

ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO DE PÓRTICOS QUANDO ANALISADOS EM SOFTWARES 2D E 3D.

MYLANE REGINA FRANÇA GOMES¹
RAFAEL GOULART DE ANDRADE SANTOS ²

RESUMO: A análise de estruturas é indispensável em edificações de qualquer porte. O profissional precisa conhecer as particularidades do projeto que trabalha, para isso é necessário passá-lo por uma rigorosa análise. O presente trabalho trata, sobretudo, de como a concepção e a análise estrutural são importantes tanto para a vida útil da edificação quanto para a deixar funcional. Não se deve dissociar o uso de software e a experiência adquirida quanto a interpretação da estrutura, ambos sempre andarão lado a lado durante toda a vida profissional de um engenheiro projetista. Durante muito tempo softwares contribuíram para acelerar o processo de análise de estruturas, com todo esse avanço tecnológico, criou-se uma espécie de corrida digital para entregar o melhor e mais eficiente software de cálculo estrutural. No entanto, com tantos softwares no mercado se tornou difícil decidir qual é o que mais atende as necessidades do profissional de engenharia e qual se aproxima mais da situação real que a edificação irá se encontrar. Pensando nisso, este trabalho teve como objetivo analisar pórticos de uma estrutura térrea em dois softwares diferentes a fim de encontrar semelhanças ou divergência nas solicitações de carga e momento fletor e verificar como tais valores afetam o cálculo de armadura. Foi simulado uma situação real e usado todos os fatores vistos por norma. É interessante salientar que não existe o software certo, existe aquele que o projetista conhece mais.

Palavras-chave: momento fletor, esforços, análise estrutural.

STRUCTURAL ANALYSIS OF PORTAL BEHAVIOR WHEN ANALYZED IN 2D AND 3D SOFTWARE

ABSTRACT: Structural analysis is indispensable in buildings of any size. The professional needs to know the particularities of the project he works on, for this it is necessary to pass it through a rigorous analysis. The present work deals, above all, with how the design and structural analysis are important both for the useful life of the building and for making it functional. One should not dissociate the use of software and the experience gained in interpreting the structure, both will always go hand in hand throughout the professional life of a design engineer. For a long time software has contributed to accelerate the process of analyzing structures, with all this technological advancement, a kind of digital race has been created to deliver the best and most efficient structural calculation software. However, with so many software on the market, it has become difficult to decide which is the one that best meets

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIFE Centro Universitário, R. Calabria, 1499, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78555-422. Endereço eletrônico: mylanegomes98@gmail.com;

² Professor Mestre em engenharia civil, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIFE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: rafaelgoulart12@gmail.com

the needs of the engineering professional and which is closest to the real situation that the building will encounter. With this in mind, this work aimed to analyze frames of a single-story structure in two different softwares in order to find similarities or divergences in load and bending moment requests and to verify how these values affect the reinforcement calculation. A real situation was simulated and all factors seen by norm were used. It is interesting to note that there is no right software, there is one that the designer knows best.

Keywords: bending moment, efforts, structural analysis.

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil é um dos campos mais antigos da engenharia. Desde as pirâmides do Egito, que se dedica a constituição, manutenção e aperfeiçoamento de estruturas que visam a proteção do indivíduo, seja numa pequena vila ou em um grande país. Ela promove comodidades para a vida, indústrias e transportes, desde grandes edifícios, estradas, ferrovias, pontes e outros, relevantes para o mundo todo. A utilização do computador na engenharia civil e o aprimoramento de softwares especializados contribuíram de forma significativa para que estruturas tenham uma análise mais rigorosa e, por consequência, sejam mais seguras. Os softwares educacionais ajudam profissionais e estudantes a entender um pouco mais como funciona a estrutura. Como cada ação interfere sobre ela, auxiliam a prever descolamentos exagerados e até mesmo como a transferência de cargas age entre os elementos que compõem a estrutura.

Tieni, Wutzow e Liberati (2019) afirmam que a engenharia vem se desenvolvendo constantemente, sobretudo em relação a evolução da capacidade dos computadores e softwares voltados para o dimensionamento de edificações. Desta forma, foi possível se ter análises de estruturas mais complexas. A análise estrutural é uma das partes fundamentais de toda edificação, pois através dela pode-se determinar e prever os deslocamentos, deformações, recalques que a construção pode vir a apresentar e buscar soluções paliativas a fim de minimizar os danos.

Atrelado a isso, Santos (2016) ressalta a importância da concepção estrutural, pois a eficiência em solucionar termos a respeito de segurança, desempenho em serviço e economia dependem diretamente de uma boa análise realizada pelo projetista ao adequar as necessidades de cada projeto. No entanto, o que, muitas vezes, é visto cotidianamente, são projetos com problemas em relação à concepção estrutural, ocasionando estruturas superarmadas e pouco eficientes. O projeto estrutural engloba diversas etapas, estas são numerosas e complexas. Uma das etapas, é a previsão do comportamento que a estrutura irá apresentar. Ela precisa sanar com maestria, todas as necessidades de utilização e segurança para que foi projetada.

A análise estrutural tem grande importância dentro do projeto, pois através dela é possível prever o comportamento da estrutura como um todo ou de elementos estruturais isolados. É preciso entender as peculiaridades a respeito de cada projeto e software que se está trabalhando. Apesar da eficiência e difusão dos softwares especializados para análise de estruturas, ainda restam dúvidas de qual é o mais assertivo, quais as particularidades de cada um e qual é o mais indicado para cada tipo de obra.

Para Cardoso (2018) a escolha do melhor sistema estrutural depende de diversas condições técnicas e econômicas. Os fatores técnicos são sobretudo em relação à capacitação do profissional em projetar, executar, mão de obra qualificada e equipamento necessários para a obra. Já em prédios, seja ele comercial ou residencial, o fator econômico pesa mais na escolha do sistema estrutural.

Por esse motivo, este trabalho tem como objetivo realizar o lançamento de cargas e definir o modelo estrutura, fazer o lançamento do modelo estrutural nos softwares Ftool e eberick e principalmente analisar os dados coletados a fim de verificar as diferenças entre

ambos os softwares. Desta maneira, será simulada uma situação real em uma estrutura térrea. O levantamento de cargas e todos os demais parâmetros será a partir da NBR 6120:2019 e NBR 6118:2014. As solicitações que a laje exerce na vigas serão definidas por meio de um método tabelado utilizando planilha e lançado manualmente no Eberick e Ftool.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Durante muito tempo o cálculo manual era o único meio para analisar e dimensionar estruturas. Com a difusão da tecnologia, os cálculos manuais ficaram um pouco obsoletos, tendo em vista que foram desenvolvidos métodos que acelerariam o processo de análise e dimensionamento. Nos dias atuais normalmente se usam métodos de cálculo manual para ensinar alunos de graduação a ter uma interação maior desde a parte da elaboração até a execução do projeto. Especialistas usualmente criam planilhas no Excel para fazer os cálculos com mais agilidade. Desta forma, é possível comparar os resultados fornecidos através dos softwares e ter um estudo mais aprofundado a respeito da análise daquela estrutura.

O projeto arquitetônico é a base de todos os demais projetos complementares, pois é através dele que é possível pensar na concepção da estrutura, ou seja, dispor da melhor maneira possível os elementos estruturais dentro do projeto, sempre respeitando a arquitetura. Além disso, as estruturas devem oferecer segurança, conforto e boa aparência durante sua vida útil. É importante que a edificação seja funcional e facilite a manutenção, caso seja necessário. Martha (2000) descreve a análise estrutural como sendo a etapa em que se idealiza o comportamento da estrutura, tendo como principal objetivo determinar cargas e reações de apoio, tensões, deformações e deslocamentos que a estrutura está passível de sofrer. A análise estrutural compreende uma das partes mais importantes de todo o processo construtivo. Ao analisar um projeto deve-se atentar para diversos elementos, tais como “selecionar uma forma estrutural eficiente, econômica e atraente; avaliar sua segurança, ou seja, sua resistência e rigidez; e planejar sua edificação, sob cargas de construção temporária.” (GILBERT, LEET E UANG 2010).

Para que um projeto esteja pronto para ser executado, é de suma importância que este passe por uma rigorosa análise a fim de prever as solicitações de cargas, distribuição de forças internas e externas, deslocamentos, vibrações excessivas, de tal forma que a estrutura não seja prejudicada. A tecnologia tornou a análise estrutural cada vez mais fácil e acessível a todos. No entanto é necessário cautela quando for utilizar tal ferramenta.

Com o passar do tempo, o acesso a softwares fez com que o aprendizado se tornasse cada vez mais fácil e intuitivo, tanto para o graduando quanto para um profissional formado. Branchier (2017) afirma que um software só pode ser considerado uma ferramenta educacional caso seja livre e permita um contínuo desenvolvimento através de códigos-fonte disponíveis e que seja bem documentado. Com o rápido alcance a esse tipo de informação, cada vez mais presente na internet e até mesmo dentro das salas de aula, os professores tendem a instigar seus alunos a aprender utilizar as ferramentas digitais disponíveis com o intuito de facilitar e otimizar o processo de aprendizagem.

2.1 Idealização de Modelos Estruturais

A estrutura precisa de vários fatores funcionando ao mesmo tempo para que seja considerada harmônica, dentre eles, ser funcional, segura, econômica, ter uma vida útil relativamente elevada e ter uma estética agradável. Sobretudo, a edificação necessita seguir

uma lógica em relação aos seus elementos estruturais. As estruturas são constituídas por fundações, vigas, pilares e lajes. A combinação de elementos tais como pilar e viga, acabam formando um terceiro elemento conhecido como pórtico. Este, aliás, será o foco do presente trabalho.

Pilares, vigas e escoras são alguns dos elementos estruturais definidos como barras, deste modo, percebe-se que são elementos unidimensionais. Já as estruturas contínuas são regidas por elementos de duas ou três dimensões, podendo ser chapas, placas, blocos, entre outras.

Alva (2007) descreve como, geralmente, as estruturas são formadas. Sem mencionar a infraestrutura, ela relata que as estruturas são formadas por lajes, vigas e pilares. As lajes são placas rígidas apoiadas em vigas e as vigas são apoiadas nos pilares, desta forma, os pórticos são constituídos. Cada elemento transmite a carga para o outro até que essa carga chegue à fundação e posteriormente se descarregue sobre o solo. Segundo Gilbert, Leet e Uang (2010) para se ter uma melhor visão da edificação e para que esta seja analisada minuciosamente, o projetista tende a simular um modelo físico a fim de demonstrar de forma simples a estrutura, seus apoios e cargas aplicadas. De tal forma que se tenha uma boa distribuição das vigas e pilares a fim de se ter a melhor distribuição de cargas possível.

Cada software tem o seu método de analisar a estrutura. O Eberick é um software de análise estrutural tridimensional desenvolvido pela empresa AltoQi, se trata de uma plataforma BIM voltada para dimensionamento e análise de estruturas. Através dele é possível fazer o dimensionamento de toda a estrutura e averiguar o comportamento da edificação como um todo ou apenas dos elementos estruturais isoladamente. Através de pórticos espaciais criados pelo próprio software é realizada uma breve análise acerca dos deslocamentos e esforços. Ao ser finalizado o processamento da estrutura, o usuário tem total liberdade para visualizar os resultados através de diagramas de cores onde mostram em quais intervalos se tem mais deslocamento, onde o momento fletor está sendo mais solicitado, se as flechas estão elevadas, etc. Ele utiliza do método dos elementos finitos para analisar a estrutura. De acordo com Azevedo (2003) este método tem como base determinar o estado de deformação e de tensão de um elemento sólido de qualquer forma geométrica e que está sujeita a ações exteriores. Este método é usado no software eberick.

Já o Ftool foi idealizado e criado pelo professor Luiz Fernando Martha, da Pontífice Universidade católica do Rio de Janeiro (PUC). Este programa tem a finalidade de complementar e expandir o conhecimento dos alunos acerca dos métodos de análise estrutural. Além de que, este software conta com uma rápida análise facilitando o estudante a diversificar os tipos de vinculações, vãos, cargas etc. Ou seja, o usuário pode analisar várias possibilidades para um mesmo elemento de maneira rápida e eficiente. Isso faz com que o usuário tenha uma gama de opções para fazer a sua análise, criando diferentes cenários e condições para a estrutura, a fim de desenvolver diversos níveis de compreensão. Para Sancho (2014), o processo simulatório de estruturas no computador estimula estudantes a criar várias possibilidades para um mesmo projeto. Desencadeando assim várias ideias interessantes a fim de adequar a estrutura em uma melhor situação. Seu método de análise é através da rigidez direta. Ele se baseia em descobrir duas incógnitas principais, força e deslocamento.

Como a utilização dos softwares está cada vez mais intuitivo, diversos projetistas desconhecem as características dos métodos utilizados pelo computador para gerar o resultado esperado. Está se tornando obsoleto e até dispensável o conhecimento dos métodos usados dado a sua complexidade. Quanto mais renome o software tem, menos o projetista é instigado a reiterar os resultados e muitos apenas aceitam o resultado dado por aquela ferramenta.

2.2 Ações Atuantes

Em uma estrutura, há muitas ações a serem levadas em consideração, tais como peso próprio, sobrecarga de utilização, vento, etc. Para que todas essas ações sejam consideradas dentro de uma mesma estrutura e garanta segurança, é necessário usar alguns métodos. O método utilizado pela NBR 6118:2014 para considerar a segurança da estrutura é o método dos estados de limite. Eles são dois e são denominados estado limite de serviço (ELS) e estado limite último (ELU). O ELS ocorre quando a estrutura ainda consegue se manter de pé, porém não está apta a ser habitada, ou seja, tem a ver com funcionalidade, conforto e durabilidade da estrutura. Já o ELU é quando a edificação deixa de atender os padrões de funcionalidade e começa a entrar no estado de colapso. Tanto o ELS quanto o ELU são definidos através de majoração de ações e minoração de resistência. Os cálculos são feitos considerando que todas as ações ocorrem simultaneamente e nelas é acrescido um coeficiente de ponderação (γ_f) que vai as majorar. Atrelado a isso, ainda ocorre a minoração da resistência que também depende de um coeficiente de ponderação. Esses coeficientes podem ser encontrados na NBR 6118:2014 de acordo com cada situação de cálculo.

Todas as combinações e ações que causem alguma influência devem ser consideradas ao longo da concepção estrutural. Em toda edificação existem ações atuantes (diretas) e ações relativas (variáveis). A primeira diz respeito a todo carregamento que é fixo e aplicado diretamente nos elementos estruturais, tais como peso próprio dos elementos construtivos e até mesmo o peso dos materiais usados para acabamento. Ou seja, são ações que estão presentes na estrutura durante toda sua vida útil.

Já as ações variáveis são as que podem oscilar durante o tempo, podem ser móveis, pessoas, automóveis, etc. Em construções mais esbeltas, além das ações direta e variável, deve-se levar em consideração a ação do vento que, por sua vez, são absorvidas pelo contravento de pórticos.

Para Giongo (2007), as vigas são elementos que estão constantemente sofrendo ações uniformemente distribuídas. No entanto, por vezes são submetidas a carregamento concentrados. Isso se dá, sobretudo, pela necessidade de apoiar uma viga a outra gerando esforços de flexão – momento fletor e força cortante. Ele também afirma que os pilares são expostos a esforços de flexo-compressão – momento fletor e força normal – se tivermos como base pórticos planos ou espaciais. Nesse caso, a força cortante só é solicitada se as ações horizontais forem consideradas.

Segundo Gilbert, Leet e Uang (2010), “As vigas e as colunas de pórticos rígidos transmitam força axial, força cortante e momento”. Normalmente, as vigas são calculadas somente em função do momento, já que a força axial exercida sobre ela é tão pequena que pode ser desprezada. Nos pilares acontece o oposto, os momentos são tão pequenos que podem até serem desprezados. A força axial, sobretudo nos pilares inferiores e internos, é consideravelmente grande, por isso não pode ser desprezada de forma alguma. Dessa maneira, facilmente se percebe o quão fundamentais esses elementos (viga e pilar) são para a segurança e correto funcionamento da estrutura como um todo.

Gilbert, Leet e Uang (2010) dizem que a magnitude da cortante, momento e carga axial devem ser estabelecidas em todas as seções da barra. Têm-se dois possíveis cenários em relação à seção transversal de uma viga: o primeiro, é quando a seção transversal da viga é constante em toda extensão da barra. Nesse caso, o momento fletor e a cortante são dimensionados de acordo com seus valores máximos. O segundo cenário possível é quando essa seção transversal não se mantém constante ao longo de toda barra. Nesse caso, ela deve ser calculada considerando os valores da seção onde ela é mais solicitada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A edificação analisada possui 135,9m² de terreno e 67,33m² de área construída. É uma edificação de médio padrão (em anexo). O principal item analisado neste trabalho foi o pórtico (vinculação viga-pilar), com foco nos momentos fletores que a viga apresenta quando submetida a carregamentos calculados e retirados a partir da NBR 6120:2019. Os resultados encontrados foram comparados através de planilhas.

A estrutura foi analisada nos dois softwares (Eberick e Ftool). Não foram usadas ligações flexíveis, todas as ligações que constam no projeto serão rígidas ou semirrígidas.

A classe do concreto usado no projeto foi analisada de acordo com tabelas da NBR 6118:2014. A classe de agressividade dele é II, agressividade moderada. Tendo em vista que se trata de uma edificação construída no perímetro urbano, longe do ambiente marítimo, logo o risco de deterioração da estrutura é pequeno. Como se trata de concreto armado, a relação água-cimento será maior ou igual a 0,60 e a classe do concreto, que é o que indicará a resistência característica do concreto à compressão, conforme a NBR6118:2014, foi usado C25. A deformação elástica, um dos parâmetros utilizados no Ftool, foi encontrado com base na resistência a compressão do concreto na NBR 6118:2014.

Em relação aos sistemas estruturais, para o sistema estrutural transversal foram adotados pilares e vigas. Os pilares serão considerados engastados nas fundações. Todos os pilares têm dimensões 15x25cm, sendo esta seção superior à área mínima definida pela norma NBR 6118:2014. As vigas variam de altura conforme o seu nível, vigas baldrame têm 15x30cm e as vigas cobertura 15x40cm. O sistema estrutural escolhido para a cobertura será por laje maciça, considerando uma carga acidental de 50kgf/m². Na carga adicional do telhado foi considerado 0,85kN/m² de acordo com a NBR 6120:2019 e revestimento de 136,5kgf/m².

Para determinar a carga que cada viga da cobertura receberia das lajes, foram usadas planilhas no Excel e tabelas sobre reações de apoio em lajes com carga uniforme elaboradas pelo professor Pinheiro (2007) depois retirados os valores de v_x, v'_x, v_y e v'_y para determinar as cargas que iriam para cada viga (Tabela 1). Foi usado o mesmo critério para ambos os softwares. A diferença é que a carga usada no Ftool foi calculada levando em consideração o peso próprio da viga, já no eberick somente foi adicionada a carga de parede e as cargas provenientes da laje. As cargas usadas podem ser verificadas na tabela 2.

Tabela 1: Planilha de carga da laje

V_x (Kn/m)	V'_x (Kn/m)	V_y (Kn/m)	V'_y (Kn/m)	
3,95	-	5,41	7,93	LAJE 01
5,58	8,17	4,79	7,00	LAJE 02
-	8,88	5,01	7,33	LAJE 03
4,60	6,73	4,08	5,96	LAJE 04
6,60	-	6,53	9,56	LAJE 05
4,60	6,73	4,08	5,96	LAJE 06

Fonte: Própria (2020).

v_x – Menor vão da laje livre;

v'_x – Menor vão da laje engastado;

v_y – Maior vão da laje livre;
 v'_y – Maior vão da laje engastado.

Tabela 2: cargas da laje consideradas.

	Acidental (kgf/m ²)	Adicional Telhado (kgf/m ²)	Revestimento (kgf/m ²)	Caixa d'água (kgf/m ²)	Peso Próprio (kgf/m ²)	Carga Total (kgf/m ²)
LAJE 01	50,00	85,00	136,50		325,00	596,50
LAJE 02	50,00	85,00	136,50		325,00	596,50
LAJE 03	50,00	85,00	136,50	206,50	325,00	803,00
LAJE 04	50,00	85,00	136,50		325,00	596,50
LAJE 05	50,00	85,00	136,50		325,00	596,50
LAJE 06	50,00	85,00	136,50		325,00	596,50

Fonte: Própria (2020).

No software eberick, foi lançada a carga de paredes como carga adicional com base na tabela 2 que se encontra na NBR 6120:2019, pois a versão usada é anterior a atualização da NBR 6120. Para esta edificação foi considerado bloco cerâmico vazado (furo horizontal) de 14cm de espessura e 1cm de revestimento. Foi calculado separadamente o peso da parede multiplicando o peso específico do bloco cerâmico pela altura da parede.

É importante salientar que as lajes não foram inseridas no eberick, desta forma as cargas da laje foram colocadas sobre as vigas também.

Para efeito de cálculo desconsiderou-se as ações do vento, o peso referente a caixa d'água foi atribuído diretamente acima da laje em que ficará posicionada. Pensando que não se tem um posicionamento exato de água na laje e colocando a segurança em primeiro lugar, usou-se o critério para dimensionar as cargas da laje caixa d'água distribuindo a carga por toda a laje 3, que fica acima do banheiro e não somente pela área de contato da caixa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O software eberick utiliza o método de elementos finitos para analisar a estrutura como um todo. De acordo com Kaestner (2019), este software calcula os pavimentos por intermédio de um modelo em analogia de grelha, que engloba as lajes e vigas em uma única estrutura. Já o Ftool utiliza o método da rigidez direta para analisar os elementos, este método nada mais é do que a aplicação do método dos deslocamentos. Como os métodos utilizados para análise são diferentes, optou-se por não adicionar as lajes no eberick, sendo apenas adicionado os esforços solicitantes provenientes das lajes em cada viga. Após o processamento da estrutura, foi verificada uma deformação na viga 8 da cobertura provavelmente causado em decorrência ao tamanho do vão. Por esse motivo a seção foi aumentada 10cm. As cargas geradas no eberick foram na sua maioria iguais as lançadas no Ftool (tabela 3). Houve algumas diferenças mínimas apenas.

Tabela 3: Comparativo de cargas no Eberick e Ftool.

BALDRAME		
PÓRTICO	Cargas	
1	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
2	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
3	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
4	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
5	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
6	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
7	4,88	EBERICK
	4,88	FTOOL
8	4,72	EBERICK
	4,73	FTOOL

COBERTURA		
PÓRTICO	Cargas	
1	6,91	EBERICK
	6,91	FTOOL
2	6,29	EBERICK
	6,29	FTOOL
3	14,33	EBERICK
	14,33	FTOOL
4	18,06	EBERICK
	18,06	FTOOL
5	12,83	EBERICK
	12,80	FTOOL
6	8,03	EBERICK
	8,03	FTOOL
7	17,00	EBERICK
	17,00	FTOOL
8	8,47	EBERICK
	8,48	FTOOL

Fonte: Própria (2020).

Os dados de momento fletor foram comparados através de planilhas no Excel. Como pode ser visto na tabela 4, três pórticos tiveram uma maior diferença percentual de momento fletor. Em relação a baldrame, o pórtico 3, que foi um dos que mais recebeu solicitações devido estar engastado a laje caixa d'água, foi também o que mais teve diferença

em relação ao momento fletor positivo. Neste pórtico o valor mais alto foi obtido através do software eberick. A diferença entre os valores de momento fletor positivo obtidos no Ftool e no eberick foi de 24,64%.

Tabela 4: Percentual de diferença dos momentos fletores positivos e negativos.

Comparativo Baldrame		
PÓRTICO	MOMENTO POSITIVO (kN.m)	MOMENTO NEGATIVO(kN.m)
1	11,29%	8,70%
2	11,24%	5,81%
3	24,64%	8,00%
4	16,15%	14,41%
5	8,20%	3,73%
6	10,98%	56,11%
7	10,26%	2,50%
8	6,43%	5,31%

Comparativo Cobertura		
PÓRTICO	MOMENTO POSITIVO (kN.m)	MOMENTO NEGATIVO(kN.m)
1	19,42%	8,62%
2	26,79%	6,29%
3	41,18%	55,89%
4	25,53%	13,85%
5	21,07%	14,68%
6	27,82%	2,26%
7	27,00%	39,99%
8	6,16%	1,26%

Fonte: Própria (2020).

No entanto, essa diferença é insignificante quando comparamos a área de aço. Quando calculada a área de aço para o momento fletor positivo gerado pelo eberick no baldrame, notou-se que a área de aço foi de 0,43cm². Já quando calculado o mesmo pórtico para a solicitação de momento fletor positivo gerado no Ftool, a área de aço diminuiu 25,58% indo para 0,32cm². Deste modo, pode-se notar que não há uma diferença relevante na quantidade de barras de aço. Podendo ser adotados 2 barras com o diâmetro de 8mm para essa situação. Todavia, os valores de área de aço tiveram diferenças conforme tabela 5.

Tabela 5: Comparativo de área de aço no pórtico 3 no baldrame.

PT_03_BALD_FTOOL_M_POSITIVO		
Área de aço calculado	0,32	
Área de aço mínimo	0,60	cm ²
Área de aço adotado	0,60	cm ²
Quantidade de barras:	2 barras	Ø 8.0
PT_03_BALD_EBERICK_M_POSITIVO		
Área de aço calculado	0,43	
Área de aço mínimo	0,60	cm ²
Área de aço adotado	0,60	cm ²
Quantidade de barras:	2 barras	Ø 8.0

Fonte: Própria (2020).

Em relação ao momento fletor negativo no baldrame, a maior diferença foi dada no pórtico 6, quando a diferença chegou a 56,11%. Neste caso, o valor usado para cálculo com os dados do Ftool seria a área de aço mínima, já para o eberick a área de aço calculada vai ser levada em consideração por ser maior que a área de aço mínima. Deste modo, a diferença entre esses resultados foi de 25%. Fazendo assim o valor gerado no eberick ter uma área de aço um pouco maior em termos de números. Em relação a quantidade aço, ambos poderiam usar duas barras de 8mm cada (tabela 6).

Tabela 6: Comparativo de área de aço no pórtico 6 no baldrame.

PT_06_BALD_EBERICK_M_NEGATIVO		
Área de aço calculado	0,80	
Área de aço mínimo	0,60	cm ²
Área de aço adotado	0,80	cm ²
Quantidade de barras:	2 barras	Ø 8.0

PT_06_BALD_FTOOL_M_NEGATIVO		
Área de aço calculado	0,35	
Área de aço mínimo	0,60	cm ²
Área de aço adotado	0,60	cm ²
Quantidade de barras:	2 barras	Ø 8.0

Fonte: Própria (2020).

Na cobertura, os valores de momento positivo e negativo foram mais diferentes no pórtico 3. O momento positivo chegou a 41,18% de diferença e o negativo teve 55,89% de diferença. Calculando a área de aço de ambos, podemos notar que houve uma diferença maior. Nessa situação, os valores de área de aço mínima não vão ser levados em consideração. A diferença entre as áreas de aço calculada foi de 42%, sendo o valor mais alto gerado pelo eberick. Na viga calculada no Ftool atenderia se fosse usado duas barras de 8mm cada, já no eberick o total de barras teria que dobrar para suportar as solicitações indo para quatro barras de diâmetro de 8mm cada (tabela 7).

Tabela 7: Comparativo de área de aço no pórtico 3 na cobertura

PT_03_COBERT_FTOOL_M_POSITIVO		
Área de aço calculado	0,99	
Área de aço mínimo	0,82	cm ²
Área de aço adotado	0,99	cm ²
Quantidade de barras:	2 barras	Ø10.0

PT_03_COBERT_EBERICK_M_POSITIVO		
Área de aço calculado	1,71	
Área de aço mínimo	0,82	cm ²
Área de aço adotado	1,71	cm ²
Quantidade de barras:	3 barras	Ø10.0

Fonte: Própria (2020).

Como houve diferença na área de aço entre o momento fletor positivo da cobertura, já era esperado que o mesmo acontecesse com a área de momento fletor negativo da cobertura por conta de a porcentagem de diferença ser ainda maior.

Nos pórticos, onde os valores de momento fletor positivo e/ou negativo foi maior no software Ftool em relação ao eberick, não tiveram uma diferença significativa em termos de porcentagem, ficando abaixo dos 10% de diferença (em anexo).

Deste modo, pôde-se notar que as maiores diferenças no baldrame em relação aos momentos fletores não fizeram diferença na quantidade de barras de aço. Enquanto na cobertura já houve diferenças significativas na quantidade de barras.

5. CONCLUSÃO

A análise envolve diversas variantes. Segundo Kripka(2003), como o número de variáveis é significativo, o dimensionamento e análise para construções realizadas em concreto armado, normalmente é feito por meio de aproximações em sequência a fim de obter o resultado esperado. Como se trata de um processo bastante iterativo, uma das coisas que pesa bastante é a experiência do projetista. Logo, dificilmente o resultado de um software será igual a outro. Assim como pode-se ter dois projetistas calculando a mesma estrutura nos mesmos softwares, que dificilmente os resultados serão os mesmos.

Já se esperava que a estrutura iria se comportar de maneiras diferentes quando comparados nos dois softwares. E foi justamente o que aconteceu, o eberick gerou momentos fletores positivos e negativos maiores na maioria dos casos. Consequentemente as áreas de aço também foram maiores. Isso porque ele trabalha com milhões de variáveis e mesmo alterando o coeficiente de ponderação, ele ainda majorou os momentos. Em relação ao Ftool, este já é um software menos complexo e trabalha com menos variáveis. É válido analisar a estrutura em ambos os softwares. No entanto, aconselha-se a trabalhar com o Eberick quando quiser ter uma visão mais detalhada de como a estrutura inteira está funcionando e as influências de cada elemento estrutural. E se quiser analisar com mais detalhes elementos estruturais isoladamente, é aconselhável usar o Ftool como ferramenta.

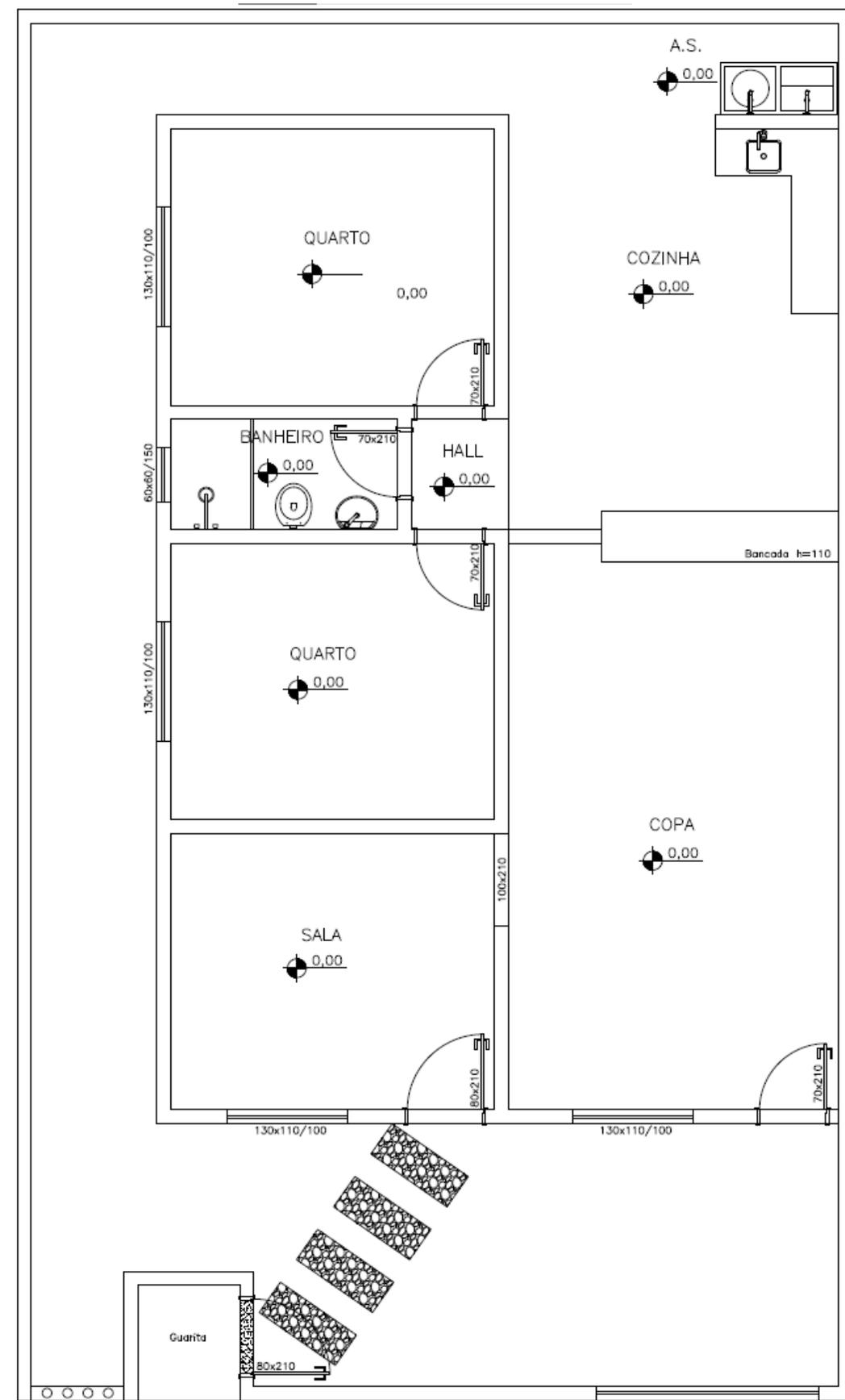
O presente trabalho não focou nos pilares, no entanto, percebeu-se que foram os locais que mais aconteceram diferenças de momento fletor. Sugere-se para que outros estudantes estudem os pilares dentro dessa perspectiva.

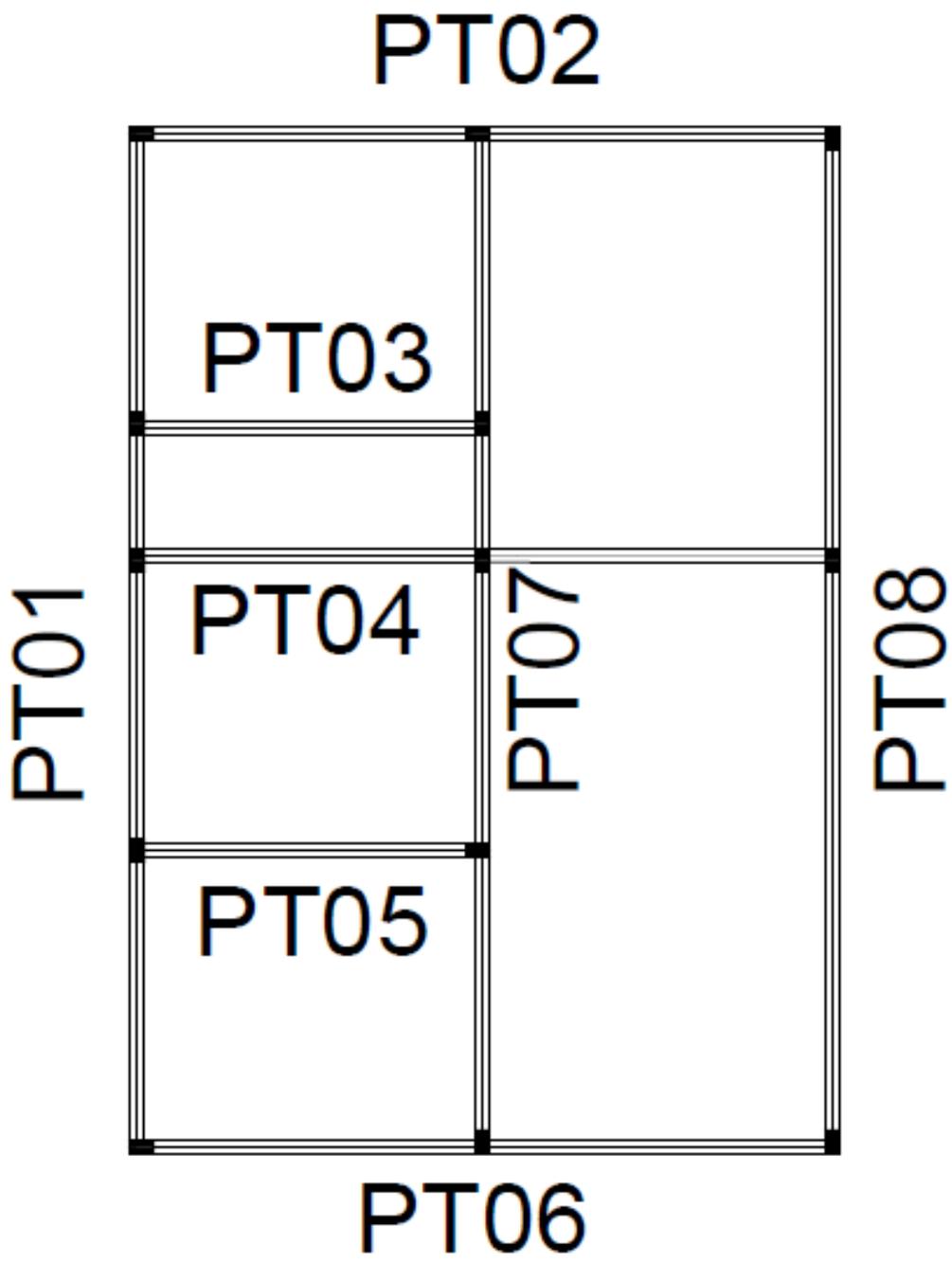
O objetivo desse trabalho foi comparar os momentos fletores gerados pelas vigas do pórtico de uma estrutura térrea quando analisados em softwares diferentes. Uma das possíveis causas para que não tenha dado uma diferença significativa seja porque a estrutura possui vãos pequenos e não possui tantas solicitações. Acredita-se que em estruturas mais robustas essas diferenças passem a ser maiores.

REFERÊNCIAS

- ALVA, G. M. S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**: disciplina ECC 1008 – estruturas de concreto. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- AZEVEDO, A. F.M. **Método dos elementos finitos**. Faculdade de engenharia da universidade do Porto – Portugal, 2003.
- CARDOSO, V. **Concepção e análise estrutural**. Guia de estudo aplicado, 2018.
- BRANCHIER, H. S. **Contribuições dos softwares na aprendizagem de análise e cálculo de elementos estruturais**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 13 dez. 2017.
- GIONGO, J. S. **Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios**. Universidade de São Paulo - Departamento de engenharia de estruturas, 2007
- GILBERT, A. M; LEET, K. M; UANG, C. M. **Fundamentos da Análise Estrutural**. 3. ed – Porto Alegre: AMGH, 2010.
- KRIPKA, M. **Otimização do Custo de Estruturas de Concreto Armado Analisadas pelo Modelo de Grelha**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2002.
- KAESTNER, C. L. **Os projetos elaborados com o eberick são superdimensionados**. QiSuporte, 2019.
- MARTHA, L. F. **Métodos básicos da análise de estruturas**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2000.
- MARTHA, L. F. **FTOOL: Um Programa Gráfico Interativo Para Ensino de Comportamento de Estruturas**. Versão Educacional 3.00 – Versão Lisboa 2012.
- PINHEIRO, L. M. **Tabela de Lajes**. Universidade de São Paulo, 2007.
- SANTOS, J. B. **Análise da Influência da Rigidez das Ligações Viga-Pilar no Comportamento Estrutural de Edifícios de Múltiplos Pavimentos em Concreto Armado**. Universidade Federal de Uberlândia – Dissertação de mestrado, 2016.
- TIENI, L. A.; WUTZON, W. W.; LIBERATI, E. A. P.; **análise de segunda ordem global em pórticos de aço de múltiplos pavimentos utilizando diferentes métodos**. Revista Tecnológica. Universidade Estadual de Maringá, 2019.

(ANEXO)





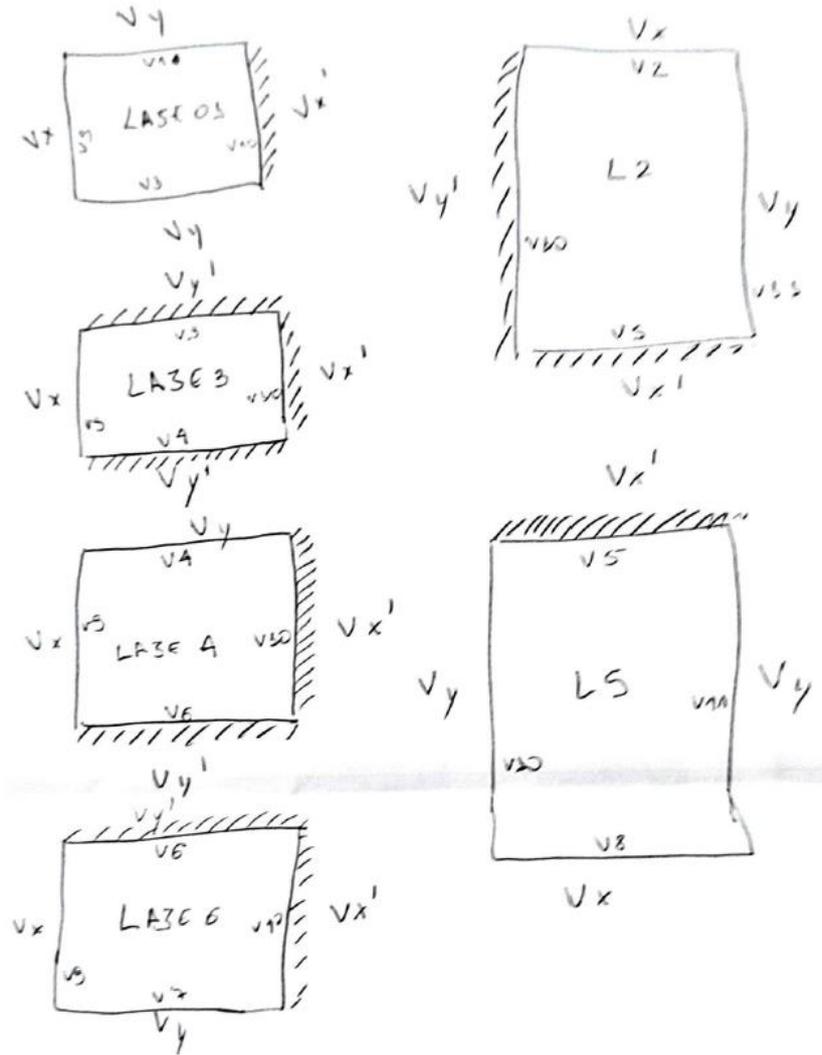
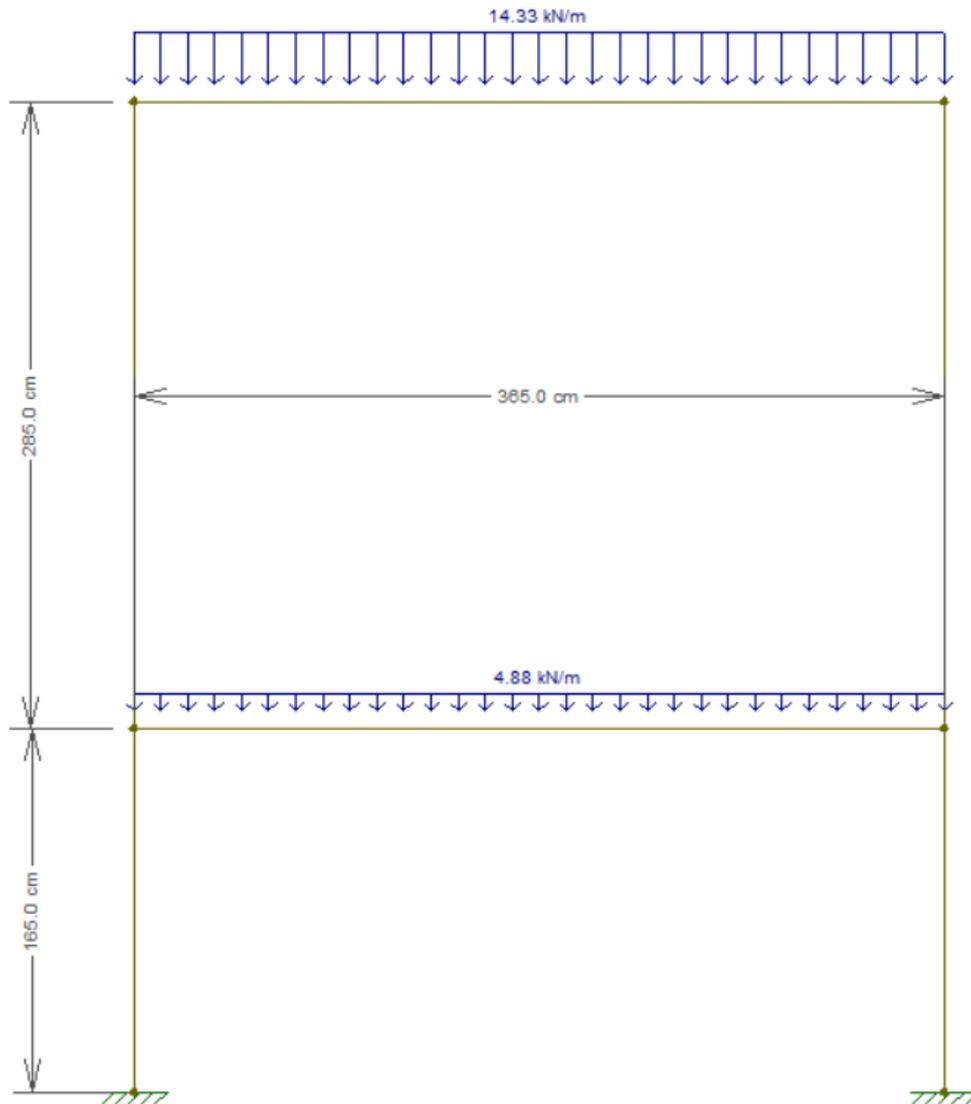


Tabela de comparativo de momento fletor positivo e negativo.

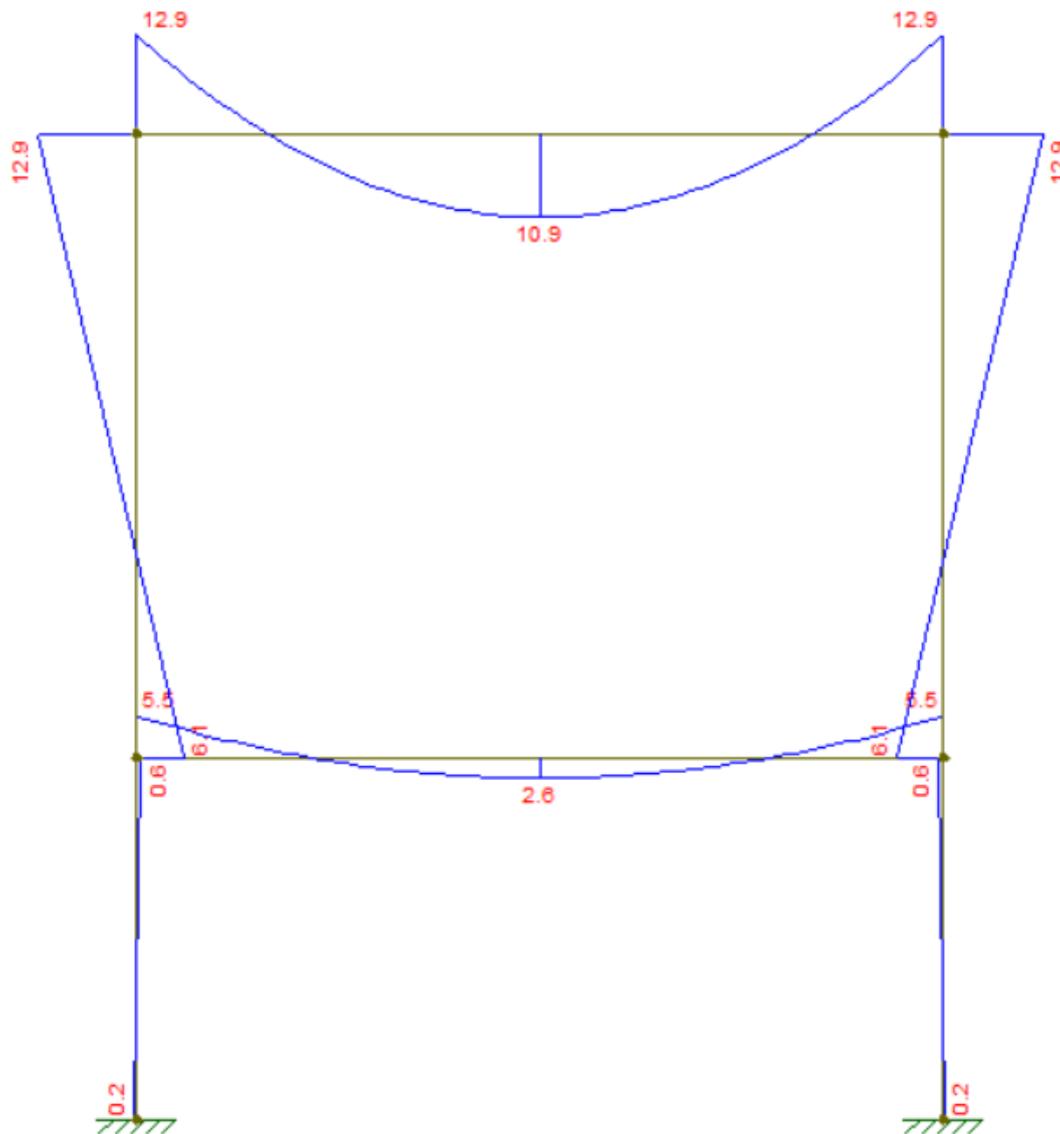
BALDRAME			
PÓRTICO	MOMENTO POSITIVO (kN.m)	MOMENTO NEGATIVO(kN.m)	
1	2,48	4,71	EBERICK
	2,20	4,30	FTOOL
2	3,38	6,37	EBERICK
	3,00	6,00	FTOOL
3	3,45	5,06	EBERICK
	2,60	5,50	FTOOL
4	3,22	6,66	EBERICK
	2,70	5,70	FTOOL
5	3,05	5,68	EBERICK
	2,80	5,90	FTOOL
6	3,37	6,38	EBERICK
	3,00	2,80	FTOOL
7	2,34	4,29	EBERICK
	2,10	4,40	FTOOL
8	7,86	15,34	EBERICK
	8,40	16,20	FTOOL

COBERTURA			
PÓRTICO	MOMENTO POSITIVO (kN.m)	MOMENTO NEGATIVO (kN.m)	
1	4,84	5,80	EBERICK
	3,90	5,30	FTOOL
2	6,01	8,75	EBERICK
	4,40	8,20	FTOOL
3	18,53	5,69	EBERICK
	10,90	12,90	FTOOL
4	16,65	26,35	EBERICK
	12,40	22,70	FTOOL
5	14,19	9,47	EBERICK
	11,20	11,10	FTOOL
6	7,62	10,64	EBERICK
	5,50	10,40	FTOOL
7	10,22	14,33	EBERICK
	14,00	8,60	FTOOL
8	20,78	29,82	EBERICK
	19,50	30,20	FTOOL

Carga PT 03 – FTOOL

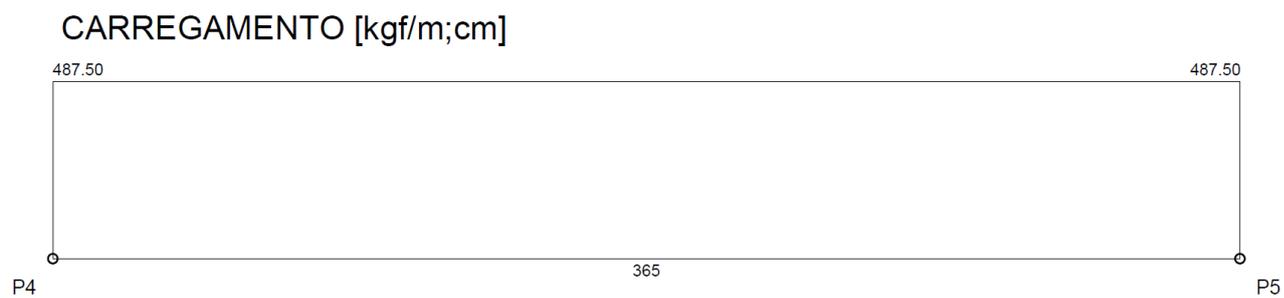


Momento Fletor PT 03 – FTOOL



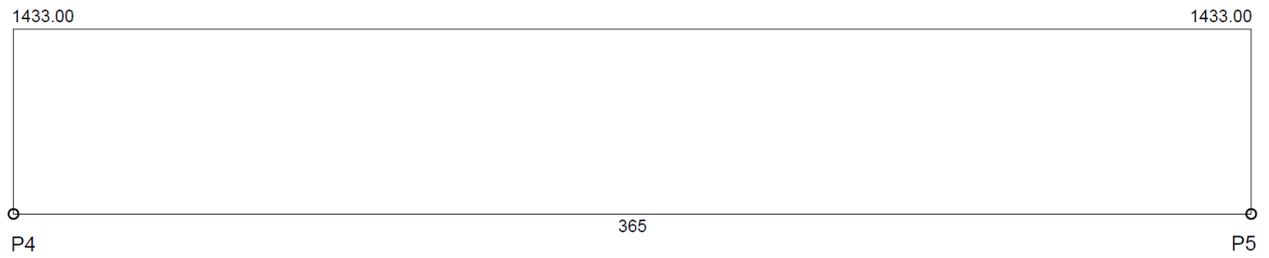
Carga PT 03 – EBERICK

- Baldrame



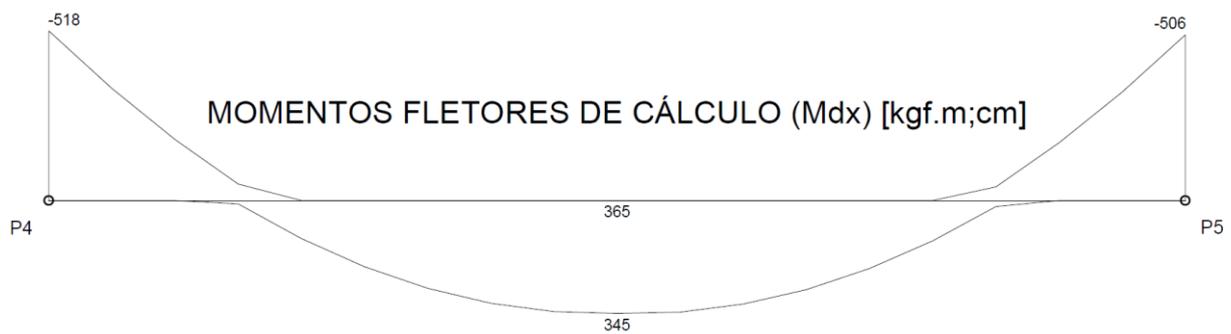
- Cobertura

CARREGAMENTO [kgf/m;cm]

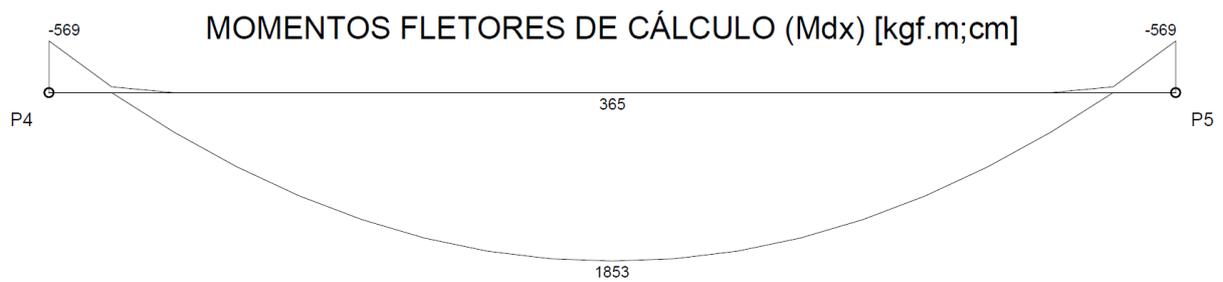


Momento Fletor PT 03 – EBERICK

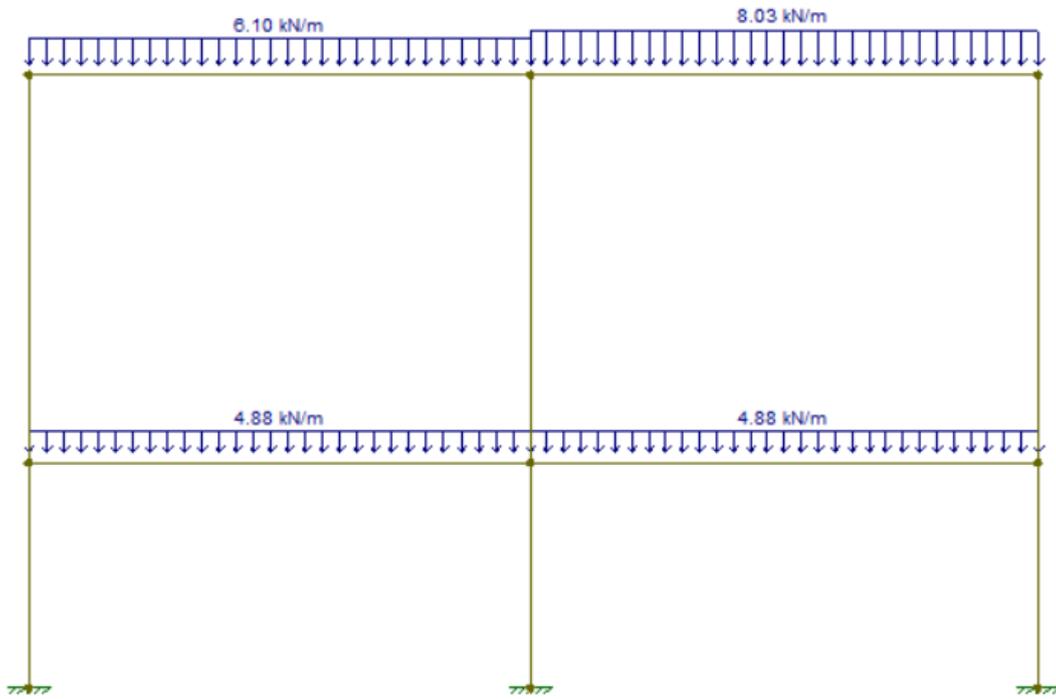
- Baldrame



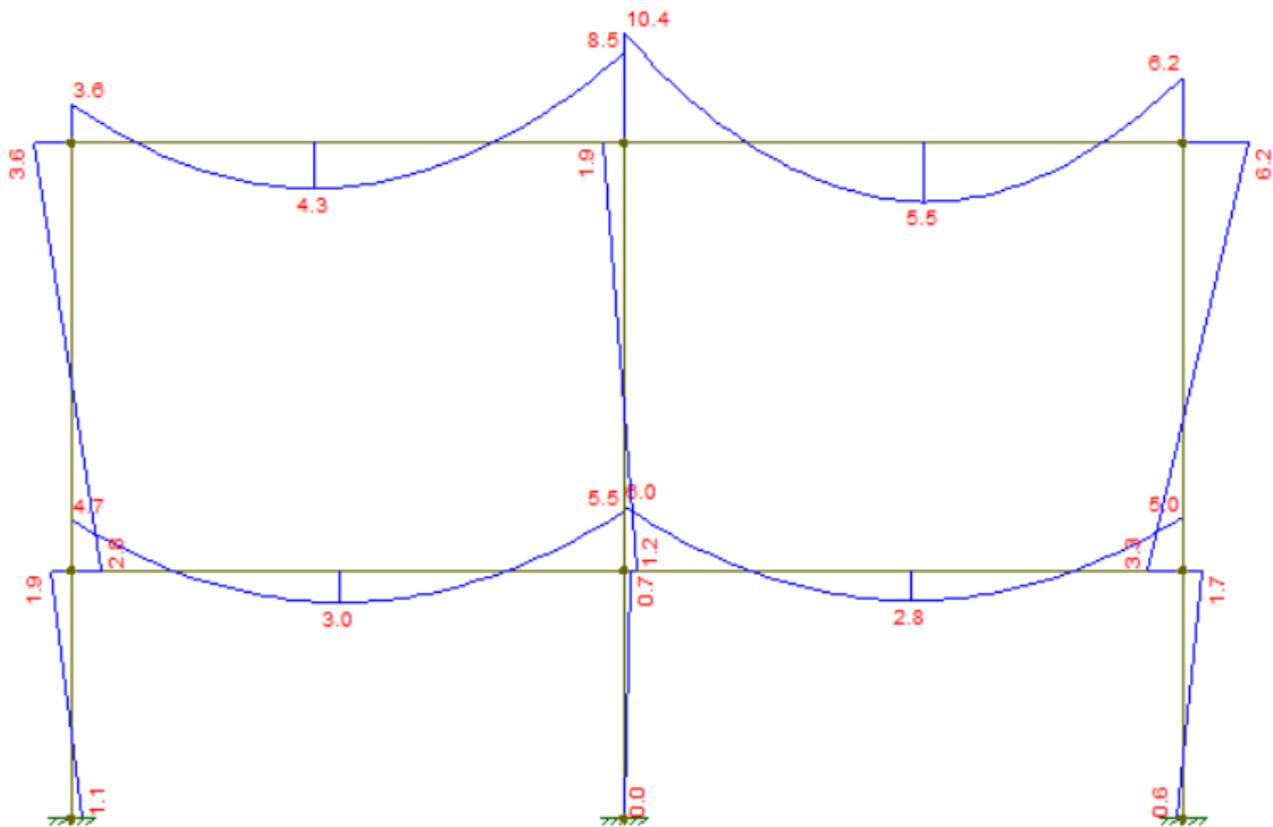
- Cobertura



Carga PT 06 – FTOOL



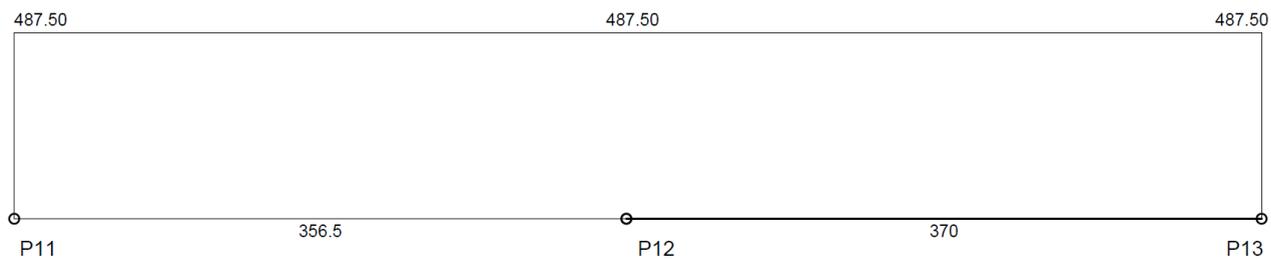
Momento Fletor PT 06 – FTOOL



Carga PT 06 – Eberick

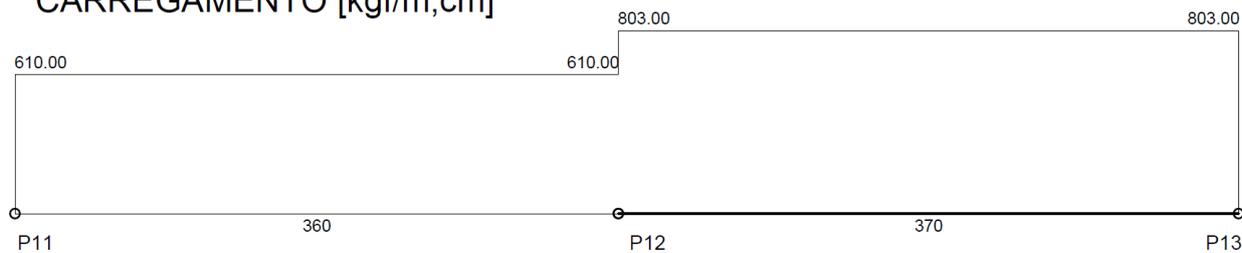
- Baldrame

CARREGAMENTO [kgf/m;cm]



- Cobertura

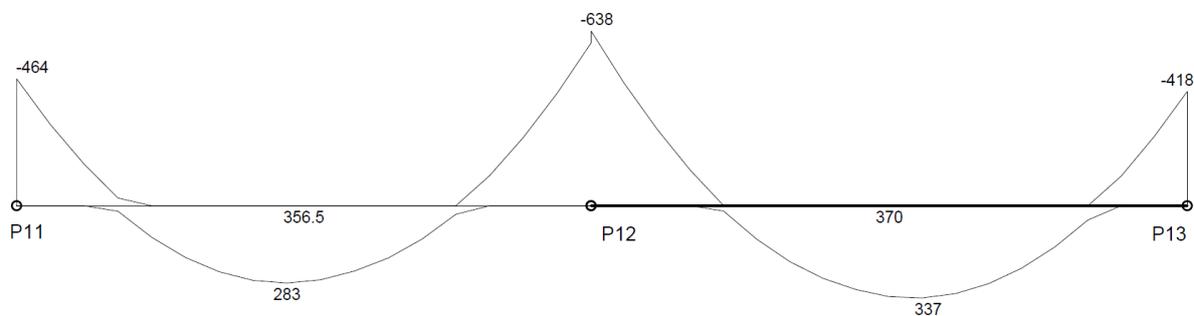
CARREGAMENTO [kgf/m;cm]



Momento Fletor PT 06 – Eberick

- Baldrame

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm]



- Cobertura

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm]

