

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CÁLCULO MANUAL E EM *SOFTWARE* PARA DIMENSIONAMENTO DE VIGAS E LAJES EM CONCRETO ARMADO

MASUMOTO, Ana H.¹
PEIXOTO, Nayara A.²
JUNIOR, Hélio F.³
Universidade São Francisco
masumotoana@outlook.com
nayaraalvespeixoto33@gmail.com

¹ Ana Heloiza Masumoto, Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Itatiba - SP;

² Nayara Alves Peixoto, Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Itatiba - SP;

³ Orientador Professor Hélio Françaço Junior, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Itatiba - SP.

Resumo. Durante muito tempo, os engenheiros realizaram cálculos totalmente manuais para a execução de projetos de estruturas, no entanto, a partir dos anos 70, a concepção destes projetos veio a ser alterada devido ao advento de ferramentas computacionais de cálculo. Neste cenário, o presente estudo propõe analisar comparativamente o dimensionamento de lajes e vigas executado de forma manual e em *software*, pressupondo um possível superdimensionamento da estrutura com o método manual, levando em consideração que o *software* possa apresentar resultados com maior refinamento. Ao final do estudo, será possível constatar, a partir de valores obtidos de forma prática, que, na realidade, os resultados entre os dois métodos apresentam distinções que variam muito, e que nem em todas as etapas o cálculo manual apresenta resultados mais altos que o *software*.

Palavras-chave: Concreto armado, Cálculo estrutural, Ferramentas computacionais, Elementos estruturais.

Introdução

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre cálculos de dimensionamento estrutural efetuados manualmente e em *software*, tendo em vista verificar área de aço, esforços de cálculo e deformações em ambos os casos, de modo a analisar possíveis diferenças entre os resultados e as razões pelas quais ocorrem. Para este fim, serão dimensionadas a laje e as vigas de cobertura da área da sala de estar, jantar e cozinha de uma residência unifamiliar em construção no município de Itatiba. Trata-se de um local da edificação que possui pé direito duplo e, deste modo, a laje e as vigas em questão se encontram sobrepostas em relação ao restante.

Segundo Farias (2014), até os anos 60, era usual que o dimensionamento e detalhamento de estruturas fosse efetuado, em sua totalidade, de forma manual, processo que demandava um grande investimento de tempo e energia por parte dos engenheiros calculistas. Então, com o amplo desenvolvimento das cidades, fez-se necessário que os cálculos pudessem ser feitos com maior agilidade e segurança e, a partir dos anos 70, passaram a surgir *softwares*

capazes de realizar o cálculo de estruturas eletronicamente, o que facilitou, e muito, o trabalho dos engenheiros de estruturas.

A utilização de *softwares* para a execução de cálculos estruturais, além de ocasionar maior produtividade nos procedimentos, possibilitou analisar e testar rapidamente diversos arranjos estruturais, de modo que o projetista possa optar pelo mais adequado, do ponto de vista econômico e de segurança. No entanto, embora sejam grandes facilitadoras do dimensionamento de estruturas, as ferramentas computacionais de cálculo não dispensam a atuação de um profissional habilitado, que deve possuir conhecimento prático e teórico suficiente para alimentar o *software* com as informações de projeto e analisar os resultados fornecidos por ele, avaliando se há a necessidade de quaisquer ajustes antes da execução. (FARIAS, 2014)

Akimura (2018) reitera que, por trás de quaisquer ferramentas computacionais de cálculo, existe um vasto conhecimento teórico aplicado, e cabe ao engenheiro determinar a ferramenta que melhor atenderá suas necessidades de projeto e, neste cenário, existem 4 principais tipos de *software* dentre os quais é possível escolher, sendo eles:

Software de análise: serve para calcular os esforços e deslocamentos de uma estrutura. Não executa o dimensionamento das armaduras nem gera as plantas finais. Usual para a análise de projetos de estruturas especiais de grande porte.

Software de desenho: serve para gerar desenhos genéricos, não direcionados exclusivamente para a Engenharia Civil. São os *softwares* usualmente chamados de *CAD*.

Softwares de dimensionamento/verificação de elemento isolado: serve para dimensionar um elemento (viga, pilar ou laje) de forma isolada da estrutura. Ideal para fazer rápidas verificações.

Sistema integrado: abrange todas as etapas do projeto. Calcula a estrutura, dimensiona e detalha as armaduras, gera e imprime os desenhos finais. É o tipo de *software* mais utilizado para projetar edifícios de concreto no Brasil. (AKIMURA, 2018, p.23)

Para este estudo, foi utilizado o *software* TQS, que é do tipo sistema integrado, sendo capaz de realizar o cálculo, dimensionamento e detalhamento das armaduras.

Durante a escolha do *software* a ser utilizado, o profissional deve se atentar se há concordância com a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), e mais precisamente com a NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto, que rege estruturas em concreto simples, armado e protendido (AKIMURA, 2018).

O sistema estrutural em foco é o concreto armado que, conforme Souza (2019) foi inventado no ano de 1849 pelo jardineiro Joseph Monier, que, insatisfeito com a baixa resistência dos vasos de barro que utilizava, passou a fabricar vasos com uma combinação de concreto e aço, unindo a resistência à compressão do primeiro e a resistência à tração do segundo.

O concreto consiste em uma mistura de areia, brita, água e cimento, aglomerante responsável pela liga dos demais agregados, e, em alguns casos, podem ser acrescentados aditivos com o intuito de melhorar suas características químicas. Uma estrutura em concreto pode ser bastante durável, a depender do tempo de cura, compactação, materiais empregados em sua fabricação e aos fatores ambientais aos quais a estrutura estará exposta. (SOUZA, 2019).

Conforme Pinheiro (2003), o concreto é o material mais utilizado no mundo, e pode ser aplicado nos mais diversos tipos de construções, o que inclui edifícios, galpões, pisos industriais, obras hidráulicas e de saneamento, rodovias etc., e sua utilização possui diversas vantagens, como, por exemplo, baixo custo de materiais, mão de obra e manutenção, facilidade e agilidade na execução, alta durabilidade e boa resistência à compressão. No entanto, apesar de vantajoso nos aspectos citados, possui restrições às quais o projetista deve estar atento,

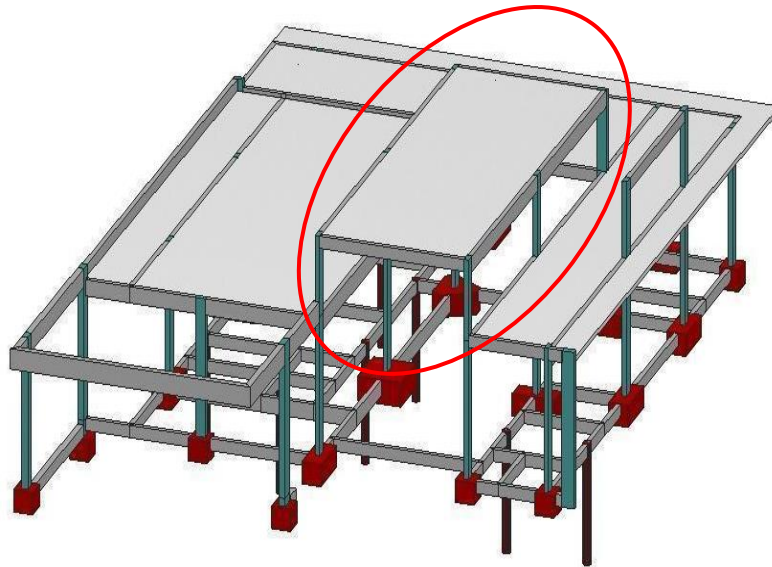
como baixa resistência à tração, custo de formas, peso próprio elevado e risco de corrosão da armadura, e, tendo em vista tais deficiências, sobretudo a baixa resistência à tração, é favorável associá-lo ao aço, que, se bem dimensionado, resiste à maioria dos esforços solicitantes da estrutura, sendo conceituado por Pinheiro (2003) como “uma liga metálica composta principalmente de ferro e de pequenas quantidades de carbono (em torno de 0,002% até 2%)”.

No que é relativo a elementos estruturais, este artigo terá como alvo lajes e vigas, conforme citado inicialmente. De acordo com a NBR 6118 (2014), a lajes são placas que resistem principalmente a ações perpendiculares ao seu plano, elas suportar cargas permanentes, como peso próprio, peso de alvenaria e de revestimentos, além de cargas acidentais como vento, peso de pessoas etc., e atuam transmitindo estas cargas sobretudo para as vigas localizadas em seus bordos. As vigas, por sua vez, são barras horizontais que, além de delimitar as lajes e resistir aos esforços por elas propagados, trabalham distribuindo as cargas nos pilares (PINHEIRO, 2003).

Como produto deste estudo, espera-se que o cálculo manual apresente resultados superdimensionados em comparação ao *software*, por executar o cálculo dos elementos isoladamente, restringindo a análise dos elementos por completo, ou seja, sem considerar as transmissões de efeitos de outros elementos englobados na estrutura. Assim, o cálculo manual teria resultados mais conservadores se comparado ao *software*, que utiliza algoritmos completos e precisos para realizar os cálculos, tendo uma maior eficiência e precisão nos resultados, além de levar em consideração inúmeras variáveis que não são consideradas no cálculo manual, uma vez que inclui todos os elementos estruturais simultaneamente na análise.

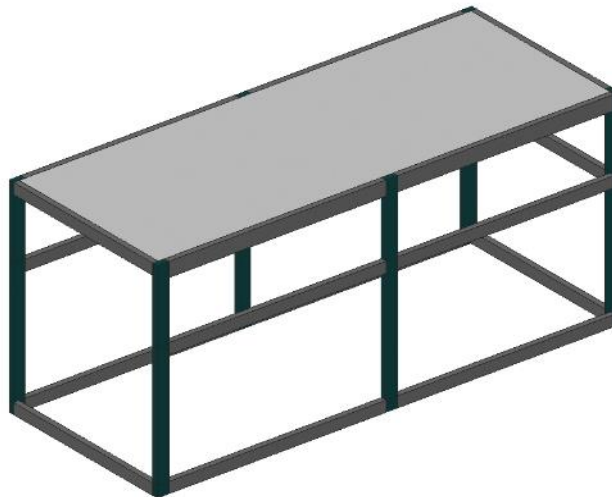
Material e Métodos

Este estudo, conforme já citado, tem como propósito realizar uma análise comparativa entre o dimensionamento de lajes e vigas executado de forma manual e com auxílio de *software*. Para isto, foi designado o projeto de uma residência unifamiliar, da qual foi extraída a laje e vigas de cobertura da área da sala de jantar, estar e cozinha, as quais serão dimensionadas manual e eletronicamente considerando o concreto armado como seu sistema estrutural. Na imagem 1 é possível observar a localização da área em estudo, cuja altura é maior que a do restante da cobertura. O local selecionado possui um pé direito duplo de 5,3m de altura, o que explica o fato de a laje estar sobreposta ao restante da casa. Na Figura 2, é possível visualizar o ambiente de forma isolada.



Fonte: Os autores (2023)

Figura 1 - Edificação da residência unifamiliar lançada no *software*



Fonte: Os autores (2023)

Figura 2 - Estrutura da cobertura com pé direito duplo

Para a realização do dimensionamento da laje e das vigas, tanto manual quanto em computador, foram utilizados os seguintes dados:

- Classe de Agressividade Ambiental II;
 - Resistência do Concreto: 25MPa;
 - Aço CA-50;
 - Peso específico do concreto: 2500 kgf/m³;
 - Cobrimento: 3 cm.
- Modulo de elasticidade: 28000 Mpa.

As vigas V1 e V3 possuem as dimensões 14x40, e as vigas V3 e V4, 14x30, e a laje L1, por sua vez, possui 4,65m de largura, 11,90m de comprimento e uma espessura $h = 14\text{cm}$ ou 0,14m.

Cálculo manual.

Há diversos métodos que permitem efetuar manualmente o dimensionamento de estruturas em concreto armado e, até o advento de ferramentas computacionais de cálculo, os engenheiros valiam-se deles para realizar seus projetos. Entre estes métodos, foi designado o Método de Marcus para os cálculos manuais neste caso.

Com o Método de Marcus, é possível obter valores de momentos na laje que a satisfaçam no ELS (Estado Limite de Serviço)¹, utilizando os valores do menor vão da laje, denominado L_x , e do maior, denominado L_y . A razão entre estes valores possibilita a determinação do coeficiente λ , que é utilizado como parâmetro de entrada nas tabelas de Marcus (BOTELHO, 2010 apud LEITE, 2017). Este coeficiente, além de influenciar na coleta de dados nas tabelas, determina se a laje será armada em duas direções ($\lambda < 2$) ou em uma direção ($\lambda > 2$) e, levando em conta que o λ da laje em estudo é igual a 2,56, sua armação é em apenas 1 direção.

Para o dimensionamento da laje, a primeira etapa foi a determinação das cargas permanentes e acidentais atuantes sobre ela. Como carga permanente, foi considerado somente o peso próprio (Pp) da laje, igual a 350 kgf/m², tendo em vista a ausência de enchimento, revestimento e alvenaria sobre ela; como carga acidental, considerou-se 100 kgf/m², valor permitido para lajes de cobertura com acesso apenas para manutenção e inspeção, conforme a NBR 6120. A soma das cargas permanentes e acidentais resultou na carga total atuante, igual a 450 kgf/m².

Para o cálculo dos momentos atuantes, foi utilizada a seguinte equação:

$$M = \frac{\mu PLx^2}{100}$$

Onde:

μ = coeficiente de compensação (Tabela 2.3a - Momentos Fletores em Lajes com Carga Uniforme), determinado a partir de λ , e do tipo de laje (simplesmente apoiada em todos os lados);

P = carga total atuante (kgf/m²);

L_x = menor vão da laje (m).

Com a determinação dos valores dos momentos positivo e negativo atuantes na laje a partir do Método de Marcus, foi possível executar o cálculo da armadura, bem como a verificação quanto à deformação dela, denominada flecha.

Para o dimensionamento das vigas, as cargas consideradas foram peso próprio - igual a 1,4 kN/m em V1 e V2, e 1,05 kN/m em V3 e V4 - e peso da laje, - igual a 13,4 kN/m em V1 e

¹ O Estado Limite de Serviço corresponde ao limite de esforços aos quais a estrutura pode ser exposta, seja com relação à carga de pessoas, máquinas ou equipamentos.

V2 e 10,5 kN/m em V3 e V4. Desta forma, a carga total atuante em cada viga resulta da soma de seu peso próprio e do peso que a laje exerce sobre elas, sendo igual a 14,8 kN/m em V1 e V2, e a 11,55 kN/m em V3 e V4.

A determinação do carregamento de peso da laje em cada viga se dá de forma parecida com a utilizada para determinação de momentos nas lajes, distinguindo-se somente as tabelas a serem consultadas e a equação, que se torna:

$$V = \frac{v PLx^2}{10}$$

Onde:

v = coeficiente de compensação (Tabela 2.2a - Reações de Apoio em Lajes com Carga Uniforme), determinado a partir de λ , e do tipo de laje (simplesmente apoiada em todos os lados);

P = carga total atuante (kN/m);

Lx = menor vão da laje (m).

No cálculo das vigas, também foram utilizados os momentos para determinação de toda a armadura, incluindo estribos, e das flechas, e devido à semelhança existente entre V1 e V2 e entre V3 e V4, foram detalhadas apenas as vigas 1 e 3. Neste caso, tendo em vista que o cálculo dos esforços nas vigas não está em foco, foi utilizado o *software Ftool*², que gera estes valores para cada viga, a partir da inserção de suas propriedades, como dimensões da seção, tipo de apoios e material.

Cálculo pelo software TQS

O dimensionamento no *software* foi realizado através do programa de cálculo estrutural de concreto armado *TQS 2023*, e feito através de uma série de informações e arquivos que são criados antes do lançamento da estrutura. Esses arquivos são as plantas da residência que são utilizadas como referência na criação do projeto estrutural, esse arquivo deve ser convertido em um novo em formato *DWG* específico para o *software*.

O *software* desenvolve todas as etapas de um projeto, desde a concepção inicial da estrutura, análise estrutural de esforços (ELU – Estado de limite último) e flechas (ELS - Estado limite de serviço), dimensionamento e detalhamento das armaduras dos elementos estruturais, até a finalização das plantas finais. Para que todas essas etapas se comuniquem entre si, o *software* é dividido em sistemas específicos para cada etapa, como o TQS Formas, onde é feita toda a parte de modelagem da estrutura e a concepção estrutural, Grelha-TQS e o Pórtico-TQS para a análise estrutural e verificação de flechas e deformação, e por fim, a etapa para

² O *Ftool* é um *software* de análise estrutural gráfico-interativo, desenvolvido pelo departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Ele possibilita realizar a análise do comportamento estrutural de pórticos planos.

o dimensionamento, detalhamento e desenhos, onde é utilizado o TQS-Pilar, TQS-Viga, TQS-Lajes etc. (TQS Informática, 2019). Os programas de cálculos estruturais são baseados nas definições teóricas consistentes e nas normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2014), de carregamentos (NBR 6120:2019), fundações (NBR 6122:2010), ventos (NBR 6123:1988), ações e combinações (NBR 8681:2004) e barras (NBR 7480:2007). (MOTA,2017).

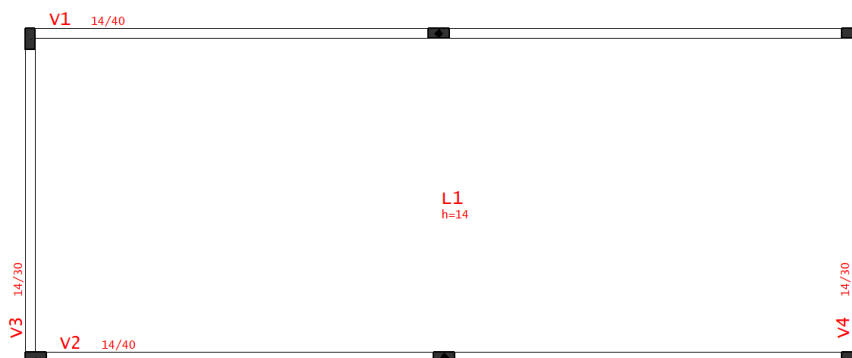
Segundo Mota (2017) o cálculo da estrutura realizado por *software* se baseia num modelo integrado através de grelhas e pórtico espacial por métodos de rigidez, em que engloba todos os elementos da estrutura, como fundação, pilares, vigas e lajes. São analisadas a fissuração do concreto, a ligação entre viga-pilar, a plastificação automáticas de apoios entre outras considerações que o *software* analisa. Estas considerações que o programa realiza, influenciam diretamente no dimensionamento e detalhamento da estrutura, podendo em certos casos reduzir o consumo de materiais, mas garantindo a segurança, conforto e economia.

A análise de placas é empregada pelo método numérico conhecido como método de elementos finitos. Atualmente esse método é bastante utilizado em vários ramos da engenharia para solucionar e resolver problemas.

A análise estrutural utiliza o método de elementos finitos para a formulação de deslocamento e força, essas duas formulações são análogas, conhecidas como método da rigidez e método de forças, aplicado na análise de estruturas reticuladas. Araújo (2010, p.127) ainda descreve: “A formulação em deslocamento tem sido preferida em virtude da facilidade de implementação computacional. Assim, em análise estrutural utiliza-se, quase exclusivamente, a formação em deslocamento dos métodos dos elementos finitos”.

O método dos elementos finitos consiste na subdivisão do domínio do problema de um pequeno grupo de elementos. O domínio é formado por uma malha de elementos finitos, onde cada um desses elementos é determinado por sua geometria e pelo número de nós.

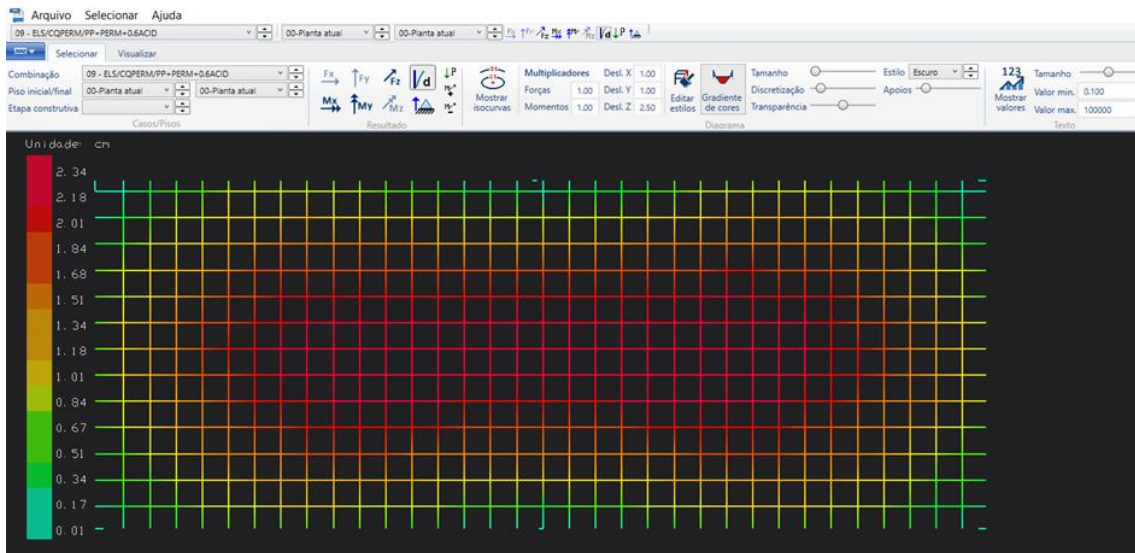
No *software* foi realizado o lançamento de laje, denominada com L1, submetida a uma carga de 450 kgf/m² e possuindo uma espessura de 14 cm, apoiada em quatro vigas, a V1,V2,V3 e V4, com dimensões de 14x30 e 14x40, representada na figura 3 abaixo.



Fonte: os autores (2023)

Figura 3 – Planta de forma da cobertura

Na análise de lajes adotada pelo *software* foi utilizado o método de análise de grelha que consiste em subdividir a laje maciça por meio de elementos lineares (barras) igualmente distanciadas ligadas em nó, resultando em uma estrutura reticulada, como mostra a imagem 4. Desta forma a rigidez à flexão e torção da laje é dada por esses elementos lineares. Para a determinação dos esforços submetidos na estrutura, o *software* usa o método de deslocamento e de forças.



Fonte: os autores (2023)

Figura 4 – Planta de forma da cobertura

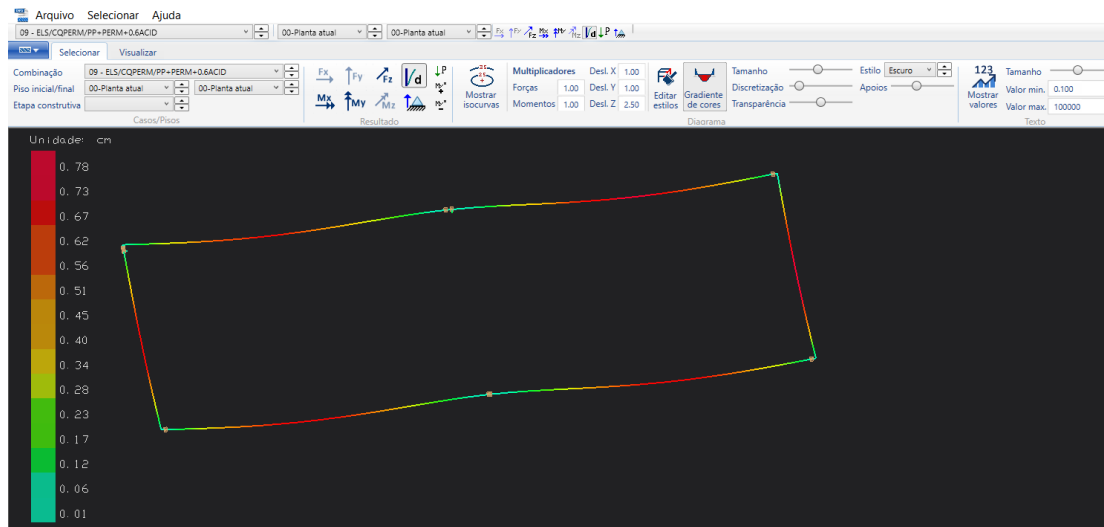
No processamento da estrutura, o *software* analisa uma série de combinações de ações para a verificação de flechas, fissuras e vibrações que a estrutura estará submetida. No caso o TQS analisou as combinações de lajes e vigas e obteve vários resultados de análise, como mostra a figura 5.

Tipo	Título	Número de casos
ELU1	Verificações de estado limite último - Vigas e lajes	20

Fonte: os autores (2023)

Figura 5 – Combinações das ações de vigas e lajes - TQS

Assim como a laje, as vigas são analisadas pelo método de análise de grelha composto por elementos lineares (barras), neste modelo de análise a laje não faz parte na visualização dos esforços, mas as cargas são distribuídas nas vigas por área de influência, possibilitando análise dos deslocamentos e esforços em cada trecho da viga.



Fonte: os autores (2023)

Figura 6 – Grelha de deformação das vigas

Resultados e Discussão

Laje (L1)

Momentos na Laje L1

LAJE	MANUAL		TQS	
	LX	LY	LX	LY
L1	1216,3	307,5	1860,0	860,0

Fonte: os autores (2023)

Tabela 1 – Momentos fletores (kN.cm) obtidos manualmente e em *software*

Na Tabela 1, é possível observar uma diferença significativa entre os momentos fletores obtidos manualmente e no *software*, que ocorre devido a uma função executada pelo TQS, denominada discretização. A discretização consiste, basicamente, em considerar que a laje não é um elemento maciço, mas sim uma grelha, composta por diversas barras lineares que cruzam-se entre si, formando nós em cada ponto de cruzamento. Cada um dos nós possui 3 graus de liberdade, que possibilitam executar uma análise de forma tridimensional, obtendo os deslocamentos e esforços atuantes (momento fletor e tissor e força cortante) em cada ponto de forma individual, o que torna os resultados mais refinados.

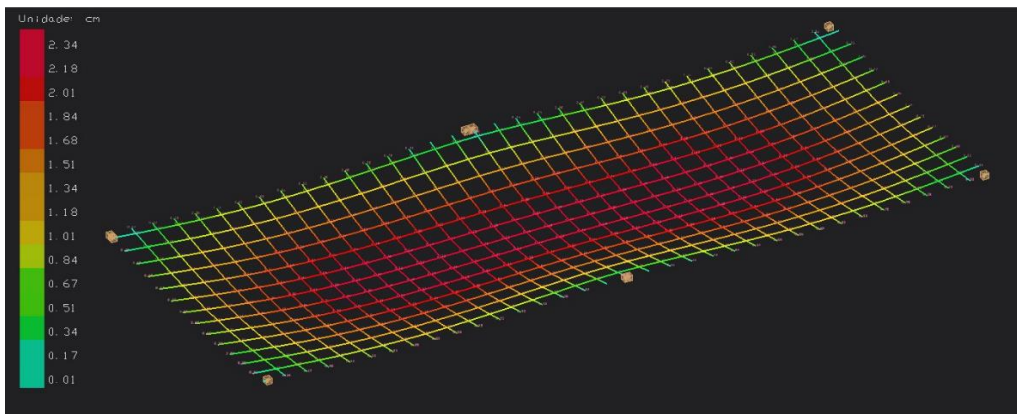
Flecha Limite

LAJE	MANUAL		TQS	
	Flecha total	Flecha limite	Flecha total	Flecha limite
L1	10,72	18,0	16,8	18,0

Fonte: os autores (2023)

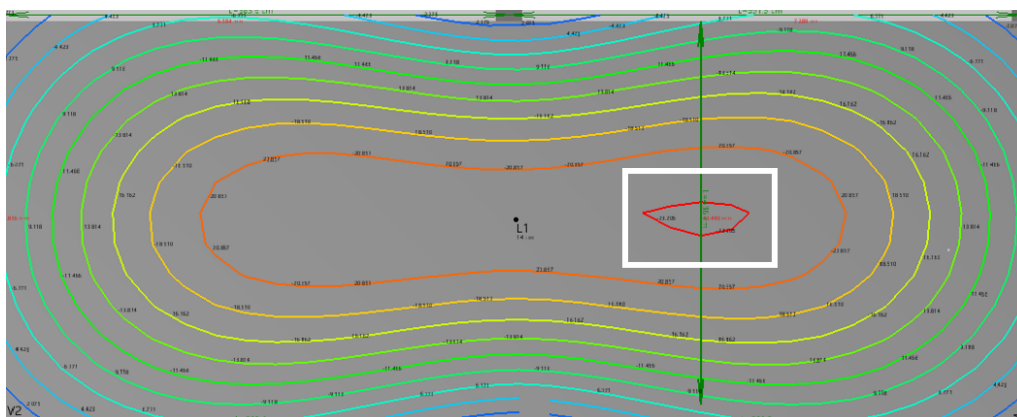
Tabela 2 – Verificação de flecha limite (mm) na laje manualmente e em *software*

No caso da flecha limite, conforme a Tabela 2, houve uma apenas uma pequena diferença entre as flechas, que também pode ser atribuída à discretização, no entanto esta distinção não possui influência no funcionamento da estrutura, uma vez que ambos os valores não atingiram a flecha limite. Nas Figuras 7 e 8 abaixo, é possível observar a forma como a deformação ocorre na prática, por meio de recursos do *software* utilizado.



Fonte: os autores (2023)

Figura 7 – Visualização da deformação da laje em *software*



Fonte: os autores (2023)

Figura 8 – Região da maior deformação da laje em *software*.

Cálculo de Armaduras

LAJE	MANUAL		TQS	
	LX	LY	LX	LY
L1	2,1	3,7	1,72	3,6

Fonte: os autores (2023)

Tabela 3 - Área de aço (cm²) obtida manualmente e via *software*

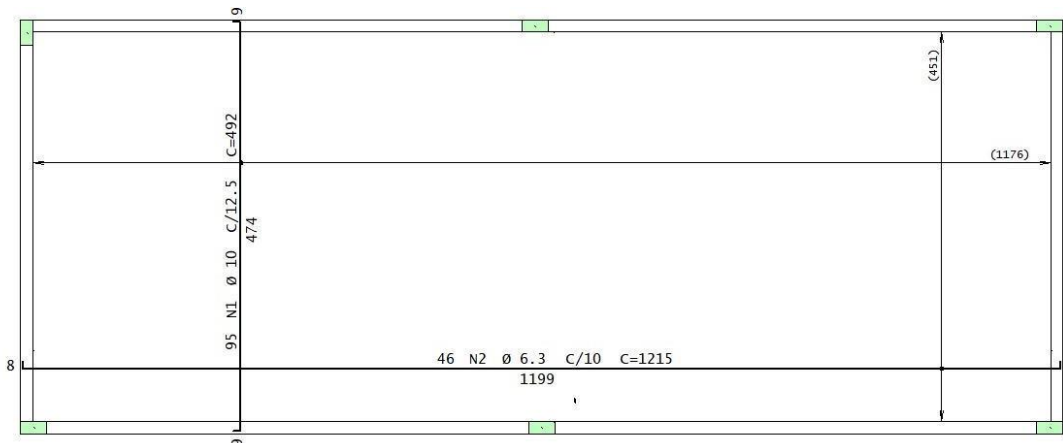
	MANUAL		TQS	
	LX	LY	LX	LY
Armadura positiva	Ø 8 a cada 12,5cm	Ø 10 a cada 20cm	Ø6,3 a cada 10cm	Ø10 a cada 12,5cm
Armadura negativa	Não há	Não há	Ø6,3 a cada 12,5cm	Ø 10 a cada 12,5cm

Fonte: os autores (2023)

Tabela 4 - Resultados do cálculo de armadura manual e em *software*

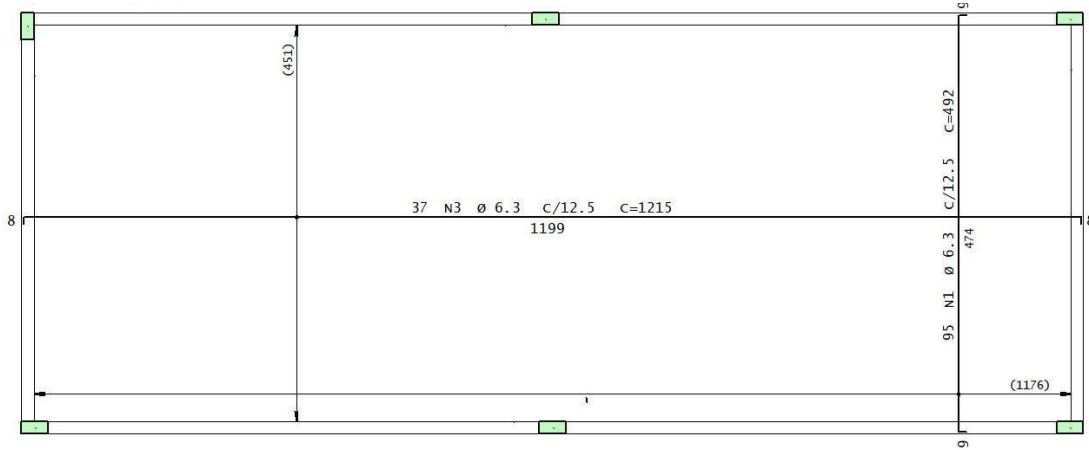
Conforme resultados apresentados na Tabela 4, o TQS prevê armadura negativa para a laje, enquanto o cálculo manual não a apresenta. Isto se dá, pois a armadura negativa possui a função de ligar uma laje à outra em casos em que existem lajes engastadas entre si e neste caso específico a laje é simplesmente apoiada em todas as laterais, ou seja, não possui engastes e, deste modo, no cálculo manual dispensa-se a armadura negativa. Entretanto, o TQS atua de modo diferente, considerando a armadura negativa, porém apenas com função construtiva, que é a de ligar a laje às vigas de seus bordos.

Nas Figuras 9 e 10 abaixo é possível visualizar o detalhamento de armadura de laje fornecido pelo *software*.



Fonte: os autores (2023)

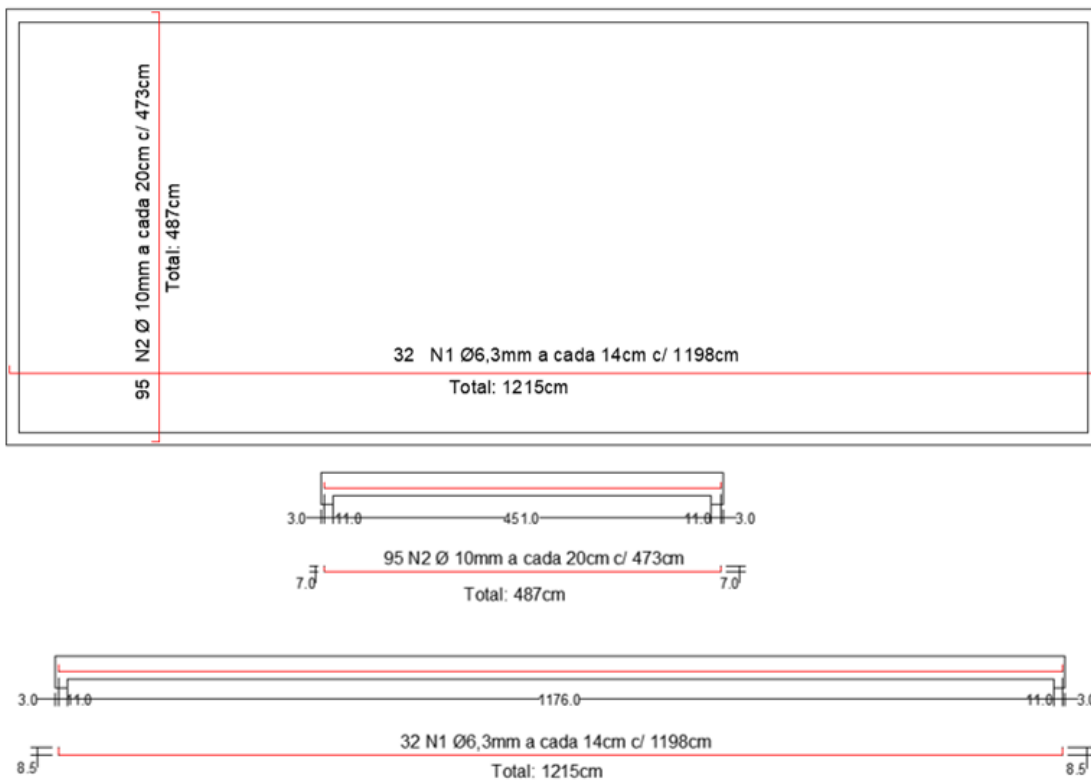
Figura 9 – Detalhamento de armadura positiva da laje L1 - TQS



Fonte: os autores (2023)

Figura 10 – Detalhamento de armadura negativa da laje L1 – TQS

Já na Figura 11, pode-se observar o detalhamento executado a partir do cálculo manual, que foi elaborado com auxílio do *software AutoCAD*.

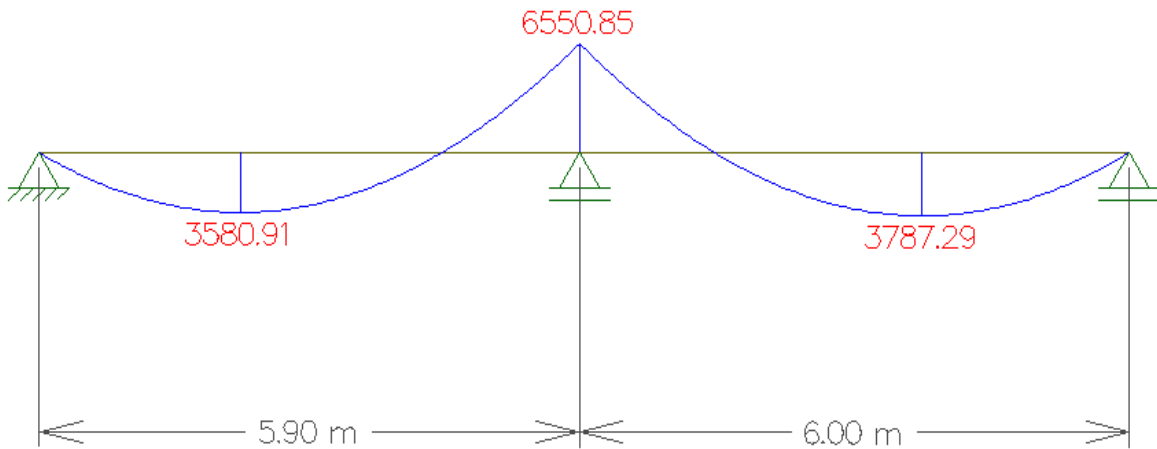


Fonte: os autores (2023)

Figura 11 – Detalhamento de armadura positiva da laje L1 - Cálculo manual

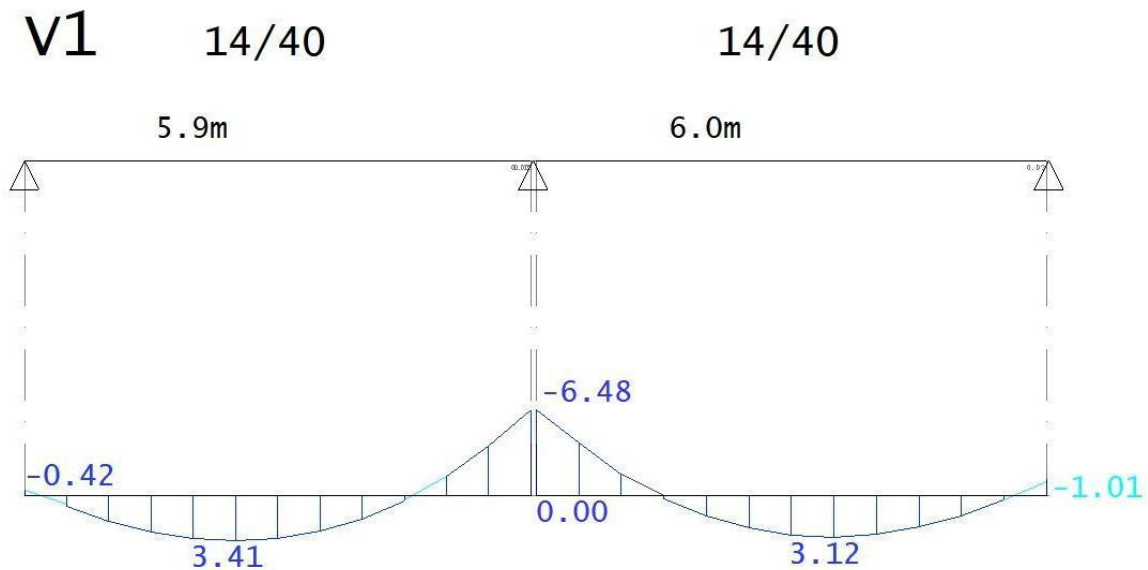
Vigas (V1 e V3)

Momentos na Viga V1



Fonte: os autores (2023)

Diagrama 1 – Diagrama de Momentos Viga V1 obtido via *Ftool* (kN.cm)

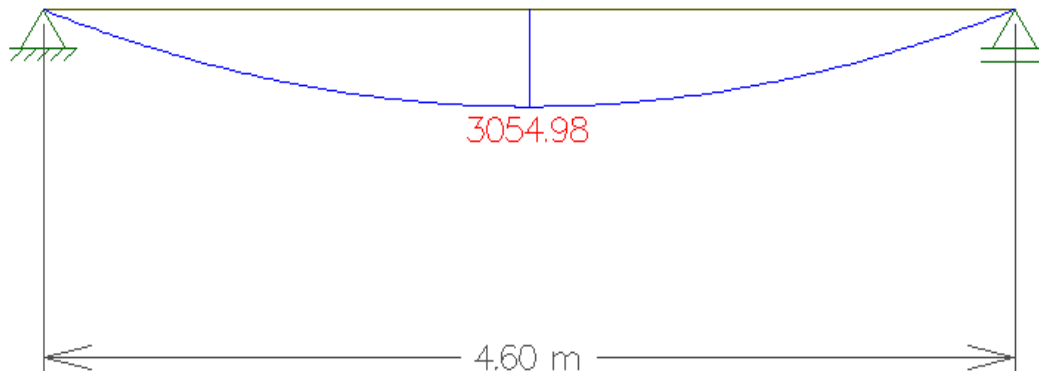


Fonte: os autores (2023)

Diagrama 2 – Diagrama de Momentos Viga V1 obtido via *TQS* (tf.m)

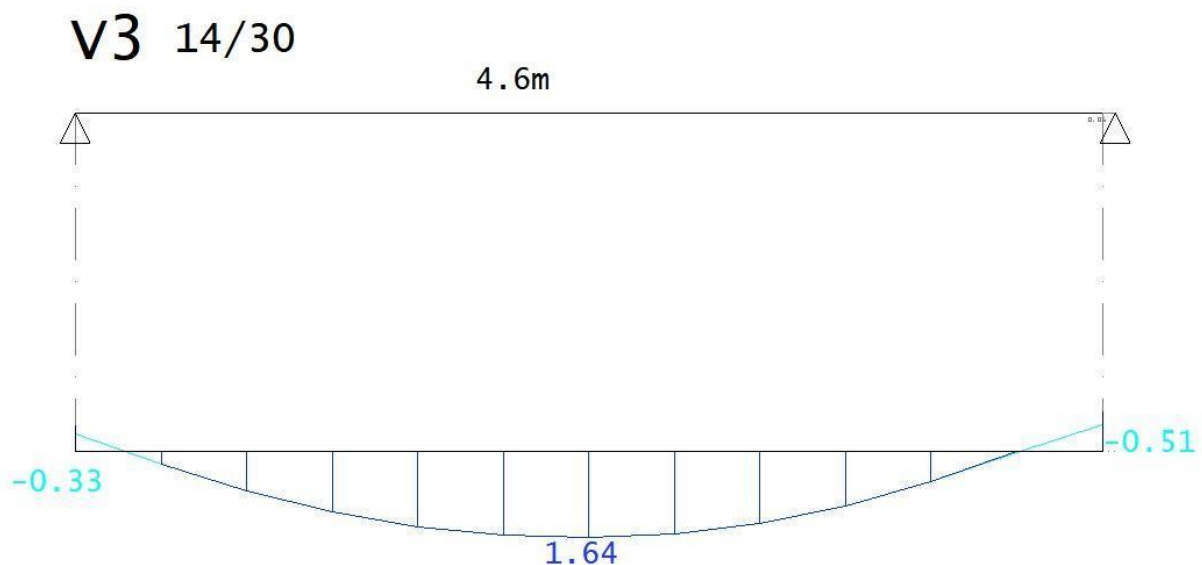
Os Diagramas 1 e 2 apresentados acima mostram os momentos fletores obtidos em *software* e de forma manual para a viga V1, e pode-se notar que os valores obtidos foram bastante próximos. Vale destacar que as unidades de medida se diferenciam, sendo em tf.m no TQS e kN.m no cálculo manual pois, especialmente nesta etapa de cálculo, foram utilizadas unidades diferentes, no entanto isto não prejudica a compreensão dos resultados.

Momentos na Viga V2



Fonte: os autores (2023)

Diagrama 3 – Diagrama de Momentos Viga V3 obtido via *Ftool* (kN.cm)



Fonte: os autores (2023)

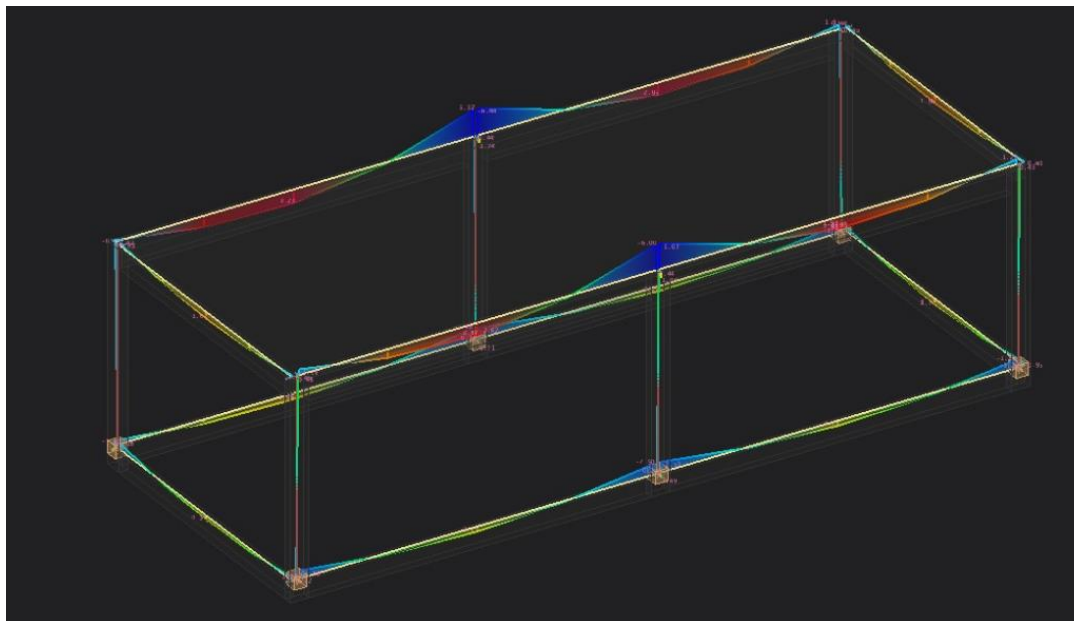
Diagrama 4 – Diagrama de Momentos Viga V3 obtido via *TQS* (tf.m)

Na viga V2, foi observado um resultado diferente em comparação à V1, já que os momentos fletores mostram-se bastante discrepantes. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que o *software* considera a estrutura como um todo, isto é, considera a interação entre todos os elementos simultaneamente, inclusive os pilares, que não foram contemplados neste estudo. No diagrama obtido no TQS pode-se observar até mesmo momentos negativos de -0.33 tf.m e -0.51 tf.m que resultam justamente da interação entre a viga e os pilares em suas extremidades.

O Método de Marcus, por sua vez, traz uma abordagem de estimativa, considerando cada peça, seja laje, viga ou pilar, de forma isolada, sem considerar a forma como se relacio-

nam para formar a estrutura, o que pode ocasionar diferenças significativas como ocorreu neste caso.

O Diagrama 5 apresentado a seguir traz uma representação gráfica obtida via *software* na qual vê-se o comportamento das vigas em sua totalidade, com relação aos momentos.



Fonte: os autores (2023)

Diagrama 5 – Diagrama de Momentos de todas as vigas da estrutura – TQS

Flecha Limite

VIGA	MANUAL		TQS	
	Flecha total	Flecha limite	Flecha total	Flecha limite
V1	Trecho 1: 23,2	Trecho 1: 23,6	Trecho 1: 6,48	Trecho 1: 23,6
	Trecho 2: 27,84	Trecho 24,0	Trecho 2: 7,18	Trecho 24,0
V3	17,12	18,4	6,8	18,4

Fonte: os autores (2023)

Tabela 5 - Verificação de flecha limite (mm) nas vigas V1 e V3 manualmente e em *software*

No cálculo de flecha em ambas as vigas, de acordo com a Tabela 5, observa-se que houve uma discrepância considerável entre os resultados apresentados no TQS e a partir do Método de Marcus, diferença a qual se dá também devido à discretização, visto que as vigas também são consideradas barras lineares, que se integram à laje durante a análise executada pelo *software*.

Observando as flechas total e limite no trecho 2 da viga 1, calculadas manualmente, pode-se notar que a flecha total ultrapassa a flecha limite. Na prática, é necessário reverter este problema antes executar o projeto, e isto pode ser feito aumentando-se a altura da viga.

Cálculo de Armaduras

VIGA	MANUAL		TQS	
	Armadura Positiva	Armadura Negativa	Armadura Positiva	Armadura Negativa
V1	5 barras de Ø12,5mm	4 barras de Ø16mm	4 barras Ø12.5mm	4 barras de Ø16mm
V3	4 barras de Ø12,5mm	Não há	3 barras Ø10mm	3 barras Ø8mm

Fonte: os autores (2023)

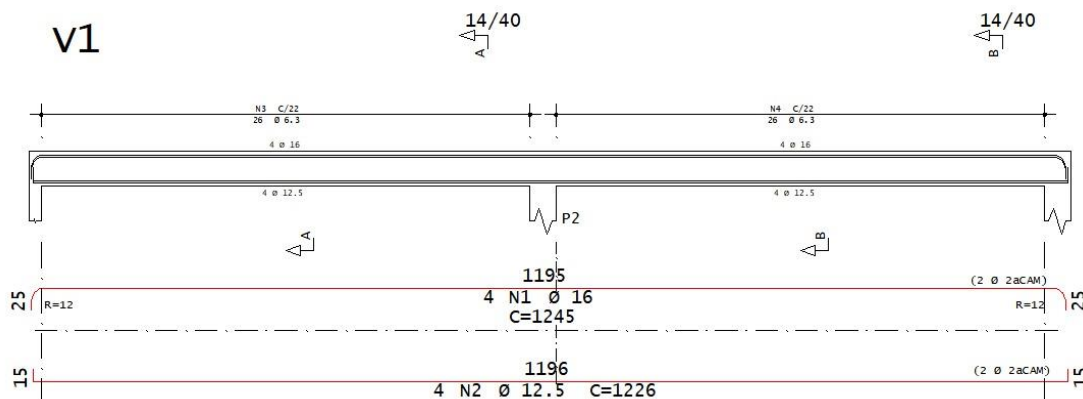
Tabela 6 - Resultados do cálculo de armadura à flexão em V1 e V3 manual e em *software*

VIGA	MANUAL	TQS
	V1	E Ø 6,3mm a cada 20cm
V3	E Ø 6,3mm a cada 20cm	E Ø 5mm a cada 15cm

Fonte: os autores (2023)

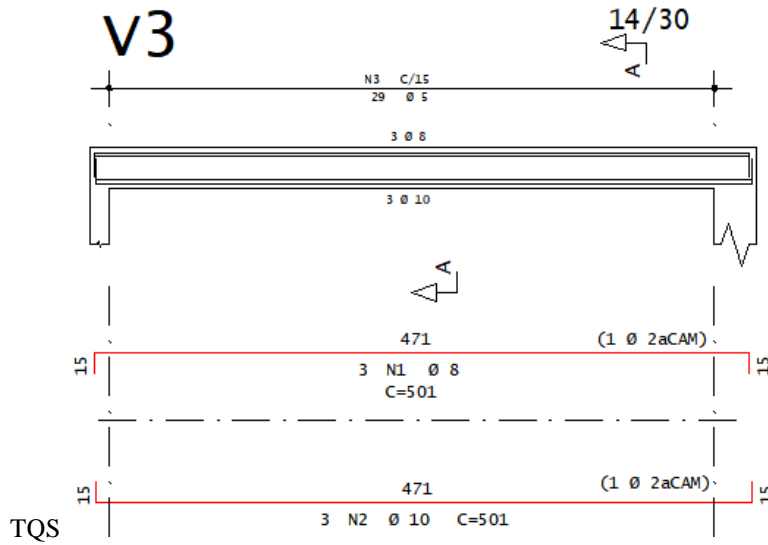
Tabela 7 - Resultados do cálculo de armadura ao cisalhamento em V1 e V3 manual e em *software*

Quanto à armadura, as Tabelas 6 e 7 demonstram que não houve grandes desigualdades nos resultados comparados, a não ser pela ausência de armadura negativa no cálculo e presença no cálculo computacional na viga V3, que ocorre pois o *software* considera a interação viga-pilar, gerando momentos negativos nas extremidades o que ocasiona a necessidade de uma armadura negativa, diferente do método manual.



Fonte: os autores (2023)

Figura 12 – Detalhamento da armadura da viga V1 – TQS

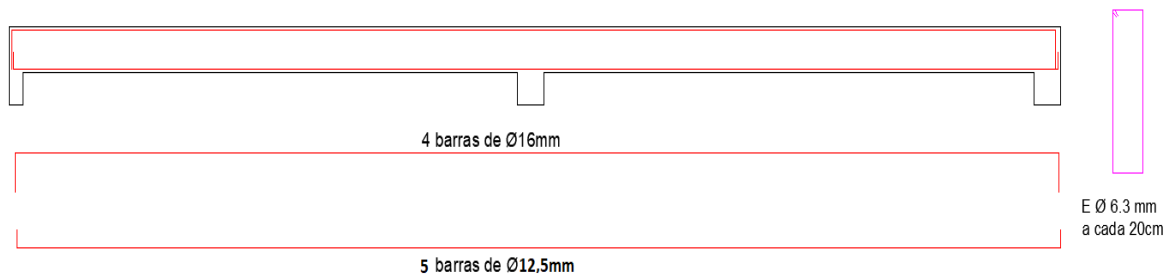


Fonte: os autores (2023)

Figura 13 – Detalhamento da armadura da viga V3

Nas Figuras 12 e 13, apresentadas acima, pode-se visualizar a representação do detalhamento das armaduras das vigas, que é fornecido pelo TQS.

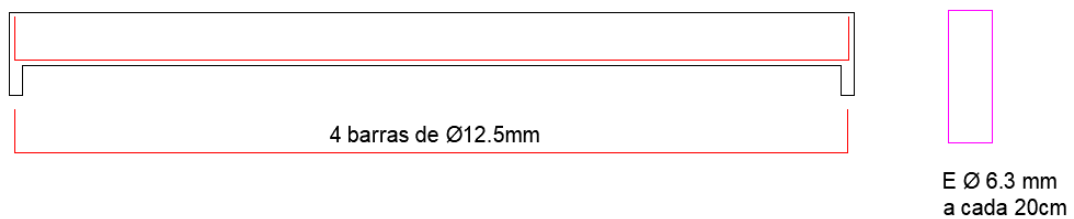
V1



Fonte: os autores (2023)

Figura 14 – Detalhamento da armadura da viga V1 – Manual

V3



Fonte: os autores (2023)

Figura 15 – Detalhamento da armadura da viga V3 – Manual

Nas Figuras 14 e 15, por sua vez, é demonstrado o detalhamento de vigas executado para representar os resultados do cálculo manual. O mesmo foi feito com auxílio do *software AutoCAD*.

A partir dos resultados obtidos, é possível constatar que a hipótese de que o cálculo manual iria superdimensionar a estrutura não está correta, tendo em vista que houve variações de resultados distintas durante cada uma das etapas de cálculo, que incluem determinação de momentos e flechas e cálculo de armadura. No caso do cálculo dos momentos e determinação das flechas foi possível notar uma maior discrepância de resultados – nem sempre tão significativa –, enquanto no cálculo de armadura não houve grandes diferenças, fatos que podem ser explicados pela forma como atua o *software*: mais assertiva que o cálculo pelo Método de Marcus.

Embora tenham ocorrido desigualdades de valores, é de grande relevância esclarecer que os métodos aplicados pelo *software* são baseados no conhecimento teórico proporcionado por Marcus, e por este motivo a maior parte dos resultados do cálculo manual se aproximam da realidade.

Referências Bibliográficas

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.

ARAÚJO, José Milton. Curso de concreto armado. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003. v. 1.

ARAÚJO, José Milton. Curso de concreto armado. Rio Grande: Dunas, 2003. v. 2.

AKIMURA, A. Informática aplicada a estruturas de concreto armado. 2ª edição. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=WGtuDwAAQBAJ&lpg=PT7&ots=e5aJjMEz&dq=utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20softwares%20para%20c%C3%A1lculo%20de%20estrutura&hl=pt-BR&pg=PT4#v=onepage&q&f=true> – Acesso em 3 de out de 2023.

FARIAS, Ytalo Thiago Santos. Análise comparativa de resultados obtidos manualmente e em software de concreto armado. / Ytalo Thiago Santos Farias. - Caruaru: O Autor, 2014. 98f.; il. ; 30 cm. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39450> - Acesso em 30 set de 2023.

MOTA, Larissa Fernandes. Análise comparativa entre o cálculo teórico e a utilização de método computacional para o dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado/ Larissa Fernandes Mota. – Niterói, RJ : [s.n.], 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/7048> - Acesso em 3 de set de 2023.

PINHEIRO, Libânio M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. 2007. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://d1wqtxs1xzle7.cloudfront.net/43906771/Apost_EESC_USP_Libanio-libre.pdf?1458443970=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE_DE_SAO_PAULO_FUNDAMENTOS_DO.pdf&Expires=1700342253&Signature=L6m-MfNSRMHorydRQvfzqJ6agnlb3XX-5J0zmuHZqEw5t8AWbiQqKyxm0cUY9XriGoP0KpJYrWPr6Ck2U4~87AGfM4V0PRRatCghVsl6G282B6vmyyTEglClotIA5g8GgueTFodT1847rtnUqIJovTnpJcHkgMLCX71ereLZDatQhZOaIQHcZyfNeuUuzgDyP-N-kyvZoxhQTysht7OlJrETJ-VVSQbw-1x4mZBvMb2gw5M6vyuhWJ3-TRBu~7vSXzldNAq666o1XYBG8N9ANHRbmjKrFNnbTszZNgJTXHOVhzoznSGLD2wEJBw4Mh4s0GK9DonhGJ1rEsvsZ1UZw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

SOUZA, Dênis José Rodrigues de; SILVA JUNIOR, Jânio. Estudo comparativo entre o uso do cálculo manual e de um software computacional no dimensionamento de lajes maciças. 2019, xvii, 46P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019). Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/9409/1/9_2020_1%20DENIS-JANIO.pdf - Acesso em 27 nov 2023



TQS INFORMÁTICA. Manual de início rápido TQS. 2019 Disponível em:
<https://www.tqs.com.br/QSG/#p=16>. Acesso em 02 nov. 2023.