula, laboratórios e salas de estudo e pavimento 4 com biblioteca, sala de estudos e secretaria;
- Modelagem estrutural do edifício (lajes, vigas e pilares) no software TQS®;
- Definição das plantas de fôrmas (geometria da estrutura);
- Lançamento dos carregamentos permanentes e acidentais referentes a uma edificação de uso residencial (Etapa I) e escola técnica (Etapa II) segundo a NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019). Às cargas permanentes ocasionadas por revestimentos de pisos foi atribuído um valor de 1 kN/m² e, para as cargas permanentes referentes as alvenarias (ver Tabela 2);
- Dimensionamento estrutural, fornecido automaticamente pelo no software TQS®.



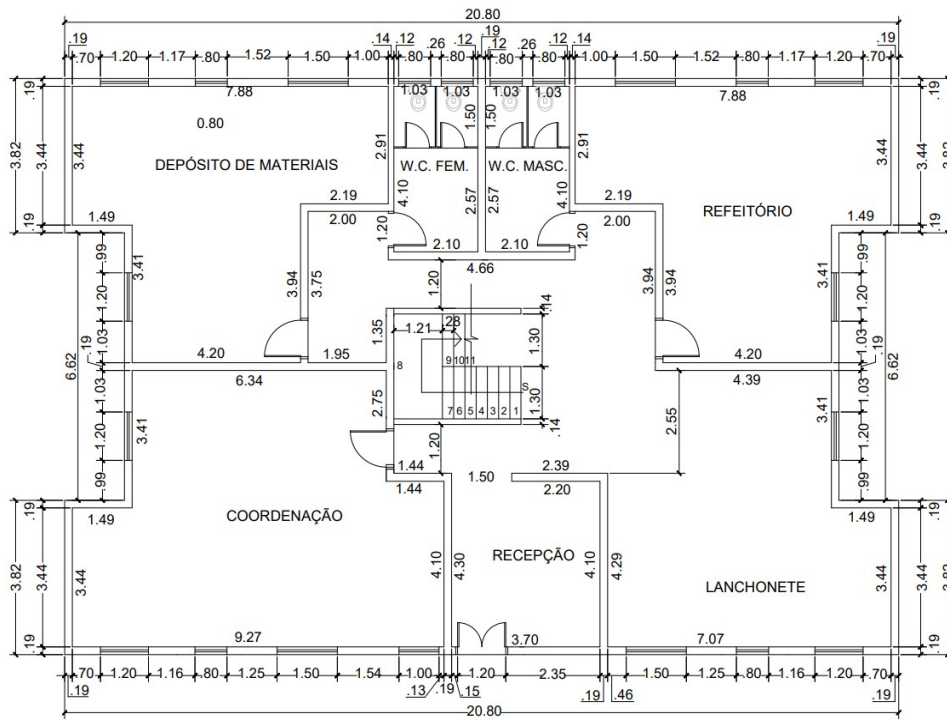
Fonte: Autores (2022).

Figura 1 – Planta de arquitetura: Pavimento 1 (térreo) – Etapa I – Uso: Residencial.



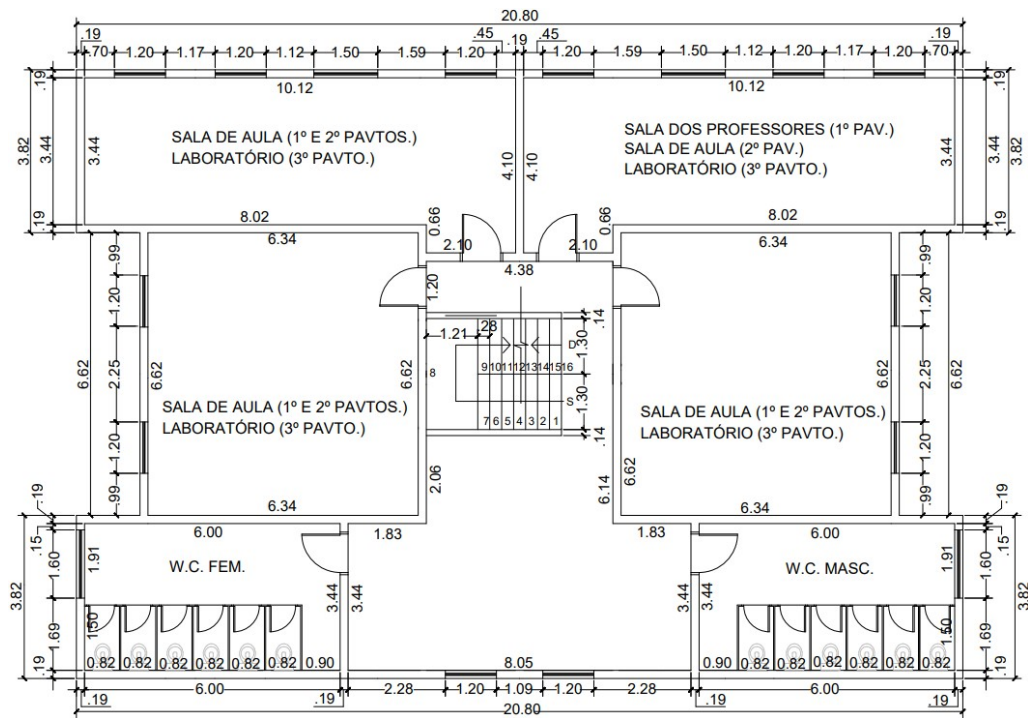
Fonte: Autores (2022).

Figura 2 – Planta de arquitetura: Pavimentos 2 a 4 (tipo) – Etapa I – Uso: Residencial.



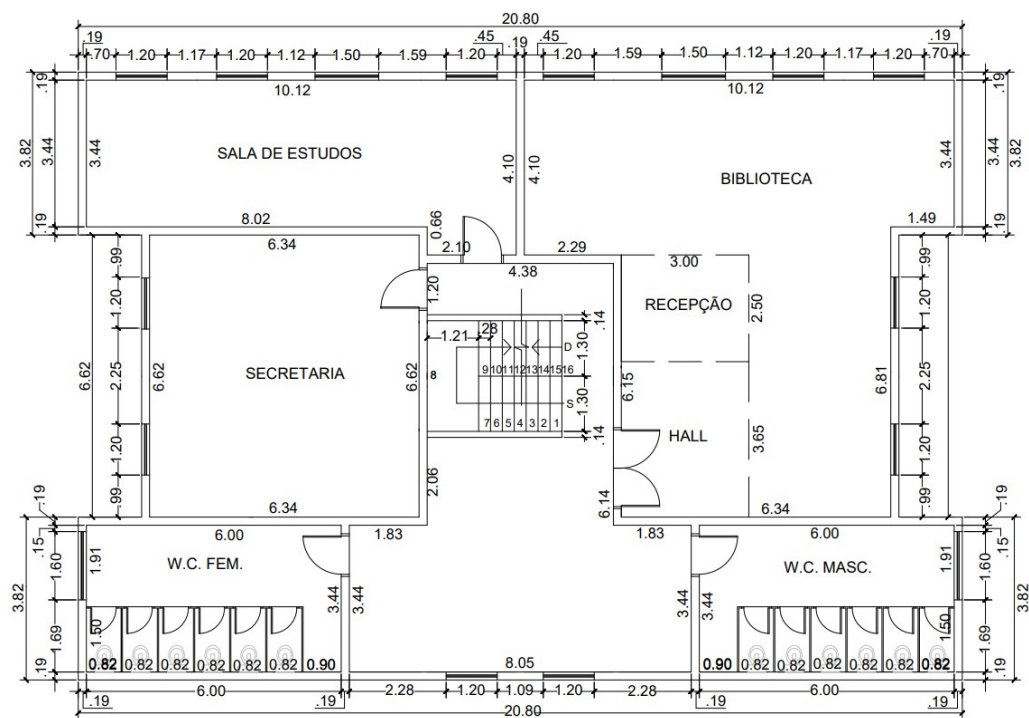
Fonte: Autores (2022).

Figura 3 – Planta de arquitetura: Pavimento 1 (térreo) – Etapa II – Uso: Escola técnica.



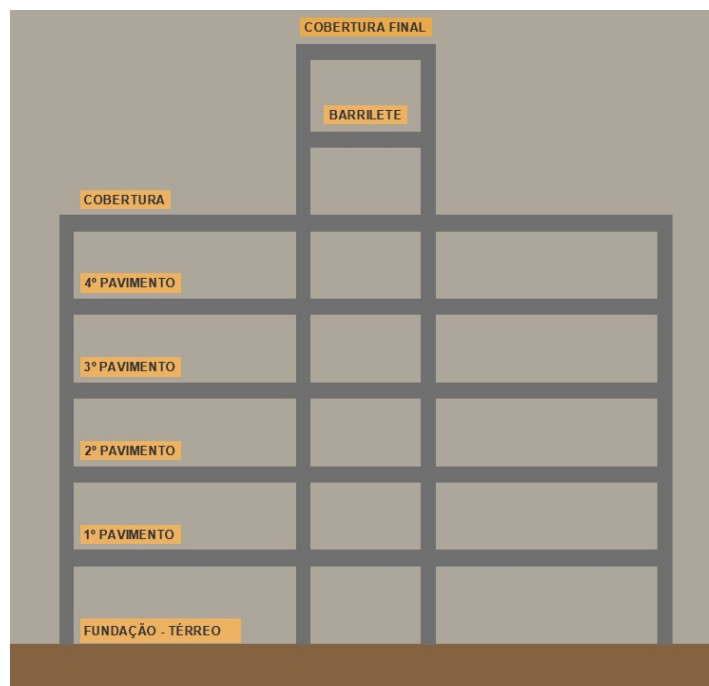
Fonte: Autores (2022).

Figura 4 – Planta de arquitetura: Pavimentos 2 e 3 (tipo) – Etapa II – Uso: Escola técnica.



Fonte: Autores (2022).

Figura 5 – Planta de arquitetura: Pavimento 4 – Etapa II – Uso: Escola técnica.



Fonte: Autores (2022).

Figura 6 – Esquema ilustrativo da distribuição vertical dos pavimentos da edificação.

Tabela 1 – Divisão de ambientes das Etapas I e II.

| Pavimentos | Divisão de ambientes (Etapa I) | Divisão de ambientes (Etapa II) |
|---------------------|---|---|
| Fundação/ Térreo | 4 apartamentos; Hall de entrada; Escada de acesso aos pavimentos superiores | Depósito de materiais Sanitários Refeitório e lanchonete Recepção Coordenação Escada de acesso aos pavimentos superiores |
| Pavimento 1 | 4 apartamentos; Escada de acesso aos pavimentos superiores | Salas de aula 1, 2 e 3 Sala dos professores Sanitários Escada de acesso aos pavimentos superiores |
| Pavimento 2 | 4 apartamentos; Escada de acesso aos pavimentos superiores | Salas de aula 1, 2, 3 e 4 Sanitários Escada de acesso aos pavimentos superiores |
| Pavimento 3 | 4 apartamentos; Escada de acesso aos pavimentos superiores | Laboratórios 1, 2, 3 e 4 Sanitários Escada de acesso aos pavimentos superiores |
| Pavimento 4 | 4 apartamentos; Escada de acesso aos pavimentos superiores | Sala de estudos Biblioteca Secretaria Sanitários Escada de acesso aos pavimentos superiores |
| Cobertura | Cobertura do edifício; Escada de acesso aos pavimentos superiores | Cobertura do edifício Escada de acesso aos pavimentos superiores |
| Barrilete | Caixas d'água | Caixas d'água |
| Cobertura Final | Cobertura final do edifício | Cobertura final do edifício |

Fonte: Autores (2022).

Os carregamentos de alvenarias (cargas permanentes) utilizados no trabalho são apresentados na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta os carregamentos atribuídos nos pavimentos da edificação na Etapa I e a Tabela 4 apresenta os carregamentos atribuídos na Etapa II.

Tabela 2 – Cargas de alvenarias.

| | |
|--|---|
| Bloco de concreto | Peso específico dos blocos ¹ |
| Espessura = 14cm Revestimentos: Gesso + Gesso | 2,1 kN/m ² |
| Espessura = 19cm Revestimentos: Azulejo ou Argamassa + Azulejo ou Argamassa | 3,2 kN/m ² |
| Espessura = 19cm Revestimentos: Gesso + Azulejo ou Argamassa | 3,2 kN/m ² |
| Espessura = 19cm Revestimentos: Gesso + Azulejo ou Argamassa | 2,7 kN/m ² |

¹ Valores multiplicados pela altura da alvenaria para resultar em cargas lineares de alvenarias.

Fonte: Autores (2022).

Tabela 3 – Carregamentos atribuídos aos ambientes da Etapa I (uso: residencial).

| Ambiente | Cargas acidentais (lajes) | Cargas permanentes distribuídas nas lajes |
|--|---------------------------|---|
| Dormitórios; salas; cozinhas; sanitários | 1,5 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Áreas de serviço | 2,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Corredores de uso comum | 3,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Escadas de uso comum | 3,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Cobertura | 1,0 kN/m ² | Proteção mecânica + impermeabilização |

Fonte: Autores (2022).

Tabela 4 – Carregamentos atribuídos aos ambientes da Etapa II (uso: escola técnica).

| Ambiente | Cargas acidentais distribuídas nas lajes | Cargas permanentes distribuídas nas lajes |
|--|--|---|
| Salas de aula, laboratórios e salas de estudos | 3,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Banheiros | 2,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Corredores de uso comum | 3,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Escadas de uso comum | 5,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Secretaria e sala administrativa | 2,5 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Biblioteca (estantes de livros) | 6,0 kN/m ² | 1,0 kN/m ² ¹ |
| Cobertura | 1,0 kN/m ² | Proteção mecânica + impermeabilização |
| Barrilete | 1,0 kN/m ² | Impermeabilização + caixa d'água |
| Cobertura final | 1,0 kN/m ² | Impermeabilização |
| Proteção mecânica ² | - | 2,0 kN/m ² |
| Impermeabilização ³ | - | 2,0 kN/m ² |
| Caixas d'água ⁴ | - | 24,0 kN/m ² |

¹ Carregamentos referentes a revestimento de piso;

² Carregamento considerado nos pavimentos: cobertura e cobertura final;

³ Carregamentos considerado nos pavimentos: cobertura, barrilete e cobertura final;

⁴ Carregamento baseado em dimensionamento de caixas d'água segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020). Foram consideradas duas caixas d'água de dez (10) mil litros.

Fonte: Autores (2022).

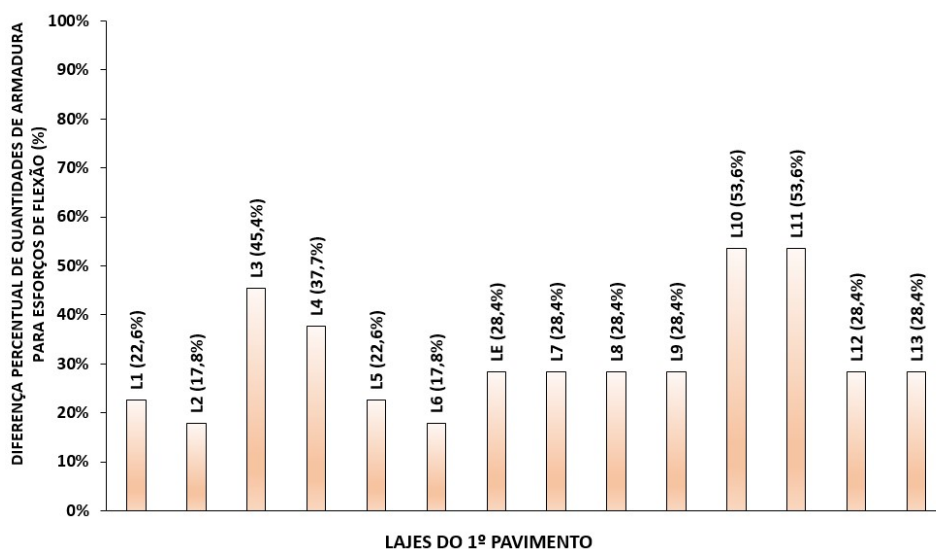
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Armaduras das lajes

Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentadas as modificações percentuais de quantidades de aço dimensionadas para as lajes. Avaliando-se o modelo estrutural, verificou-se um aumento percentual médio de, aproximadamente, 25% nos esforços internos solicitantes de momento fletor nas lajes do pavimento 1 quando o uso da edificação foi modificado (Etapa I para Etapa II). Esse aumento também foi observado nos momentos fletores das lajes dos pavimentos tipo (2 e 3), bem como do pavimento 4, que tiveram aumento nos momentos fletores de, respectivamente, em média, 25% e 39%. O aumento dos esforços internos de momentos fletores no pavimento 4 foi mais significativo devido ao carregamento acidental ter aumentado de 1,5 kN/m² (Etapa I) para 6,0 kN/m² (Etapa II).

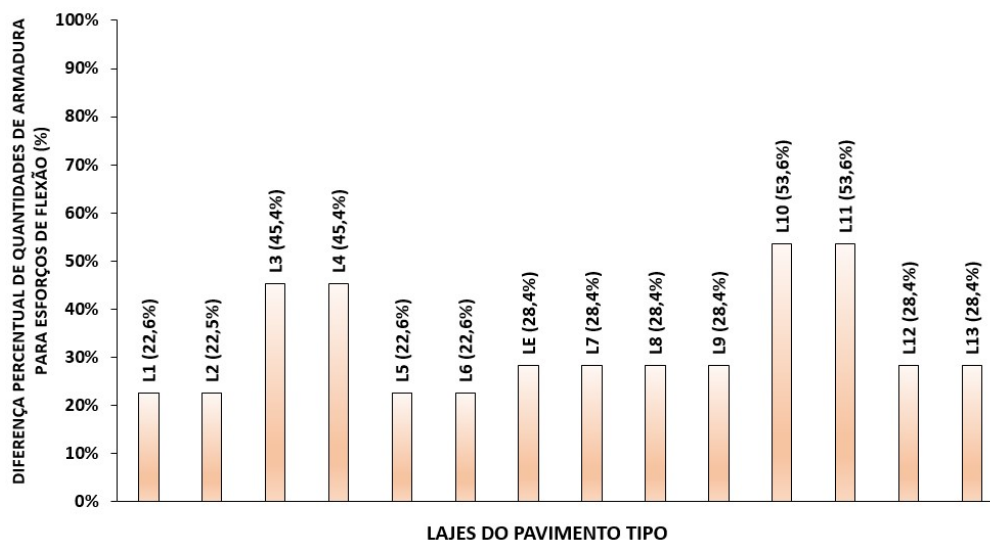
Na Figura 7 (pavimento 1) observa-se que o aumento percentual de quantidade de aço chegou até 53,6% (lajes L10 e L11); implicando que estas lajes deveriam ser reforçadas estruturalmente. Comportamento idêntico foi obtido para as mesmas lajes do pavimento tipo (2 e 3) (Figura 8).

Na Figura 9 são apresentadas as diferenças percentuais de quantidade de aço das lajes do pavimento 4. Verificou-se que as lajes deste pavimento apresentaram as maiores alterações, aumentando, em até, 72,7 % (laje L4) as quantidades de aço quando o uso da edificação foi alterado. Isso ocorreu devido ao aumento significativo da carga acidental neste pavimento, pois este pavimento passou a ter uso de uma biblioteca (carga acidental de 6,0 kN/m²) (Etapa II), enquanto na Etapa I, o pavimento era utilizado como apartamentos (carga acidental de 1,5 kN/m²).



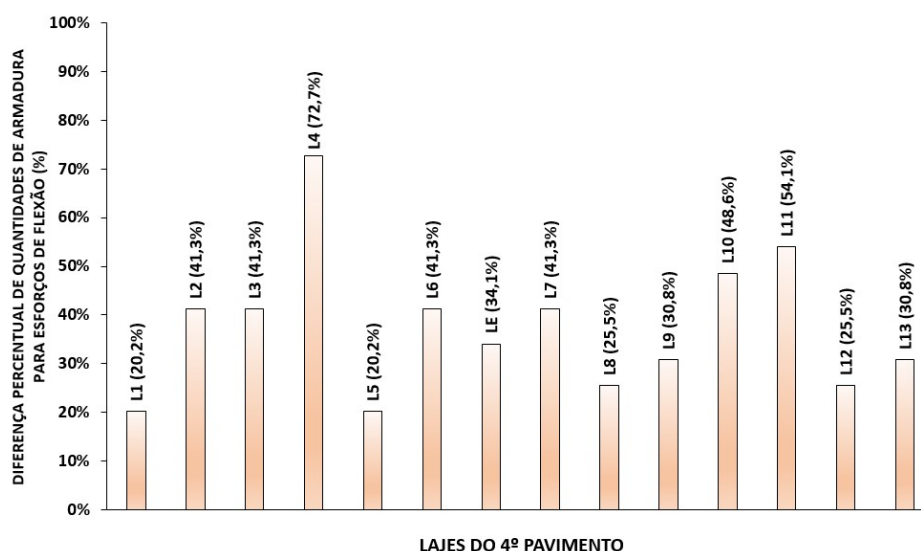
Fonte: Autores (2022).

Figura 7 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (flexão) nas lajes em função da modificação de uso – Pavimento 1.



Fonte: Autores (2022).

Figura 8 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (flexão) nas lajes em função da modificação de uso – Pavimento tipo (2 e 3).



Fonte: Autores (2022).

Figura 9 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (flexão) nas lajes em função da modificação de uso – Pavimento 4.

De maneira geral, verificou-se que todas as lajes da edificação deveriam receber reforço estrutural devido à modificação do uso, pois a alteração do uso ocasionou aumento de quantidade de aço compreendidos entre 17,86 % até 72,7%.

3.2 Armaduras das vigas

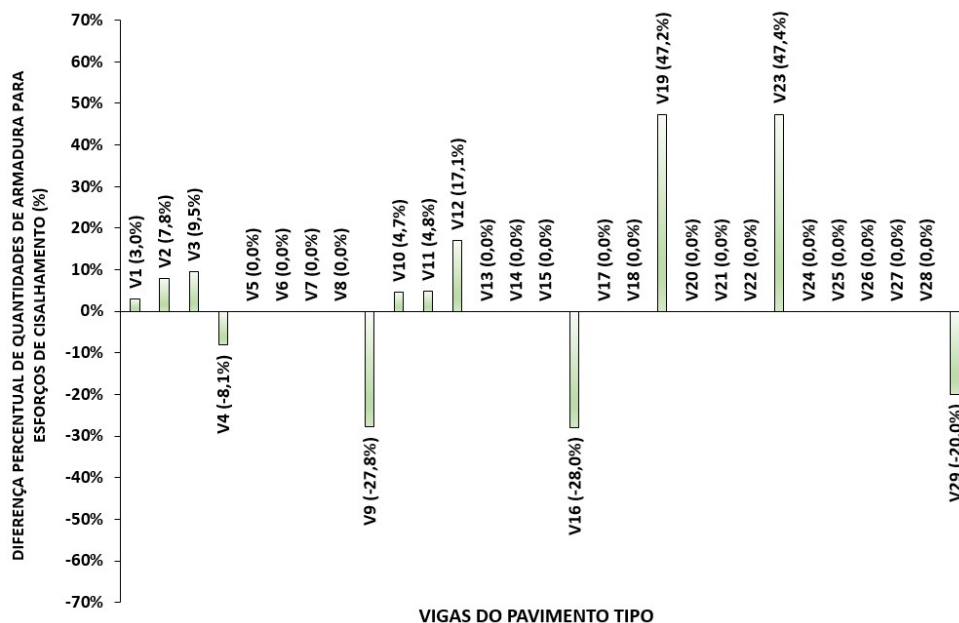
As diferenças percentuais das quantidades de aço referentes às armaduras transversais para resistir aos esforços de cisalhamento verificadas nas vigas devido à força cortante em função da modificação do uso são apresentadas nas Figuras 10, 11 e 12. Observou-se que em algumas vigas, as quantidades de aço diminuíram, como ocorreu nas vigas V1, V4, V9, V16 do pavimento 1

(Figura 10), do pavimento tipo (2 e 3) (Figura 11) e do pavimento 4 (Figura 12). Isso ocorreu devido à alteração da disposição/localização das alvenarias de vedação nestes pavimentos, pois na Etapa I havia alvenarias de vedação sobre as vigas e na Etapa II as alvenarias foram removidas devido ao retrofit e modificação do layout dos pavimentos. Por outro lado, a maioria das vigas apresentaram aumento de quantidades de aço das armaduras de cisalhamento devido a mudança de uso.



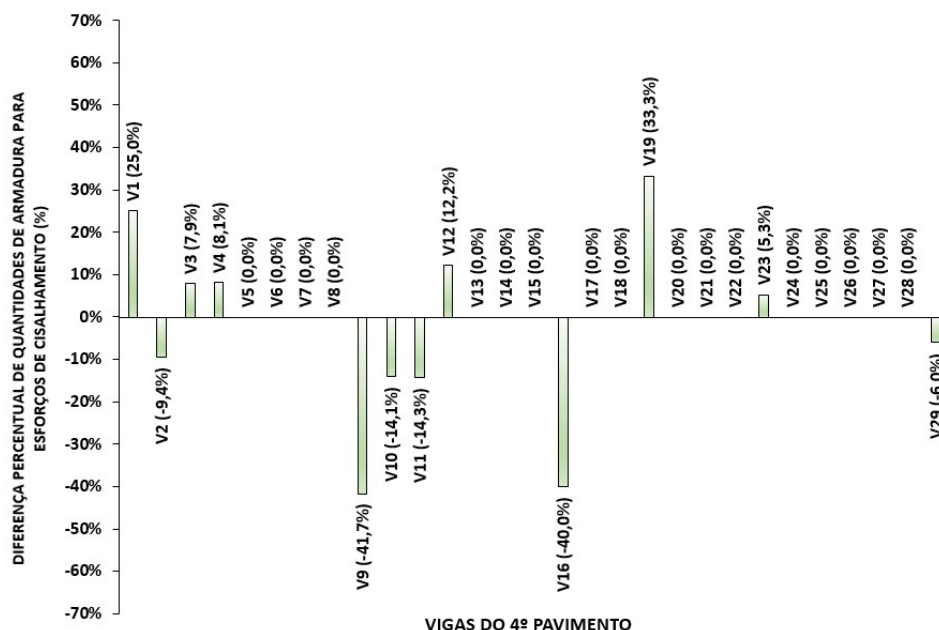
Fonte: Autores (2022).

Figura 10 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (cisalhamento) nas vigas em função da modificação de uso (forças cortantes) – Pavimento 1.



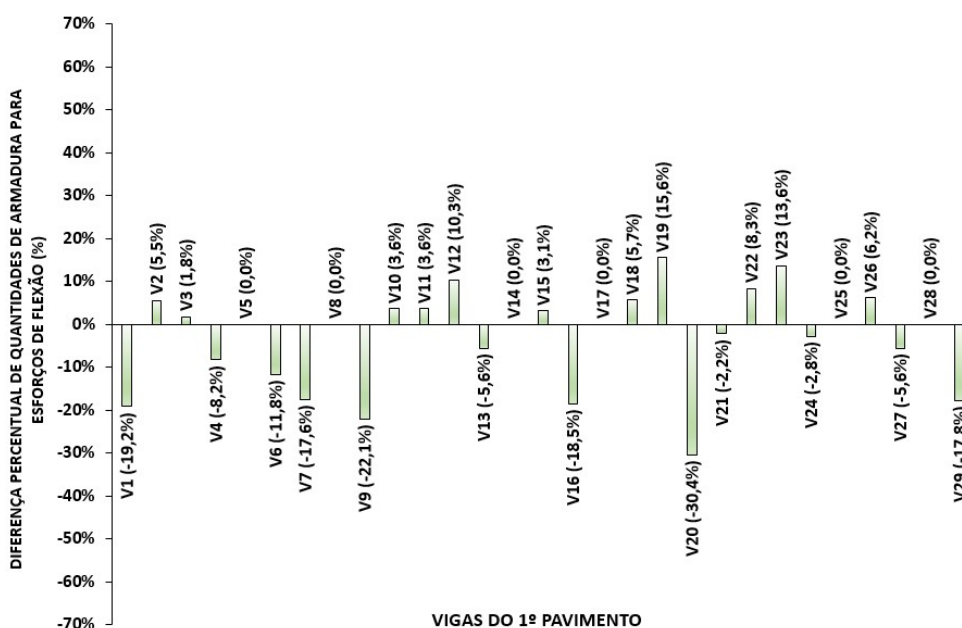
Fonte: Autores (2022).

Figura 11 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (cisalhamento) nas vigas em função da modificação de uso (forças cortantes) – Pavimento Tipo (2 e 3).



Fonte: Autores (2022).

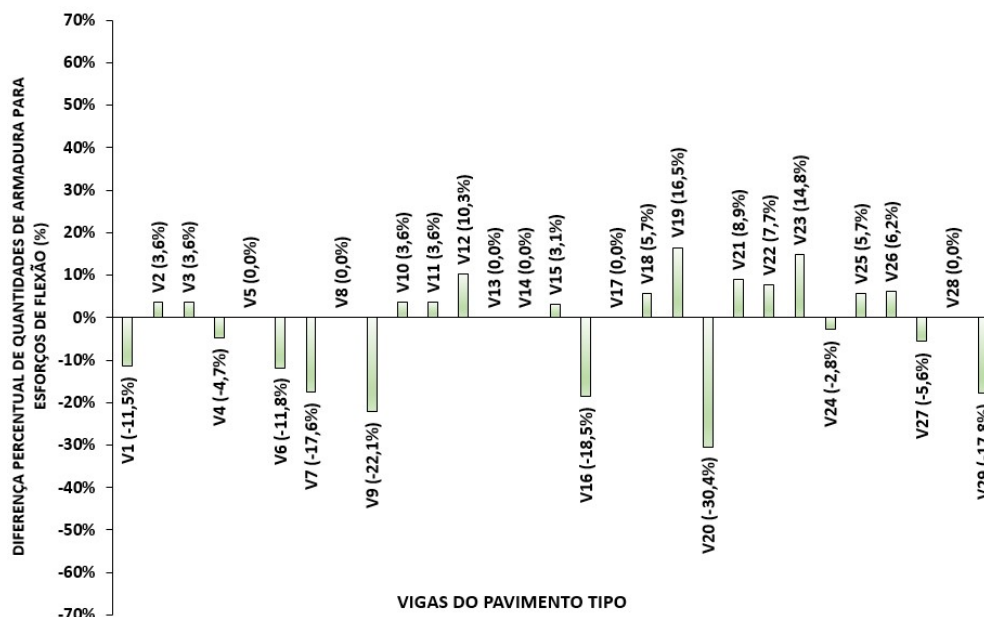
Figura 12 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (cisalhamento) nas vigas em função da modificação de uso (forças cortantes) – Pavimento 4.



Fonte: Autores (2022).

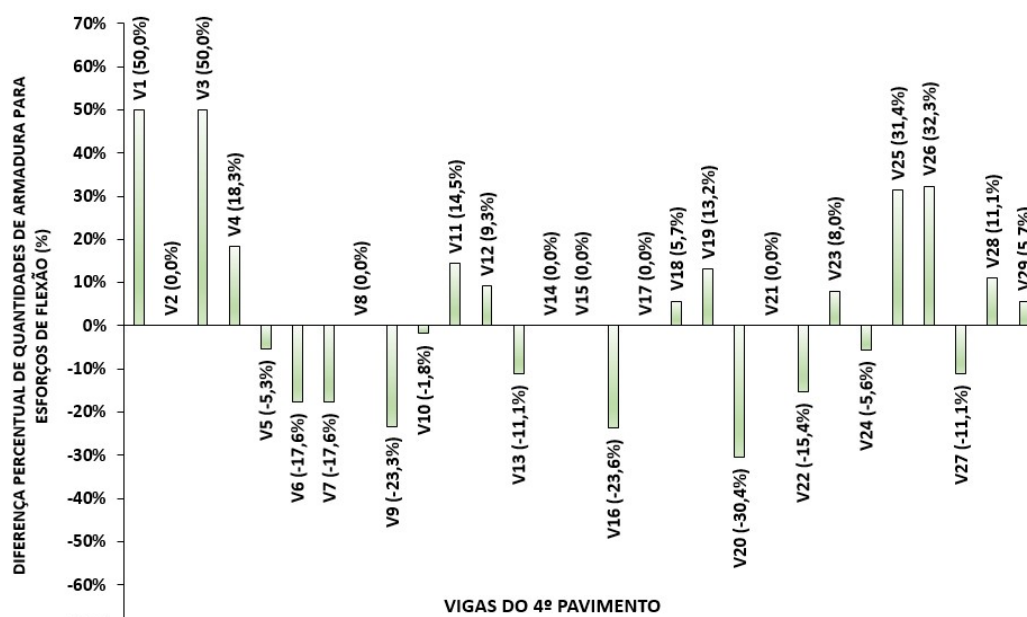
Figura 13 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (flexão) nas vigas em função da modificação de uso (momentos fletores) – Pavimento 1.

No que diz respeito às modificações das áreas de aço das armaduras de flexão das vigas devido aos momentos fletores (Figuras 13, 14 e 15), observou-se uma maior quantidade de vigas que tiveram diminuição percentual das quantidades de aço. Isso ocorreu nas mesmas vigas do pavimento 1 (Figura 13) e pavimento tipo (2 e 3) (Figura 14).



Fonte: Autores (2022).

Figura 14 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (flexão) nas vigas em função da modificação de uso (momentos fletores) – Pavimento Tipo (2 e 3).



Fonte: Autores (2022).

Figura 15 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (flexão) nas vigas em função da modificação de uso (momentos fletores) – Pavimento 4.

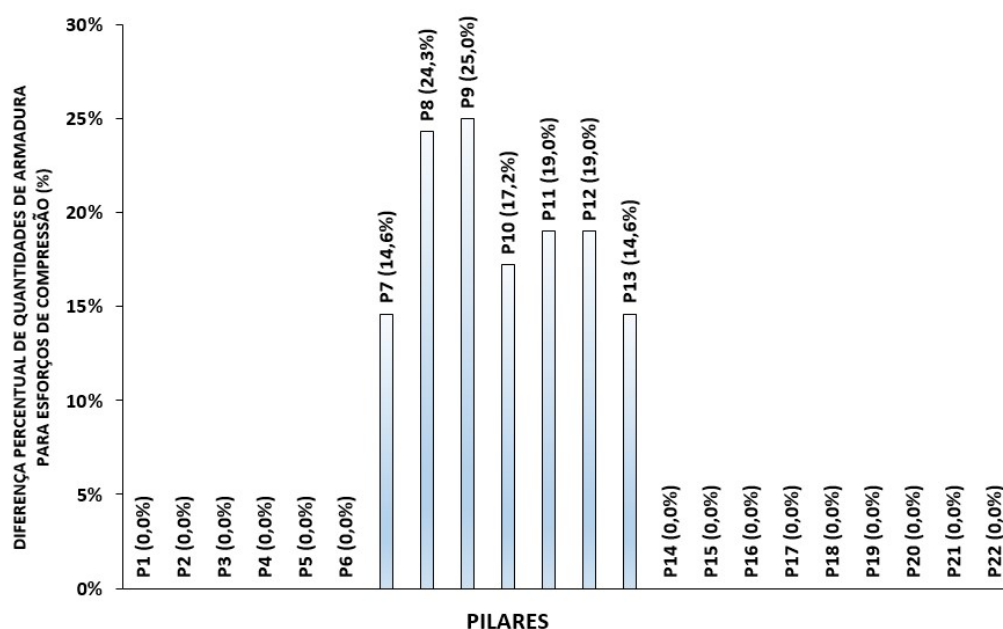
No pavimento 1 e no pavimento tipo, aproximadamente, 38% das vigas apresentaram diminuição das áreas de aço de flexão. No pavimento 4 (Figura 15) observou-se um aumento percentual de quantidades de aço das vigas. Nesse pavimento verificou-se aumento de até 50% das quantidades de aço resistentes aos momentos fletores devido à modificação do uso (V1 e V3).

Esse aumento também pode ser justificado pelo uso do pavimento 4 na Etapa II (biblioteca), onde o carregamento accidental foi modificado de 1,5 kN/m² para 3,0 kN/m².

A análise estrutural das vigas mostrou que grande parte delas deveria receber reforço estrutural de armaduras de cisalhamento e de flexão. Foi observado que a modificação de uso ocasionou alterações nas armaduras de cisalhamento devido, principalmente, à modificação do layout arquitetônico da edificação e aplicação de cargas accidentais maiores do que as atribuídas na Etapa I.

3.3 Armaduras dos pilares

A Figura 16 apresenta as porcentagens de alteração da quantidade de aço necessária para os pilares em função da modificação de uso da edificação. Observou-se que os pilares P7 à P13 foram os que apresentaram alterações na quantidade de aço. Isso ocorreu porque estes pilares estão localizados em regiões onde os carregamentos accidentais foram modificados devido ao uso das escadas. Os demais pilares não necessitaram mudanças em suas quantidades de aço por terem apresentado baixa alteração de esforços devido às modificações ocorridas nas Etapas I e II.



Fonte: Autores (2022).

Figura 16 – Diferenças percentuais das quantidades de armadura (compressão) nos pilares em função da modificação de uso (forças normais).

Verificou-se que os maiores aumentos foram de 47,4% no pavimento 1 e no pavimento tipo (2 e 3) e de 33,3% no pavimento 4.

O maior aumento percentual de quantidades de aço resistentes aos esforços cortantes das vigas V19 e V23, em relação às demais, do pavimento 1 (Figura 10) e no pavimento tipo (Figura 11) pode ser justificado devido a essas vigas encontrarem-se na região das escadas da edificação, que teve a sobrecarga modificada devido ao retrofit (sobrecarga de 3,0 kN/m² na Etapa I e 5,0 kN/m² na Etapa II). Os demais aumentos percentuais de quantidades de aço devido à modificação do uso ocorrem pelo aumento das cargas accidentais nas lajes.

O maior aumento percentual de quantidades de aço resistentes aos esforços cortantes das vigas V19 e V23, em relação às demais, do pavimento 1 (Figura 10) e no pavimento tipo (Figura 11)

pode ser justificado devido a essas vigas encontrarem-se na região das escadas da edificação, que teve a sobrecarga modificada devido ao retrofit (sobrecarga de 3,0 kN/m² na Etapa I e 5,0 kN/m² na Etapa II). Os demais aumentos percentuais de quantidades de aço devido à modificação do uso ocorrem pelo aumento das cargas acidentais nas lajes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar as alterações de quantidades de armação necessária em elementos estruturais em concreto armado de edificações em função de sua modificação de uso (retrofit). A partir dos resultados obtidos, verificou-se que é de extrema importância que sejam realizadas análises estruturais nesse tipo obra (retrofit), posto que as modificações de uso podem aumentar significativamente os esforços solicitantes nos elementos estruturais e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de aço necessária para resistir a essas solicitações, podendo comprometer o desempenho/segurança estrutural da edificação.

Observou-se que as modificações dos carregamentos acidentais foram as principais causas de alterações de quantidades de aço dos elementos estruturais. Quando a modificação do uso foi alterada de unidades habitacionais para uma biblioteca (pavimento 4), observou-se um aumento de até 72,7% das quantidades de armaduras para o combate de esforços de flexão nas lajes.

Verificou-se que algumas vigas podem apresentar diminuição de áreas de aço quando se modifica o uso da edificação (principalmente em armaduras de flexão); isso ocorreu devido ao retrofit arquitetônico do pavimento ter modificado o layout interno dos pavimentos, excluindo alvenarias de vedação.

Tratando-se das vigas, observou-se que a mudança de uso pode apresentar um aumento de quantidades de aço de flexão, necessárias em função da modificação do uso em até 50%. O maior aumento percentual de quantidade de aço ocorreu onde os carregamentos acidentais das escadas foram modificados devido ao uso. A alteração dos carregamentos acidentais também contribuiu para a necessidade de aumento de quantidades de aço dos pilares, sendo somente os localizados na região da escada que tiveram alterações nas quantidades de aço.

Nesta pesquisa mostrou-se a importância de efetuar uma avaliação estrutural quando deseja-se realizar a modificação do uso (retrofit) em edificações, com o objetivo de prever possíveis danos aos elementos estruturais decorrentes de novos carregamentos e evitá-los, quando necessários, por meio de reforços estruturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade São Judas Tadeu pela disponibilização da infraestrutura para realização do trabalho e à equipe de colaboradores da empresa Eduardo Penteado Engenharia pela colaboração conceitual na realização da modelagem estrutural.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro. 2019.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro. 2020.
- ADORNO, F. V.; DIAS, F. O.; SILVEIRA, J. C. O. **Recuperação e reforço de vigas de concreto armado**. Monografia. Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2015.
- CROITOR, E. P. N.; MELHADO, S. B. A. A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios: estudo da interface entre projeto e obra. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. BT/PCC/529. São Paulo, 2009.
- Dunhan-Jones E. Williamson, J. **Retrofitting suburbia**: urban design solutions for redesigning suburbs. Hoboken:John Willy & Sons, 2011.
- HELENE, P. Vida Útil de 106 Anos! Muito bem vividos! 2007. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/news/index_vida.htm>. Acesso em: 23 de maio de 2021.
- MARTINS, J. C. e CLARO, L. P. P. Retrofit urbano: alternativas para o enfrentamento dos problemas urbanos no contexto brasileiro. Em: **Desenho Urbano**. Editado por: PASQUOTTO, G. B. e GULINELLI, E. L. Editora ANAP. 2019. ISBN: 978-65-81469-00-9.
- MIRANDA, D. et al. Retrofit da estrutura de concreto armado de um edifício em São Paulo com mais de 50 anos de idade. **Anais**. CONPAT 2015. Lisboa, 2015.
- MORAES, V. T. F.; QUELHAS, O. L. G. O desenvolvimento da metodologia e os processos de um “retrofit” arquitetônico. Sistemas e Gestão – **Revista Eletrônica**, vol. 7, pp. 448-461, 2012.
- SCUDERI, G. Retrofit of residential buildings in Europe. **Designs**. vol. 3, n. 8, 15 p., 2019.
- SOUZA, R. A. **Concreto estrutural: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades**. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.
- VALE, M. S. **Diretrizes para racionalização e atualização das edificações: segundo conceito da qualidade e sobre a ótica do retrofit**. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.