Análise de uma Estrutura Residencial/Comercial Após o Acréscimo de Cargas



Felipe Strafite Custer; Fernanda Moraes Pereira, Neri Pinheiro Amaral Jr
FACULDADE EDUCACIONAL ARAUCÁRIA

RESUMO

As variações nas áreas econômicas e culturais favorecem o desenvolvimento destes âmbitos, aos quais originam necessidades que podem levar a alterações nas construções civis, justificando-se pela idade das mesmas ou pela necessidade de maior espaço. O objetivo deste trabalho é a análise de uma estrutura após ter recebido modificação nas cargas, no qual são abordadas as especificações técnicas dos materiais utilizados e atuação na estrutura existente, identificando a estabilidade através de uso de software de cálculo estrutural e a partir disso, é simulada sua ampliação para que a estrutura fosse adaptada à nova relação de cargas estabelecidas. Foi observado que a estrutura atual não oferece condições de recebimento de novas cargas necessitando de aprimoramentos para se estabelecer um projeto com estabilidade. No entanto, uma modificação com este grau de alteração pode apresentar possíveis dificuldades em suas etapas. Este trabalho apresenta os resultados obtidos com a pesquisa teórica, as referências de normas adequadas ao tema e a análise da estrutura pela modificação das cargas, na identificação de sua estabilidade pela atuação das cargas, e através destas mostrar a simulação de ampliação com as adaptações para fins de seu uso, concluindo que é mais vantajoso prever a ampliação do que realizar o reforço estrutural.

Palavras-chave: estabilidade, reforço estrutural, ampliação

ABSTRACT

Changes in economic and cultural areas contribute with the development of these areas, which originate necessities that can lead to changes in civil construction, justified by the ages of the children or the need for more space. The objective of this work is the analysis of a structure after receiving changes in the loads, which deals with the technical specifications of the materials used and performance in the existing structure, identifying stability through use of structural design software and from the addition, it is simulated its expansion so that the structure was adapted to the new relationship established loads. It has been observed that the present structure does allow receiving new loading conditions requiring improvements to establish a design with stability. However, a modification of this level of change may present potential difficulties in their steps. This paper presents the results obtained from the theoretical research, references to appropriate standards to the theme and the analysis of the structure by modifying the charges, to identify their stability by acting cargoes, and through these display magnification simulation with adaptations purposes of its use and concluded that it is more advantageous to provide for the extension of that perform structural reinforcement..

Key Words: Stability, structural reinforcement, extension.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das regiões fora dos grandes centros pode requerer necessidades de adequações de espaço físico nos estabelecimentos residenciais ou comerciais. Estas situações podem demandar um reforço na estrutura que, consequentemente, causará a modificação das cargas existentes. A necessidade de reforçar ou recuperar uma estrutura vem, na maioria dos casos, de um desempenho inadequado, e neste aspecto, o fator preponderante será a identificação da causa do processo patológico para indicar a melhor metodologia de reparação. Há também a preocupação em relacionar essa necessidade às principais etapas de construção, como: projeto, materiais utilizados, execução, utilização, entre outras (CUNHA, et.al., 1998).

A ampliação da capacidade de resistência das cargas devido à vida útil estar no limite, execução inadequada ou necessidade de aumento de espaço por diversos motivos já é reconhecida pelos profissionais da área e usuários das estruturas, e esta situação contribui com a necessidade de reforçar os elementos importantes que formam tais estruturas. Aplicar cargas numa estrutura faz com que ela se deforme, em efeito, forças são produzidas nos componentes que formam essa estrutura. E a análise estrutural é o cálculo do valor dessas forças e deformações (MCCORMAC, 2009).

Também pode se considerar a avaliação dos mecanismos utilizados na construção e formas de deterioração do concreto e outros materiais, isso permite a identificação de um dos passos fundamentais para a realização de uma avaliação real das condições de uma estrutura danificada ou não. Outro aspecto a ser considerado está ligado à capacidade resistente das peças, e aspectos da previsão de vida útil residual a partir de taxas de corrosão das armaduras, referenciados na norma NBR 6118/2014. Relacionando a parte de materiais, o destaque se dá no concreto, levando em consideração que se bem projetado e executado, tem como princípio economia e qualidade. Estes aspectos podem ser considerados muito importantes para um uso seguro ao longo da vida útil da estrutura.

Uma estrutura quando é projetada, deve apresentar um desempenho satisfatório durante sua vida útil atendendo as condições para as quais foi projetada. Quando esse desempenho não é suficientemente aceitável, pode haver necessidade de se fazer uma intervenção na estrutura para que a mesma retorne ao desempenho desejável em sua concepção. Um fato ocorrido em 1995, na cidade de Guaratuba-PR, mostra um dos sérios motivos que envolvem a realização adequada do reforço de uma estrutura: um edifício com pouco menos de um ano de idade com seis andares e 16 apartamentos veio a ruir. O edifício se manifestou com ruídos e grandes rachaduras e as portas e janelas do apartamento construído no térreo já não abriam. Não houve orientação para que os

moradores saíssem do prédio, havendo a tragédia com a consequência de óbitos (WRONISKI, 2013).

Outro fator que pode ser considerado é a ausência de contratação de profissional, a autoconstrução está presente em 85% das obras particulares realizadas no país, o custo é visto como um impedimento para a contratação de um profissional da área como arquiteto ou engenheiro. Essa situação afeta a legislação vigente, a qual prevê a presença de um responsável técnico nas obras, podendo prejudicar a qualidade da edificação em aspectos relacionados à estrutura (ABDALLA, 2015).

O reforço de uma estrutura está presente de uma maneira muito forte e sólida no mercado de construção civil, a qual visa atender a necessidade e estabelecer novas condições de estrutura ou promover adequações da capacidade resistente em função do uso. No entanto, quais as análises necessárias para se manter a estabilidade de uma estrutura?

2. DESENVOLVIMENTO

Este artigo tem como objetivo principal: Analisar uma estrutura em concreto armado com vedação em alvenaria supondo a ampliação e modificações de cargas de uso em relação às cargas originais, verificando a sua estabilidade ou necessidade de reforço. Sendo os objetivos específicos:

a) Analisar a arquitetura e a disposição de uma estrutura existente.

b) Verificar as cargas atuantes na estrutura existente e analisar sua estabilidade com o uso de software de dimensionamento estrutural.

c) Simular a ampliação vertical da estrutura em um pavimento e analisar sua estabilidade parcial e global.

d) Adaptar a estrutura a uma nova relação de cargas para fins residenciais/comerciais.

Foi realizada a análise de uma estrutura existente, na qual não foi considerado o cálculo de reforço e sim, as consequências na estrutura devido à ampliação não ter sido prevista. Para esta análise, foi adotado um projeto de uma edificação do tipo comércio, com uma área construída de 111,50m². Esta estrutura receberá uma simulação de ampliação vertical em um pavimento para uso residencial, com área de 112,94m² a ser construída. Portanto, receberá acréscimos de cargas provenientes de uma ampliação. Sabe-se que esta estrutura possui um fck de 25 Mpa, aço classe CA-50, com bitolas conforme projeto estrutural já existente. Será adicionada a ampliação, ou seja, uma nova

estrutura para análise de estabilidade, verificação quanto à necessidade de reforços, materiais e custos. Sendo que os materiais e custos são dados teóricos, os quais não poderão ser adotados como referência à parte prática, pois há necessidade da análise da rigidez da estrutura, o qual não é o objetivo específico deste artigo. Para a análise e dimensionamento da estrutura, foram utilizados recursos como: livros, norma NBR: 6118/2014 e complementares. Também serão utilizados softwares específicos, como Excel, Word, Ftool e Eberick V8 Next. Para o projeto proposto, a estrutura foi lançada no software de cálculo estrutural, onde serão analisados os resultados dos elementos da estrutura, esforços adicionados e o reforço dos elementos estruturais.

Foi analisada a estrutura de um projeto de uma edificação do tipo comércio de apenas um pavimento térreo, com pé direito de 3,6m e com uma área construída de 111,50m². Posteriormente, esta estrutura recebeu a simulação de uma ampliação vertical em um pavimento para uso residencial, com pé direto de 2,90m e com área de 112,94m² a ser construída. O dimensionamento de todas as estruturas (térreo e ampliação) foi concebido com o uso do software Eberick V8 *next*, para verificação da análise da estabilidade, cálculo de armadura e as seções dos elementos pilares, vigas e lajes.

Separando os processos em etapas, as quais foram separadas em:

- Etapa 1: Análise da estrutura existente;
- Etapa 2: Análise da estrutura com o acréscimo de cargas;
- Etapa 3: Análise da estrutura com o reforço;
- Etapa 4: Análise da estrutura prevendo o acréscimo de cargas;
- Etapa 5: Comparativos entre as etapas;

Tem-se:

Etapa 1: Modelou-se a estrutura de acordo com a figura 25, em seguida foi dimensionada e analisada para verificar os resultados dos elementos, dos deslocamentos horizontais e o gama-z (fator que indica a deslocamento dos nós, o qual excedendo a 10%, deve se levar em consideração os esforços globais de 2ª ordem.

Para esta etapa apresenta-se estável, conforme tabela 1, a seguir:

TABELA 1 – RESULTADOS DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL E GAMA-Z DA ETAPA 1

Deslocamento horizontal	Coeficiente Gama-Z
Direção X = 0,04 cm (limite 0,28)	Direção X = 1,03 cm (limite 1,10)
Direção Y = 0,04 cm (limite 0,28)	Direção Y = 1,03 cm (limite 1,10)

FONTE: ADAPATADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

O resumo de materiais referentes à construção original (pavimento térreo) mostrado na tabela 2a e 2b abaixo, o qual é gerado completo apenas quando a estrutura é concebida sem erros de dimensionamento, confirmando que se apresenta estável.

TABELA 2a – RESUMO DE MATERIAIS ETAPA 1

Pavimento	**Elemento**	**Peso aço (kg)**	**Volume de concreto (m³)**	**Área forma (m²)**	**Consumo de aço (kg/m³)**
Pavimento 2	Vigas	269.9	4.0	65.7	68.1
	Pilares	198.3	1.9	35.3	106.4
	Lajes	313.8	10.9	90.9	28.8
	Total	782.0	16.7	191.9	46.7
Baldrame	Vigas	259.4	3.4	56.0	76.6
	Pilares	121.6	0.5	9.4	244.7
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	381.1	3.9	65.4	98.1

FONTE: ADAPATADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Etapa 2: Concebeu-se a estrutura de ampliação para uso residencial/comercial, para análise de estabilidade.

A figura 1 abaixo exibe os deslocamentos gerados com o acréscimo de cargas referentes à ampliação. O software gera o gráfico colorido e com uma legenda, na qual são identificados os maiores deslocamentos pela cor vermelha e azul e em tons de verde, onde os deslocamentos são menores. É possível observar também que existe um grande deslocamento no pavimento 3, isso deve-se à falta de rigidez dos pilares.



FIGURA 1: GRÁFICO DE DESLOCAMENTO ELÁSTICOS ESTRUTURA DA ETAPA 2.
FONTE: SOFTWARE EBERICK V8 NEXT

A Figura 2 apresenta a planta de forma, mantendo o pavimento térreo com o dimensionamento original:

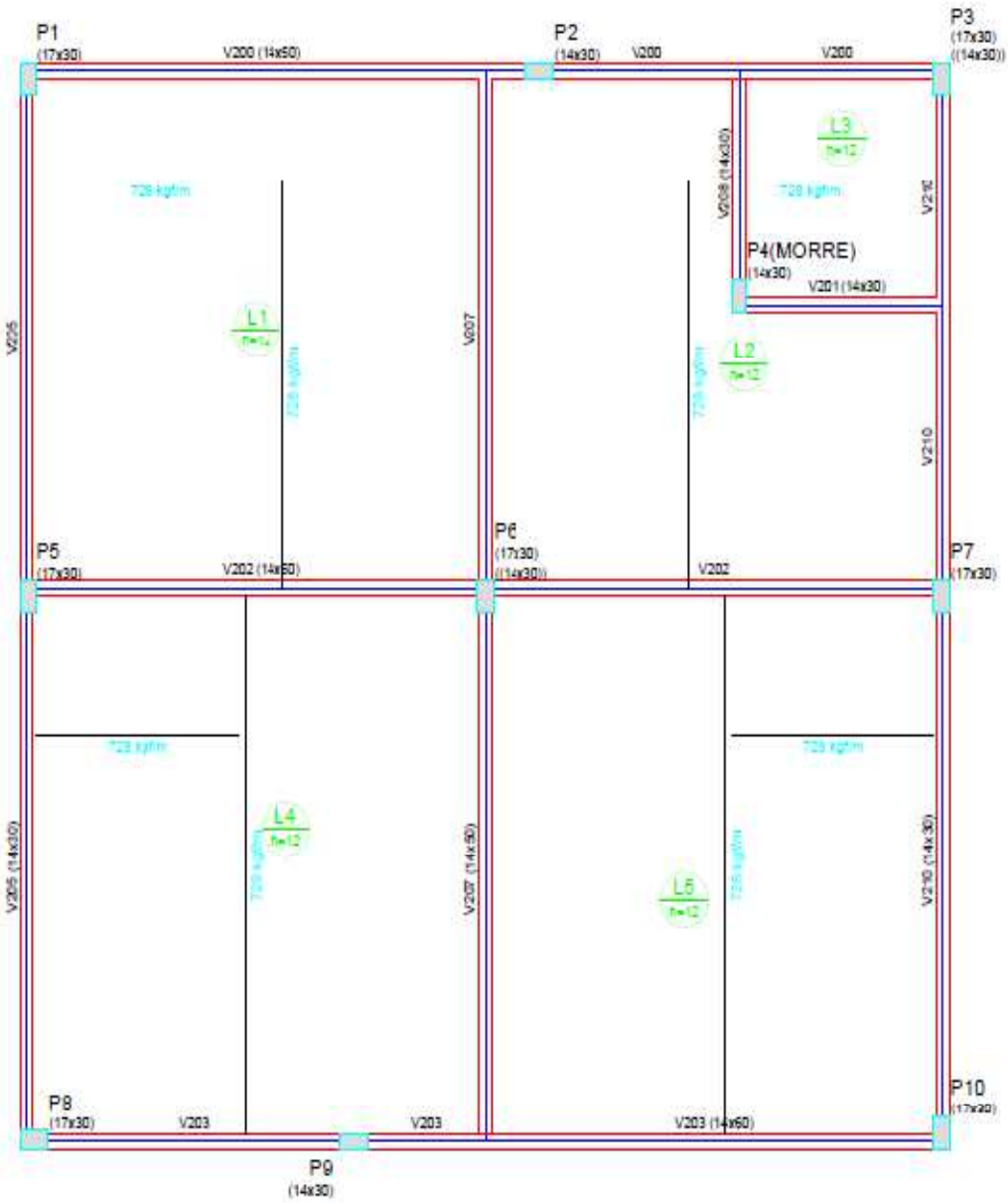

FIGURA 2: PLANTA DE FORMAS DO PAVIMENTO 2 DA ETAPA 2
FONTE: SOFTWARE EBERICK V8 NEXT

Abaixo, a tabela 3 indica os resultados de deslocamentos horizontais e gama –z, o qual apresentou-se instável. O coeficiente de gama-z excedeu seu limite (que é 10% de deslocamentos globais), isso se deve ao fato de os esforços de 2ª ordem globais estarem presentes e representando riscos à estabilidade da estrutura. Sendo assim, devem ser considerados no cálculo o aumento da rigidez da estrutura, ou aumentar as dimensões dos elementos, que é uma das formas de se absorver este efeito.

TABELA 3 – RESULTADOS DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL E GAMA-Z DA ETAPA 2

Deslocamento horizontal	Coeficiente Gama-Z
Direção X = 0,20 cm (limite 0,28)	Direção X = 1,10 cm (limite 1,10)
Direção Y = 0,28 cm (limite 0,28)	Direção Y = 1,12 cm (limite 1,10)

FONTE: ADAPATADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Havendo a situação de estrutura instável, o software indica as lajes que apresentam flecha excessiva, como mostra a Figura 3:

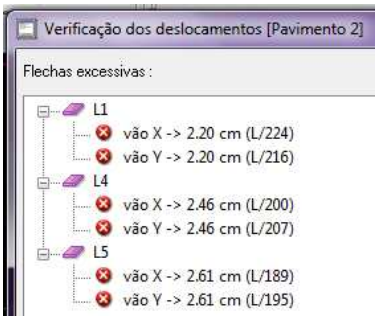

FIGURA 3: FLECHAS EXCESSIVAS NAS LAJES
FONTE: SOFTWARE EBERICK V8 NEXT

As lajes L1,L4 E L5 apresentaram flecha excessiva, em relação ao original, devido ao carregamento de peso adicional, o qual não havia sido previsto em seu dimensionamento original. Os pilares P2 e P9 apresentaram espaçamento entre as barras longitudinais menor que o permitido pela NBR 6118/2014. Este erro ocorreu porque com os novos carregamentos, estes pilares não suportaram o esforço, permanecendo na forma original e precisaram de uma taxa de armadura maior, e mesmo com esta seção existente, as barras ficariam muito próximas, e isso causaria problemas ou dificultaria a concretagem destes elementos. Os pilares precisam de mais armadura e para isso é necessário aumentar a seção dos mesmos, com pelo menos 3cm para cobrimento devido à classe de agressividade, previsto na NBR 6118/2014.

As vigas V202, V205, V207 e V210 apresentaram o centro de gravidade da armadura muito alto, ou seja, para que estas fossem dimensionadas seria preciso aumentar a armadura positiva e para isso ter barras em outras camadas. Sendo assim, o centro de gravidade da armadura se eleva com as camadas. A figura 4 ilustra uma situação análoga:

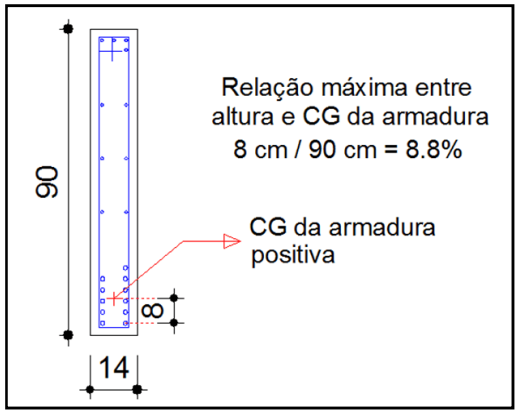

FIGURA 4: RELAÇÃO ENTRE CENTRO DE GRAVIDADE DA ARMADURA E ALTURA DA VIGA.
FONTE: TEIXEIRA, 2014

Etapa 3: Partindo da análise anterior, nesta etapa foi utilizada a estrutura concebida na etapa 2 e realizada a adequação de maneira a ser reforçada por aumento de seção dos elementos, com graute, argamassa polimérica estrutural e armadura de reforço, para que a estrutura se apresentasse estável.

Diferentemente da etapa 2, nesta concepção todos os pilares tiveram aumento de seção de aço, com exceção do pilar 4, que não se alterou pois este é um pilar de centro, que suportou os esforços de compressão, semelhantes aos da etapa 1, com o auxílio da laje, a qual recebeu a maior parte dos esforços adicionados. Desta forma, será necessário o aumento de seção dos pilares.

O resultado do gama-z apresentou-se dentro do limite, conforme mostra a tabela 4, abaixo:

TABELA 4 – RESULTADOS DOS DESLOCAMENTOS E GAMA-Z

Deslocamento horizontal	**Coeficiente Gama-Z**
Direção X = 0,17 cm (limite 0,28)	Direção X = 1,09 cm (limite 1,10)
Direção Y = 0,21 cm (limite 0,28)	Direção Y = 1,10 cm (limite 1,10)

FONTE: ADAPATADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Nas tabelas 5a e 5b, tem-se o resumo de materiais para esta etapa:

TABELA 5.a – RESUMO DOS MATERIAIS ETAPA 3

Pavimento	**Elemento**	**Peso do aço +10 % (kg)**	**Volume de concreto (m^3)**	**Área de forma (m^2)**	**Consumo de aço (kg/m^3)**
	Vigas	329.7	3.8	62.2	87.4
	Pilares	200.2	1.2	23.8	163.2
Pavimento 3	Lajes	363.9	11.0	91.4	33.2
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	893.8	16.0	177.4	**56.0**
	Vigas	516.8	5.9	75.7	87.3
	Pilares	279.9	2.2	37.1	128.3
Pavimento 2	Lajes	513.0	13.3	88.0	38.5
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	1309.7	21.4	200.7	**61.2**
	Vigas	282.4	3.4	56.0	83.4
	Pilares	83.1	0.6	9.9	142.8
Baldrame	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	365.5	4.0	65.9	**92.1**

FONTE: ADAPATADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

TABELA 5.b – RESUMO DOS MATERIAIS ETAPA 3

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total	CA50	1128.9	473.9	814.1	2416.8
+ 10% (kg)	CA60		89.4	62.8	152.2
	Total	1128.9	563.2	876.9	2569.0
Volume concreto (m^3)	C-25	13.1	4.0	24.3	41.3
Área de forma (m^2)		193.9	70.8	179.3	444.0
Consumo de aço (kgf/m^3)		86.3	141.1	36.1	62.1

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Etapa 4: Nesta etapa, utilizou-se a mesma concepção estrutural da etapa 2, ou seja, mesma disposição de pilares, vigas e lajes, conforme figura 35. No entanto, para análise de estabilidade foram utilizadas as cargas para o uso residencial no pavimento 2, o qual recebia antes o carregamento de uma cobertura.

Para garantir a segurança, desempenho e vida útil e atender aos requisitos da NBR 6118/2014, foi necessário aumentar a área de concreto armado da maioria dos elementos, o que causou o efeito de mais rigidez à estrutura devido ao peso próprio adicionado. Com isso, o gama-z que havia excedido o valor de 10% na etapa 2, nesta etapa permanece abaixo deste limite, e portanto, a estrutura apresenta-se estável, demonstrado na tabela 6:

TABELA 6 – RESULTADOS DE DESLOCAMENTO E GAMA-Z DA ETAPA 3

Deslocamento horizontal	Coeficiente Gama-Z
Direção X = 0,12 cm (limite 0,45)	Direção X = 1,06 cm (limite 1,10)
Direção Y = 0,15 cm (limite 0,45)	Direção Y = 1,07 cm (limite 1,10)

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Depois de realizado os ajustes na estrutura, foi extraído o resumo de materiais (tabela 7), sendo que esta tabela só é gerada pelo software de forma completa, quando a estrutura não apresenta erros.

TABELA 7 – RESUMO DOS MATERIAIS DA ETAPA 4

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total	A50	1082.3	550.4	711.6	2344.3
+ 10% (kg)	A60		81.1	128.0	209.1
	Total	1082.3	631.5	839.6	2553.4
Volume concreto (m^3)	C-25	14.1	4.2	25.3	43.6
Área de forma (m^2)		213.4	74.1	180.7	468.2
Consumo de aço (kgf/m^3)		76.9	149.3	33.2	58.6

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Etapa 5: Foi realizado um comparativo para analisar as diferenças de quantitativos devido às mudanças de cargas e consequentemente a dimensão dos elementos, que uma ampliação de edificação pode resultar. Na tabela 8, tem-se os comparativos de seção e volume de concreto dos pilares da etapa 1 (condição original), com os da etapa 4 (condição planejada), que sustentam o pavimento 2.

TABELA 8 – COMPARATIVOS DE SEÇÃO E VOLUME DE CONCRETO DAS ETAPAS 1 E 4

Pilar	Seção (cm) Etapa1	Seção (cm) Etapa4	Área (cm^2) Etapa1	Área (cm^2) Etapa4	Volume (m^3) Etapa1	Volume (m^3) Etapa4	% AUMENTO DE SEÇÃO	% AUMENTO DE VOLUME
P1	17 X 30	17 X 30	0,051	0,051	0,19125	0,19125	0,0%	0,0%
P2	14 X 30	20 X 35	0,042	0,07	0,1575	0,2625	66,7%	66,7%
P3	17 X 30	17 X 30	0,051	0,051	0,19125	0,19125	0,0%	0,0%
P4	14 X 30	14 X 30	0,042	0,042	0,1575	0,1575	0,0%	0,0%
P5	17 X 30	17 X 30	0,051	0,051	0,19125	0,19125	0,0%	0,0%
P6	17 X 30	17 X 30	0,051	0,051	0,19125	0,19125	0,0%	0,0%
P7	17 X 30	17 X 30	0,051	0,051	0,19125	0,19125	0,0%	0,0%
P8	17 X 30	17 X 30	0,051	0,051	0,19125	0,19125	0,0%	0,0%
P9	14 X 40	17 X 40	0,056	0,068	0,21	0,255	21,4%	21,4%
P10	17 X 30	17 X 40	0,051	0,068	0,19125	0,255	33,3%	33,3%

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

É possível verificar acima que os pilares P2, P9 e P10 precisaram de aumento em sua seção e volume. Como não houve a variação de dimensão do pé-direto da edificação, as porcentagens de área e volume permaneceram iguais. Na tabela 9, tem-se o comparativo de armadura longitudinal dos pilares da etapa 1 (condição original), com os da etapa 4 (condição planejada), que sustentam o pavimento 2.

TABELA 9 – COMPARATIVOS ENTRE AS SEÇÕES DE ARMADURAS DA ETAPA 1 E 4

Pilar	Área de aço (cm^2) Etapa1	Área de aço (cm^2) Etapa4	Peso da armadura (kg) Etapa1	Peso da armadura (kg) Etapa4	% Aumento da área de aço	% Aumento do peso (kg)
P1	7,36	8,04	25,6	33,35	9,20%	30%
P2	4,71	12,06	18,6	47,7	156,10%	156%
P3	3,14	7,36	13,2	30,3	134,40%	130%
P4	4,91	4,91	17,4	19,2	0,00%	10%
P5	3,14	4,91	13,2	27,6	56,40%	109%
P6	3,14	20,11	13,2	73,2	540,40%	455%
P7	3,14	8,04	13,2	33,35	156,10%	153%
P8	4,91	8,04	17,4	33,6	63,70%	93%
P9	12,06	12,06	40,1	40,2	0,00%	0%
P10	8,04	12,06	26,4	54,5	50,00%	106%

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Constata-se que todos os pilares apresentam necessidade de reforço e consequentemente terão sua seção aumentada. Ao se adicionar armadura de reforço, necessita-se de material para revestir a armadura com, no mínimo, a espessura do cobrimento. Sendo este, determinado pela classe de agressividade onde está localizada a construção, neste caso, classe de agressividade II.

Os casos de aumento de seção em relação à condição original aconteceram nos pilares P2, P9 e P10, sendo em P2 o caso mais grave, com 66,7% de acréscimo. O aumento da área de aço, em relação à condição original aconteceu nos pilares P2, P6, P7 e P8, sendo o caso mais grave o P6, no qual houve um acréscimo de 540,4%.

No pilar P2 houve o aumento de seção e armadura, pois este recebe o esforço da viga V200 que está recebendo esforço da viga V205 (apresentado na Figura 36), a qual gera grande esforço a ser absorvido pelo pilar, então, se fez necessário o aumento de seção e armadura para que se aumentasse a inércia e a capacidade de resistência às cargas aplicadas.

Para P9, o aumento de seção foi de 21,4% e para P10, o aumento de seção foi de 33%. Já a armadura destes, em P9 não houve alteração e para P10 50% de aumento. Houve o aumento de seção e armadura, devido à presença da viga V203 que está descarregando grande esforço nestes pilares. O pilar P9 teve seu aumento de seção, pois a viga V203 está descarregando nele, sendo que esta viga também teve seu aumento de seção. O P10 é um pilar de canto e a sua inércia não se apresentou estável na menor direção.

Os pilares P6, P7 e P8, por não ter sido alterada a seção, se carregaram de armadura, ou seja, como estes mantiveram as suas dimensões originais provenientes da etapa 1, com o aumento de cargas, foi necessário também o aumento de armadura para que estes suportassem os esforços aos quais foram submetidos.

A técnica de reforço da estrutura tem um aspecto determinante denominado custo. Foram analisados os consumos e os custos de materiais, e realizado um comparativo relacionando o pavimento baldrame da etapa 1 com o da etapa 3, que define um reforço na estrutura. O mesmo comparativo foi feito da etapa 1 para a etapa 4, que analisa a estrutura como se a ampliação fosse planejada desde o início. Este comparativo de custos foi baseado nos valores obtidos pelo banco de dados do CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção) e a planilha de custos da SMOP (Secretaria Municipal de Obras Públicas) de Curitiba, e visa apresentar duas perspectivas da diferença de custos, uma que não foi planejada a ampliação necessitando de reforço na estrutura e outra em que exista o planejamento de ampliação.

Foi comparada a diferença de aço necessária para o reforço estrutural, representados nas tabelas 13 abaixo:

TABELA 13 – COMPARATIVODE CUSTO DO CONSUMO DE AÇO NO REFORÇO DA ESTRUTURA

Elementos	Peso do aço (kg) Etapa1	Peso do aço (kg) Etapa3	Diferença (kg)	Custo do Material do Reforço
Lajes	313,8	513,7	199,9	R$ 1.007,49
Vigas	529,3	767,4	238,1	R$ 1.200,02
Pilares	319,9	458,1	138,2	R$ 696,52
Total	1163	1739,2	576,2	R$ 2904,03

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

É possível observar na tabela 13, a diferença de aço apresentada em kg para o reforço dos elementos estruturais. Houve um acréscimo considerável de aço (576,2 kg), apresentando uma diferença no aumento de material entre o conjunto dos elementos. Sendo os pilares, os elementos que tiveram o menor consumo de aço (138,2 kg) para o reforço, consequentemente gerou o menor custo. As vigas demonstraram o maior consumo de aço (238,1 kg) para o reforço estrutural, portanto, gerou o maior custo neste comparativo.

Na tabela 14, é apresentada a diferença de volume de concreto, sendo adotada para reforço a argamassa polimérica:

TABELA 14 –DEMONSTRATIVO DE CUSTO DO CONSUMO DE GRAUTE E ARGAMASSA POLIMÉRICA NO REFORÇO DA ESTRUTURA

Elementos	Volume de concreto (m^3) Etapa1	Volume de concreto (m^3) Etapa3	Diferença (m^3)	Custo do Material do Reforço
Lajes	10,9	13,5	2,6	R$ 15.444,00
Vigas	7,4	9,6	2,2	R$ 4.840,00
Pilares	2,4	2,7	0,3	R$ 660,00
Total	20,7	25,8	5,1	R$ 18.436,00

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Nesta comparação, foi analisada a diferença do volume de concreto em m^3. Considerando para este estudo o reforço das vigas e pilares com a utilização de graute, e para as lajes a argamassa polimérica. Para os pilares não houve aumento considerável de volume (0,3m^3), impactando baixo custo para o reforço. Nas vigas, pode-se observar um aumento considerável ((2,2m^3) refletindo diretamente no custo. Entre os elementos estruturais, as lajes foram as que tiveram o maior aumento de volume (2,6m^3), devido a este elemento representar a maior área para o aumento de seção, obteve o maior custo

para o reforço estrutural neste comparativo, se tratando também do material argamassa polimérica, que é especifico para reparo, justificando também o custo mais elevado.

Para o comparativo da etapa 1 para a etapa 4, foram confrontadas as diferenças de aço, do projeto original para o projeto planejado, representados na tabela 15. Neste comparativo analisou-se apenas a quantidade a mais de materiais, considerando que a estrutura foi planejada sem a necessidade de reforço estrutural, para saber qual seria a perspectiva de custo neste caso.

TABELA 15 – COMPARATIVO DE CUSTOS DE CONSUMO DE AÇO ENTRE ETAPA 1 E 4

Elementos	**Peso do aço (kg) Etapa1**	**Peso do aço (kg) Etapa4**	**Diferença (kg)**	**Custo do Material de acréscimo**
Lajes	313,8	583	269,2	R$ 1.356,77
Vigas	529,3	776,7	247,4	R$ 1.246,90
Pilares	319,9	550,7	230,8	R$ 1.163,23
Total	1163	1910,4	747,4	R$ 3.766,90

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

No comparativo acima obtém-se a quantidade a mais de material e seus custos, no caso de a estrutura ter sido planejada prevendo a ampliação, ou seja, isentando o reforço estrutural. Percebe-se que todos os conjuntos de elementos estruturais tiveram um aumento de aço relevante do planejado (747,4 kg) em relação ao original. Porém, os pilares foram os elementos estruturais que tiveram a menor diferença de aço (230,8 kg) e o menor custo. E as lajes obtiveram maior diferença de aço (269,2 kg), atingindo assim um custo maior.

O comparativo da tabela 16 abaixo apresenta a diferença do volume de concreto seguindo o mesmo conceito de análise da diferença da etapa 1 para a etapa 4:

TABELA 16 – COMPARATIVO DE CUSTO DO CONSUMO DE CONCRETO ENTRE ETAPA 1 E 4

Elementos	**Consumo (m^3) Etapa1**	**Consumo (m^3) Etapa4**	**Diferença (m^3)**	**Custo do Material de acréscimo**
Lajes	10,9	11,5	0,6	R$ 204,00
Vigas	7,4	9,6	2,2	R$ 748,00
Pilares	2,4	2,6	0,2	R$ 68,00
Total	20,7	23,7	3	R$ 1.020,00

FONTE: ADAPTADO DE SOFTWARE EBERICK V8 *NEXT*

Considerando que a estrutura tenha sido planejada para que não haja reforço estrutural, o volume de material adicional (3m^3), será o mesmo para o material dos elementos estruturais (C-25), sendo valores menores, pelo fato de o material concreto ser mais barato do que o material de reforço estrutural.

Nos pilares houve pouco aumento de volume (0,2 m^3), o que ocasionou baixo custo em relação às vigas e lajes. As vigas apresentaram a necessidade de maior aumento de volume de concreto (2,2 m^3), gerando maior custo.

3. CONCLUSÃO

Ao analisar a importância da patologia, durabilidade, vida útil e desempenho de uma estrutura, é possível compreender que são conceitos fundamentais para o desempenho adequado de um projeto estrutural. A análise de estabilidade de uma estrutura é uma ação que pode evitar uma deterioração precoce da mesma. Sabendo-se que há requisitos e normas relacionados à manutenção, qualidade e durabilidade das estruturas, o atendimento a tais pontos devem ser considerados em cada etapa de um processo construtivo, e em condições de reforço ou reparo de uma estrutura, como a citada neste artigo.

Foi verificada a ação das cargas para constatação de estabilidade da estrutura, através do uso do software Eberick V8 *Next*, e então se obteve os valores de acréscimos que as peças da estrutura receberam, e a partir disso, foi realizado o comparativo entre as etapas esclarecendo a reação da estrutura para a ampliação das cargas. Considerando que a análise realizada não contemplou o cálculo de reforço, mas sim as conseqüências na estrutura pela ampliação não ter sido prevista.

A análise realizada foi dividida em cinco etapas, sendo: Etapa 1, condição original da edificação; Etapa 2, adicionado pavimento sem alterar condição original; Etapa 3, reforço da condição original para suportar a ampliação; Etapa 4, planejamento da condição prevendo futura ampliação; Etapa 5, comparativo de materiais e perspectiva de custos.

Foi possível analisar que após uma estrutura receber um acréscimo de cargas, fatores determinantes precisam ser considerados, como:

- Custos: a técnica de reforço de uma estrutura exige um investimento consideravelmente alto ao se comparar com uma estrutura já previamente planejada para o recebimento de cargas extras. Mesmo que, ao começar a construção de uma estrutura, seja inicialmente mais caro prepará-la para este acréscimo, havendo a necessidade de reforço pelos motivos já citados neste artigo, ainda assim o investimento será menor nesta fase.
- Interrupção do uso da estrutura por segurança: a possibilidade do reforço estrutural pode exigir medidas de segurança para o usuário, sendo necessária a

interdição do uso da estrutura para as adequações necessárias sem o risco de rompimentos.

- Tempo: fator considerado amplo para que a estrutura possa ser colocada sob nova carga, considerando também o ambiente o qual está inserido, possibilidade de acesso de máquinas e equipamentos para que ocorram as intervenções necessárias.

As pesquisas realizadas para este artigo mostraram o potencial deste ramo na engenharia civil, pois a necessidade de reforço/ampliação das estruturas unida à maioria dos usuários que não consultam um profissional devidamente capacitado para uma construção mais eficiente e segura, abre espaço para este âmbito no mercado voltado à construção civil.

4. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: 2014 – Projeto de estrutura de concreto.** Rio de Janeiro.

ABDALLA, S. **Maioria das obras é feita sem acompanhamento técnico.** Gazeta do Povo On line, 2015. Disponível em: http://www.gazetadopovo.com.br/imoveis/maioria-das-obras-e-feita-sem-acompanhamento-tecnico-brrq8cjo6sdxlhrzc8xvvq8rk. Acesso em 30/10/15

CUNHA, A., SOUZA, V., LIMA, N., **Acidentes Estruturais na Construção Civil.** Volume 2. 2ª Ed., São Paulo: PINI, 1998.

MCCORMAC, Jack C., **Análise estrutural: usando métodos clássicos e métodos matriciais**. 4ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Software **Eberick V8 next** – Informações de projeto estrutural.

TEIXEIRA, Edvanio. **CG da armadura**, 2014. Disponível em: http://faq.altoqi.com.br/content/270/1307/pt-br/erro-a04- -cg-da-armadura-muito-alto.html. Acesso em 14/10/15

WRONISKI, **E,. Paraná Online**, 2013. Disponível em: http://www.paranaonline.com.br/editoria/cidades/news/222239/?noticia=TRAGEDIA+DIFICIL+DE+ESQUECER. Acesso em 01/05/2015.