



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO CAMPUS CARAÚBAS
CURSO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

KENNEDY DANTAS JALES

**O EFEITO DA SEÇÃO TRANSVERSAL NA DEFORMAÇÃO DE VIGAS DE
MADEIRA**

CARAÚBAS - RN
2014

KENNEDY DANTAS JALES

**O EFEITO DA SEÇÃO TRANSVERSAL NA DEFORMAÇÃO DE VIGAS DE
MADEIRA.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Wendell Rossine Medeiros de Souza
- Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

CARAÚBAS - RN
2014

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

J26o	Jales, Kennedy Dantas
	O efeito da seção transversal na deformação de vigas de madeira./ Ana Paula Pinheiro de Assis -- Mossoró, 2014. 63f.: il. Orientador: Prof. Ms. Wendell Rosine Medeiros de Souza Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação. 1. Madeira. 2. Deformação. 3. Maçaranduba. 4. Vigas. I. Título.
RN/UFERSA/BCOT /303-14	CDD: 674.12

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

KENNEDY DANTAS JALES

**O EFEITO DA SEÇÃO TRANSVERSAL NA DEFORMAÇÃO DE VIGAS DE
MADEIRA.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM 20/02/2014

BANCA EXAMENADORA


Prof. Ms. ~~Wendall Rossine Medeiros de Souza~~ - UFERSA
Orientador - Presidente


Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral - UFERSA
Primeiro Membro


Prof. Ms. Paulo Henrique Araújo Bezerra - UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois é ele quem sempre me dar forças para lutar e me guiar para o caminho certo. Sou inteiramente grato por tudo que o senhor faz na minha vida, não me deixando sozinho em nenhum momento.

À minha namorada, Tatiane Raires, pessoa que entrou em minha vida e, desde o começo desta batalha me acompanhou enchendo a minha cabeça de conselhos e mim fortalecendo ainda mais para eu poder continuar nessa árdua caminhada.

À minha irmã, Katiana Waleska, que tanto admiro e que sempre me ajuda nas horas mais difíceis na minha vida. Agradeço também por ela ter me concedido a alegria de ser tio, por ter vindo ao mundo um príncipe chamado Théo Levi, deixando meus dias ainda mais felizes.

À minha família, que sempre está presente em minha vida.

Ao meu orientador Wendell Rossine Medeiros de Souza, pelos dias dedicados a mim, sempre me ajudando e ensinando ainda mais. Por todo tempo disponível e por ser bastante atencioso ao longo do referido trabalho.

Aos professores da minha banca examinadora, por todo ensinamento e dedicação que puderam oferecer.

Aos meus amigos e irmãos que conheci através da faculdade, onde me ajudaram diretamente a seguir em busca dos meus sonhos. Sou muito grato a todos que passaram e ainda continuam do meu lado durante todo esse tempo.

Ao amigo Francisberg Rocha Pereira, por sempre está comigo nas horas boas e ruins me apoiando e aconselhando.

Aos meus pais Luzia Wilka Dantas e João Batista Jales, pelo grande amor, carinho e sabedoria que me dão todos os dias, me fortalecendo cada vez mais na minha caminhada. Por fazerem todos os esforços possíveis para a realização dos meus objetivos.

DEDICO

“As pessoas que vencem neste mundo são as que procuram as circunstâncias de que precisam e quando as não encontram, as criam”.

(George Bernard Shaw)

RESUMO

O presente trabalho foi realizado a fim de entender um pouco sobre os efeitos das seções na deformação de vigas de madeira. Foi realizado um estudo bibliográfico, de modo a conhecer algumas propriedades da madeira, já que a mesma apresenta altos índices de resistências e por ser bastante utilizada na construção civil. Também foi fundamentado no estudo de análise estrutural, abrangendo muito os conteúdos que foram vistos em sala de aula durante todo o processo acadêmico. Foi estudada neste trabalho a maçaranduba, por ser uma madeira bastante aplicada e de boa trabalhabilidade. Foi feito a análise de seis vigas com seções (retangulares) diferentes, a fim de escolher a viga mais ideal. Para o levantamento do trabalho, realizou-se uma pesquisa do tipo “in loco” para saber realmente quais as seções das vigas que são utilizadas hoje na construção civil. O trabalho contou com um software chamado FTOOL, onde o mesmo serviu para apresentar os cálculos necessários para cada uma das vigas, apresentando os diagramas do esforço cortante, momento fletor e deformação. Foram produzidos diversos gráficos para ajudar no entendimento e escolha na hora de determinar qual a viga utilizar. Trabalhou-se ainda com o método analítico, justamente para comprovar a veracidade do programa. A viga escolhida foi fundamentada através de três fatores importantes na oportunidade de avaliar a viga adequada, sendo eles: ruptura, deformação e economia.

Palavras-chave: Deformação. Madeira. Maçaranduba. Vigas.

ABSTRACT

This work was created to understand a little about the effects of sections in the deformation of wooden beams. It was made a bibliographical study to know some properties. Today the woods show high rates of resistances because is much used in the civil construction. Also this study was grounded on the study of structural Analysis including a lot of the contents which was seen in the classroom during the academic process. Was studied in this work macaranduba because it is a wood very applied and good workability. Analysis was done six beams with different sections to find the best one. For the foundation of this work, there was a research of the "in loco" to really know which sections of the beams that are used today in construction. The study had a software called FTOOL, that served enough to provide the necessary calculations for each of the beams the diagrams of the shear, bending moment and deformation. Many graphs were produced to help in understanding and choice to determine which use the beam. We worked with the analytical method, just to prove the veracity of the program. The beam was chosen founded by three important factors when evaluating the appropriate beam, namely: rupture, deformation and economy.

Keywords: Deformation. Wood. Maçaranduba. Beams.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Algumas propriedades da maçaranduba.....	23
Tabela 2 - Resultados da primeira viga	38
Tabela 3 - Resultados da segunda viga.....	40
Tabela 4 - Resultados da terceira viga.....	43
Tabela 5 - Resultados da quarta viga.....	46
Tabela 6 - Resultados da quinta viga.....	49
Tabela 7 - Resultados da sexta viga	52
Tabela 8 - Tensões de cada viga analisada	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Madeira bruta.....	17
Figura 2 - Casa feita de madeira.....	21
Figura 3 - Escada feita de madeira	21
Figura 4 – Telhado de madeira	22
Figura 5 - Madeira maçaranduba.....	23
Figura 6 - Cargas que estão atuando na viga	24
Figura 7 - Representação de uma situação comum de aplicação de momento.....	25
Figura 8 - Estrutura isostática.....	27
Figura 9 - Uso de vigas para a construção civil.....	27
Figura 10 - Apoio articulado móvel	28
Figura 11 - Apoio articulado fixo	29
Figura 12 - Apoio engastado	29
Figura 13 - Demonstração da viga estudada da garagem	32
Figura 14 - Visita à Madeireira Brasil na cidade de Mossoró-RN	33
Figura 15 - Interface do programa FTOOL	34
Figura 16 - Primeira viga analisada.....	35
Figura 17 - Diagrama do esforço cortante máximo.....	36
Figura 18 - Diagrama do momento fletor máximo.....	37
Figura 19 - Deformação máxima da viga	37
Figura 20 - Segunda viga analisada.....	38
Figura 21 - Diagrama do esforço cortante máximo.....	39
Figura 22 - Diagrama do momento fletor máximo.....	39
Figura 23 - Deformação máxima da viga	40
Figura 24 - Terceira viga analisada	41
Figura 25 - Diagrama do esforço cortante máximo.....	42
Figura 26 - Diagrama do momento fletor máximo.....	42
Figura 27 - Deformação máxima da viga	43
Figura 28 - Quarta viga analisada.....	44
Figura 29 - Diagrama do esforço cortante máximo.....	44
Figura 30 - Diagrama do momento fletor máximo.....	45
Figura 31 - Deformação máxima da viga	46
Figura 32 - Quinta viga analisada.....	47

Figura 33 - Diagrama do esforço cortante máximo.....	47
Figura 34 - Diagrama do momento fletor máximo.....	48
Figura 35 - Deformação máxima da viga	49
Figura 36 - Sexta viga analisada.....	50
Figura 37 - Diagrama do esforço cortante máximo.....	50
Figura 38 - Diagrama do momento fletor máximo.....	51
Figura 39 - Deformação máxima da viga	52
Figura 40 - Seções (bitolas) encontradas na madeiraira	53
Figura 41 - Seções (bitolas) encontradas na madeiraira	53
Figura 42 - Gráfico da evolução do esforço cortante com a seção.....	54
Figura 43 - Gráfico da evolução do momento fletor com a seção.....	55
Figura 44 - Gráfico da evolução da deformação com a seção	56
Figura 45 - Gráfico da evolução da tensão com a seção	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS	16
1.1.1. GERAL	16
1.1.2. ESPECÍFICOS	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1. MADEIRA	17
2.1.1. HISTÓRIA DA MADEIRA	17
2.1.2. TIPOS DE MADEIRAS NA CONSTRUÇÃO	18
2.1.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	19
2.1.4. VANTAGENS DA MADEIRA.....	20
2.1.5. PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
2.1.6. MADEIRA MAÇARANDUBA	22
2.2. CONCEITOS IMPORTANTES	23
2.2.1. FORÇA	23
2.2.2. CARGAS QUE ATUAM NAS VIGAS	24
2.2.3. CONCEITO DE MOMENTO	24
2.2.4. DEFORMAÇÃO	25
2.2.5. TENSÃO NOS ELEMENTOS DE UMA ESTRUTURA.....	26
2.2.6. ESTRUTURA ISOSTÁTICA.....	26
2.2.7. VIGAS	27
2.2.8. ESFORÇOS NAS VIGAS ISOSTÁTICAS	28
2.2.9. EQUILÍBRIO EXTERNO DAS VIGAS – CÁLCULO DAS REAÇÕES DE APOIO	28
2.2.10. EXISTEM DIVERSOS TIPOS DE VIGAS, ONDE PODE-SE CITAR ALGUMAS:	30
2.2.10.1. VIGA BI APOIADA	30
2.2.10.2. VIGAS COM BALANÇO	30

2.2.10.3. VIGA CONTÍNUA	30
3. MÉTODOS DE ANÁLISES	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1. ANÁLISES DAS VIGAS.....	32
4.1.1. INTERFACE DO PROGRAMA:	34
4.2. CÁLCULOS DAS TENSÕES PARA CADA SEÇÃO:	53
4.3. GRÁFICO DO ESFORÇO CORTANTE EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS	54
4.4. GRÁFICO DO MOMENTO FLETOR EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS ..	55
4.5. GRÁFICO DA DEFORMAÇÃO EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS.....	55
4.6. GRÁFICO DA TENSÃO EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS	56
4.7. ESCOLHA DA SEÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DA COBERTURA DA GARAGEM.....	57
4.7.1. RUPTURA.....	57
4.7.2. DEFORMAÇÃO	57
4.7.3. ECONOMIA	58
5. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A análise estrutural é de fundamental importância para a construção civil, tendo em vista que é a parte onde se estuda o comportamento das estruturas que são sujeitas a diversos tipos de agentes externos.

Diante da importância da análise estrutural para a engenharia e principalmente para construção civil, realizar um trabalho voltado para os efeitos de uma seção transversal na deformação de vigas, sobretudo de madeira, é de grande relevância para a sociedade de modo geral.

A madeira é um dos materiais mais utilizados na construção civil, onde desde os tempos dos primórdios já utilizava a mesma para diversas obras. Isso deve-se pela madeira ser um material renovável de grande abrangência em todo território. Além da madeira servir para a construção civil, tem também sua aplicação no artesanato, decoração, entre outras utilidades.

A maçaranduba é muito frequente nas matas litorâneas do sul do estado da Bahia, norte do estado do Espírito Santo. Apresenta uma demanda muito ampla na construção civil, pois a mesma tem uma alta resistência mecânica tanto à tração como também à compressão, além de ser uma madeira muito pesada, garantindo uma aplicação ainda maior na construção civil.

Desenvolver uma pesquisa com o intuito de analisar a madeira maçaranduba para se construir uma cobertura de uma garagem é de certa forma um trabalho que requer toda atenção. Optou-se por trabalhar com seções retangulares de vigas a fim de determinar qual a viga dentre as seis estudadas é a mais correta para fazer a construção da cobertura.

Para a confirmação dos resultados das análises, será feito um comparativo por dois métodos, o analítico e o computacional, onde o programa a ser utilizado chama-se FTOOL, proporcionando um enriquecimento ao trabalho e o mesmo servirá para apresentar todos os diagramas do esforço cortante, momento fletor e deformação para cada viga analisada.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. GERAL

Buscar no mercado atual, as diferentes dimensões de vigas de madeira que hoje é comercializada para obter suas deformações e, a partir desse estudo, fazer um esboço através de um gráfico, indicando qual a relação entre a seção transversal e a deformação da viga.

Analisar os efeitos em diversas seções transversais de uma viga de madeira do tipo maçaranduba aplicando-se uma carga conhecida, a fim de estabelecer qual será a seção que mais resistirá e sua respectiva deformação.

1.1.2. ESPECÍFICOS

a) Pesquisar várias dimensões de maçaranduba que hoje é comercializada para a construção de casas, prédios, estradas, etc. Para analisar a mais adequada.

b) Realizar um estudo sobre as propriedades da maçaranduba e assim poder analisar suas deformações e sua aplicação na engenharia em diferentes seções.

c) Trabalhar com o processo analítico e com o programa FTOOL.

d) Acompanhar graficamente a deformação das vigas analisadas e apontar qual a mais segura para se construir uma garagem.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. MADEIRA

É um material orgânico, anisotrópico, extraído a partir de troncos de árvores e excelente para a utilização na construção civil (figura 1).



Figura 1 - Madeira bruta

Fonte: Madeira (Vantagens da madeira) (2014)

2.1.1. HISTÓRIA DA MADEIRA

O emprego da madeira na construção civil remonta desde os primórdios da civilização. Esta se apresenta como material excepcional e como matéria-prima industrial de múltiplo aproveitamento que acompanha e sustenta o desenvolvimento da qualidade de vida do homem. Depois do aço é o material mais consumido na construção civil (MASCARENHAS, 2008).

De acordo com Gesualdo (2003), a madeira é um material não homogêneo com muitas variações. Além disto, existem diversas espécies com diferentes propriedades. Sendo assim, é necessário o conhecimento de todas estas características para um melhor aproveitamento do material.

Em geral, a madeira hoje é um material bastante utilizado na construção, pois apresenta uma boa resistência tanto à tração como também à compressão.

Segundo Silva (2010), a madeira é um material onde sua estrutura interna é fibrosa e quimicamente seus componentes internos tem um baixo peso atômico. Isso é uma grande vantagem da madeira sobre outros materiais estruturais, pois faz dela um material estrutural leve, o que resulta em um material de relação resistência-peso de valor elevado. A durabilidade é outra boa propriedade da madeira assim como um bom desempenho ao fogo, apesar de ser um material combustível.

Conforme Zenid (2010), a madeira possui diversas propriedades que a tornam muito atraente frente a outros materiais. Dentre essas, são comumente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas.

O Brasil é um dos países com maior diversidade de espécies produtoras de madeira. As regiões norte e centro-oeste são os grandes centros fornecedores de madeira para as regiões sul e sudeste, grandes pólos consumidores. O País também dispõe de outras áreas onde a disponibilidade de matas nativas ainda não despertou o interesse de grupos econômicos para uma exploração racional e sustentada (NASCIMENTO, 2003).

2.1.2. TIPOS DE MADEIRAS NA CONSTRUÇÃO

De acordo com Pfeil (1997), as madeiras utilizadas em construção são obtidas de troncos de árvores. Distinguem-se duas categorias principais de madeiras:

- a) *Madeiras duras* – provenientes de árvores frondosas (com folhas achatadas e largas), de crescimento lento, como peroba, ipê, aroeira, carvalho etc.; as madeiras duras de melhor qualidade são também chamadas de madeiras de lei;
- b) *Madeiras macias* – provenientes em geral de árvores coníferas (com folhas em forma de agulhas ou escamas, e sementes agrupadas em forma de cones), de crescimento rápido, como pinheiro-do-paraná e pinheiro-bravo ou pinheirinho, pinheiros europeus, norte-americanos etc.

2.1.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Conforme Szücs et al (2008), conhecer as propriedades físicas da madeira é de grande importância por que estas propriedades podem influenciar significativamente no desempenho e resistência da madeira utilizada estruturalmente.

Entre as características físicas da madeira, cujo conhecimento é importante para sua utilização como material de construção, destacam-se:

Umidade: Para fins de aplicação estrutural da madeira e para classificação de espécies, a norma brasileira especifica a umidade de 12% como de referência para a realização de ensaios e valores de resistência nos cálculos.

É importante destacar ainda que a umidade apresenta grande influência na densidade da madeira.

Retração: Redução das dimensões em uma peça da madeira pela saída de água de impregnação.

Resistência ao fogo: A madeira tem um aspecto interessante em relação ao comportamento diante do fogo. Seu problema é a inflamabilidade. No entanto, diante de altas temperaturas provavelmente terá maior resistência que o aço, pois sua resistência não se altera sob altas temperaturas. Assim, em um incêndio ela pode ser responsável pela propagação do fogo, mas em contrapartida suportará a ação do fogo em alta temperatura durante um período de tempo maior (GESUALDO, 2003).

Uma peça de madeira exposta ao fogo torna-se um combustível para a propagação das chamas, porém, após alguns minutos, uma camada mais externa da madeira se carboniza tornando-se um isolante térmico, que retém o calor, auxiliando, assim, na contenção do incêndio, evitando que toda a peça seja destruída (SZÜCS ET AL, 2008).

Resistência química: A madeira, em linhas gerais, apresenta boa resistência a ataques químicos. Em muitas indústrias, ela é preferida em lugar de outros materiais que sofrem mais facilmente o ataque de agentes químicos. Em alguns casos, a madeira pode sofrer danos devidos ao ataque de ácidos ou bases fortes. O ataque das bases provoca aparecimento de manchas esbranquiçadas decorrentes da ação sobre a lignina e a hemicelulose da madeira. Os ácidos também atacam a madeira causando uma redução no seu peso e na sua resistência.

Durabilidade natural: A durabilidade da madeira, com relação à biodeterioração, depende da espécie e das características anatômicas. Outro ponto importante que deve ser destacado é a diferença na durabilidade da madeira de acordo com a região da tora da qual a peça de madeira foi extraída.

Densidade: A norma brasileira apresenta duas definições de densidade a serem utilizadas em estruturas de madeira: a densidade básica e a densidade aparente.

A densidade básica da madeira é definida como a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado e pode ser utilizada para fins de comparação com valores apresentados na literatura internacional.

A densidade aparente é determinada para uma umidade padrão de referência de 12%, pode ser utilizada para classificação da madeira e nos cálculos de estruturas (SZÜCS ET AL, 2008).

2.1.4. VANTAGENS DA MADEIRA

Segundo Silva (2010), a madeira apresenta diversas vantagens, como por exemplo:

Boa resistência: a madeira é um material com boa resistência à tração, à compressão e à flexão e, portanto, pode ser usada em todos os tipos de elementos estruturais. Entretanto, ela tem resistência inferior ao aço e ao concreto armado, e isto reduz os vãos que as estruturas de madeira podem ser construídas;

Durabilidade: os constituintes da madeira são relativamente estáveis quimicamente e o material não sofre degradações químicas em certos ambientes, tais como: alta umidade.

Baixo peso: a madeira é um material de baixo peso com uma alta relação resistência/peso. Portanto, produzindo estruturas de baixo peso com elementos que podem ser facilmente transportados e movimentados para o canteiro de obras;

Maleabilidade: a madeira pode ser facilmente cortada e moldada utilizando ferramentas simples. E também outros elementos podem ser ligados a ela utilizando conectores simples, tais como: pregos e parafusos, fazendo assim com que os detalhes nas estruturas de madeira sejam muito simples;

Aparência: a madeira é um material que tem uma aparência agradável a qual normalmente não deteriora com o passar do tempo. Ela então pode ser usada na combinação de material estrutural e de acabamento.

2.1.5. PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Desde o surgimento do homem até os dias atuais, a madeira é utilizada para o uso em geral, onde se trabalha tanto com o processo manual como com o industrializado. A madeira tem sido empregada para diversos fins, bem como objetos de casas (figura 2), pontes, escadas (figura 3) e peças artesanais.



Figura 2 - Casa feita de madeira

Fonte: Interiores, Design de casas (2013)



Figura 3 - Escada feita de madeira

Fonte: Casas, Projetos de casas (2013)

Além dessas possibilidades, a madeira é empregada na construção civil, de forma temporária, na instalação do canteiro de obras, nos andaimes, nos escoramentos e nas fôrmas. De forma definitiva, é utilizada nas esquadrias, nas estruturas de cobertura, nos forros e nos pisos (ZENID, 2010).

Um exemplo de estrutura de cobertura é o telhado (figura 4). Isso se deve por ser um material renovável, deixando o seu preço mais baixo se comparado por exemplo com o aço.



Figura 4 – Telhado de madeira

Fonte: Estrutural, Estruturas de madeiras (2013)

2.1.6.MADEIRA MAÇARANDUBA

Segundo Madeira (2014), a madeira maçaranduba, como mostra a figura 5, é bastante resistente ao ataque de fungos, cupins subterrâneos e à presença de umidade. Tem como característica cerne e alburno distinto pela cor, sem brilho, cheiro e gosto imperceptíveis. Ela é conhecida por ser muito pesada, com alta retratilidade volumétrica e tem sua resistência mecânica de média a alta.



Figura 5 - Madeira maçaranduba

Fonte: Madeira (2014)

A maçaranduba além de ter uma alta demanda para a construção civil, pode ser usada em diversos fins, como por exemplo, para decoração, trabalhos hidráulicos, móveis, esquadrias, construção de telhados para garagem, entre outros. Na tabela 1 são mostradas algumas propriedades da maçaranduba que servirá para a elaboração de todas as análises necessárias do trabalho.

Tabela 1 - Algumas propriedades da maçaranduba

Propriedades da maçaranduba	Valores
Módulo de elasticidade	$E = 16.910 \text{ MPa}$
Peso próprio	$\gamma = 1.300 \text{ kg/m}^3$
Tensão admissível	$\sigma = 22 \text{ MPa}$

2.2. CONCEITOS IMPORTANTES

2.2.1. FORÇA

Força é quando uma determinada massa sofre um efeito da aceleração, definimos força como sendo:

$$F = m \times a$$

Onde:

F = força

m = massa

a = aceleração

Porém, para se caracterizar uma força, é preciso determinar sua intensidade, direção e sentido, sendo que o sentido é diferente de sua direção, pois informada uma direção no eixo horizontal, por exemplo, a mesma terá dois sentidos, um para a esquerda e o outro para a direita.

2.2.2. CARGAS QUE ATUAM NAS VIGAS

De acordo com Rebello (2005), as vigas são consideradas elementos estruturais lineares, logo as cargas que atuam sobre elas são, também, cargas distribuídas linearmente.

As cargas lineares podem atuar em uma viga são seu peso próprio, as cargas das lajes e as cargas de alvenaria. A figura 6 demonstra melhor essa situação.

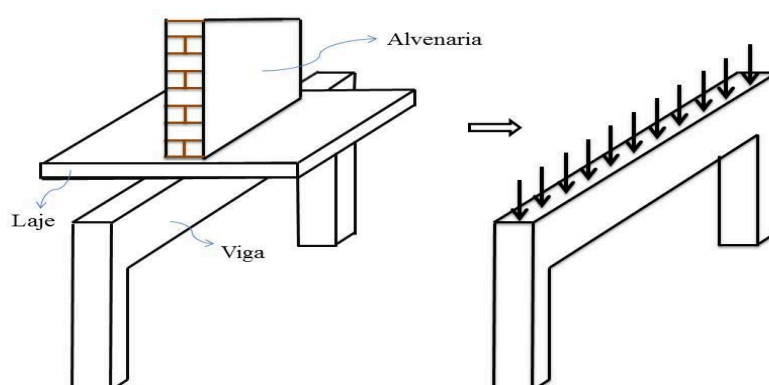


Figura 6 - Cargas que estão atuando na viga

Fonte: Rebello (2005)

2.2.3. CONCEITO DE MOMENTO

É importante lembrar que momento é um esforço que provoca giro.

Segundo Rebello (2005), à primeira vista a palavra momento não apresenta qualquer relação com a palavra giro. No entanto, elas estão ligadas por um fato histórico: na antiguidade, o tempo (momento) era medido com relógios de sol, instrumento constituído por

uma haste vertical que, projetando sua sombra num plano, indica a altura do Sol e as horas do dia. Assim o tempo (momento) era medido pelo giro aparente do Sol em torno da Terra.

Para ocorrer um giro ou momento físico é necessário que existam duas forças iguais, da mesma direção, de sentidos contrários e não colineares, o que se denomina binário.

Quanto mais afastadas estiverem às forças maior será a intensidade de giro, como mostra a figura 7.

Portanto, define-se momento como sendo:

$$M = F \times d$$

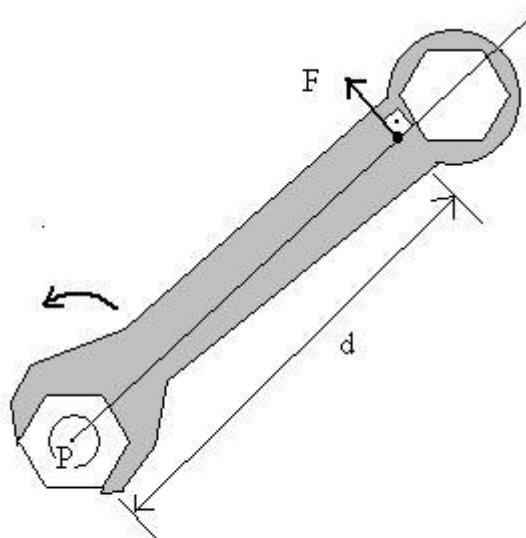


Figura 7 - Representação de uma situação comum de aplicação de momento

Fonte: Escola, momento de uma força (2013)

Onde:

M = Momento

F = Força

d = deslocamento

2.2.4.DEFORMAÇÃO

De acordo com Hibbeler (2010), sempre que uma força é aplicada a um corpo, esta tende a mudar a forma e o tamanho dele. Essas mudanças são denominadas **deformações** e

podem ser altamente visíveis ou praticamente imperceptíveis se não forem utilizados equipamentos que façam medições precisas. Por exemplo, uma tira de borracha sofrerá uma grande deformação quando esticada. Por outro lado, os elementos estruturais de um edifício sofrem leves deformações quando há muitas pessoas andando dentro dele. Também pode ocorrer deformação em um corpo quando há mudança de temperatura. Um exemplo típico é a expansão ou contração térmica de um telhado causada pelas condições atmosféricas.

2.2.5. TENSÃO NOS ELEMENTOS DE UMA ESTRUTURA

Conforme Beer (2010), se a barra vai ou não se quebrar sob efeito dessa carga, depende da capacidade do material em resistir ao valor correspondente F/A da intensidade das forças internas distribuídas. Tudo depende então da força F , da área A da seção transversal e do material da barra.

A força por unidade de área, ou intensidade das forças distribuídas sobre uma dada seção, é chamada de tensão naquela e é representada pela letra grega σ (sigma). A tensão em um componente de área de seção transversal A submetida a uma carga axial P é obtida dividindo-se o valor da carga P pela área A :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Onde:

σ = Tensão

P = Força

A = Área

2.2.6. ESTRUTURA ISOSTÁTICA

De acordo com Botelho (2008), uma estrutura isostática (figura 8), é uma estrutura que tem um número de vínculos tal que torna possível conhecer suas reações utilizando somente as equações de equilíbrio estático.



Figura 8 - Estrutura isostática

Fonte: Inteligente, Estudo de estruturas (2011)

2.2.7. VIGAS

Conforme Hibbeler (2010), vigas são elementos estruturais projetados para suportar cargas aplicadas perpendicularmente a seus eixos longitudinais, por causas dessas cargas, elas desenvolvem uma força de cisalhamento interna e um momento fletor que, em geral variam de ponto a ponto ao longo do eixo da viga. A figura 9 mostra o uso de várias vigas na construção.



Figura 9 - Uso de vigas para a construção civil.

Fonte: Madeira, Vigas de Madeira (2014)

2.2.8. ESFORÇOS NAS VIGAS ISOSTÁTICAS

Quando carregadas por uma ou mais forças, as vigas isostáticas deformam-se de maneira que suas seções, antes paralelas, giram umas em relação às outras, de forma que se afastam em uma das faces e se aproximam em outra, (REBELLO, 2005).

2.2.9. EQUILÍBRIO EXTERNO DAS VIGAS – CÁLCULO DAS REAÇÕES DE APOIO

Segundo Rebello (2005), o equilíbrio externo das vigas depende das cargas que atuam sobre as vigas e das reações a essas cargas provocadas pelos vínculos, denominadas reações de apoio. As primeiras cargas são denominadas cargas externas ativas e as segundas, reativas.

Em uma viga, as cargas externas ativas são: cargas distribuídas decorrentes do peso próprio da viga; as cargas aplicadas pelas lajes e alvenarias; e as cargas concentradas devidas a outras vigas que nela se apoiam.

Para determinação das cargas externas reativas, é necessário conhecer-se as forças de reação que cada vínculo é capaz de admitir.

Assim, um apoio articulado móvel (figura 10), que permite giro e deslocamento horizontal, só reage a forças verticais. Portanto, esse vínculo só admite reação vertical. O vínculo articulado fixo (figura 11), por impedir deslocamento vertical e horizontal, admite reações vertical e horizontal. O vínculo engastado (figura 12), que impede rotação e deslocamentos, admite reação vertical, horizontal e momento.

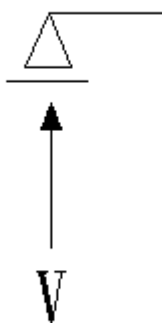


Figura 10 - Apoio articulado móvel

Fonte: Reativos, Esforços externos reativos (2014)

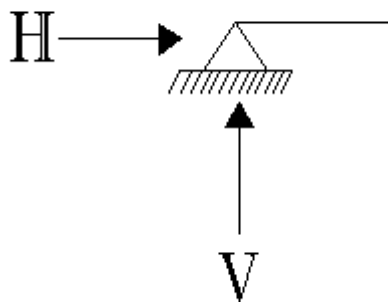


Figura 11 - Apoio articulado fixo

Fonte: Reativos, Esforços externos reativos (2014)

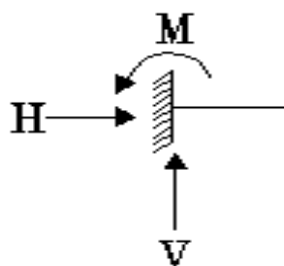


Figura 12 - Apoio engastado

Fonte: Reativos, Esforços externos reativos (2014)

Se, sob a ação das cargas externas ativas e reativas, a viga estiver em equilíbrio estático valem as condições de estabilidade já enunciadas, ou seja, não anda na horizontal, não anda na vertical e não gira. Essas condições podem ser traduzidas matematicamente pelas chamadas equações da estática, ou seja:

$\sum F_x = 0$ Somatório de todas as forças horizontais devem resultar nula;

$\sum F_y = 0$ Somatório de todas as forças verticais devem resultar nula;

$\sum M_a = 0$ Somatório de todos os momentos devem resultar nulo.

2.2.10. EXISTEM DIVERSOS TIPOS DE VIGAS, ONDE PODE-SE CITAR ALGUMAS:

Dentre os diversos tipos de vigas utilizadas na construção civil, abaixo será apresentado algumas para se conhecer o comportamento de cada uma.

2.2.10.1. VIGA BI APOIADA

Consiste de uma viga apoiada em dois apoios articulados, sendo que um será fixo e o outro móvel.

2.2.10.2. VIGAS COM BALANÇO

Consiste de uma viga que possui um apoio engastado, não permitindo rotacionar e transladar.

2.2.10.3. VIGA CONTÍNUA

São vigas com vários apoios.

3. MÉTODOS DE ANÁLISES

Neste trabalho é apresentada uma pesquisa feita com revisão bibliográfica sobre o que é a madeira, focando sua importância para a construção civil e suas aplicações, além de ter levado em conta suas propriedades físicas e mecânicas. Trabalhou-se com a maçaranduba, madeira de grande uso na construção civil. Realizou-se um estudo também sobre alguns conceitos, fundamentados nos conceitos clássicos da resistência dos materiais e mecânica das estruturas, onde com elas foram desenvolvidos todos os cálculos possíveis para a elaboração do trabalho.

Realizou-se uma pesquisa do tipo “in loco” na cidade de Mossoró-RN, com a finalidade de encontrar diversas madeiras localizadas na cidade para descobrir quais as seções das vigas que hoje é comercializada para a construção civil, foi exatamente através dessa pesquisa que obteve-se os dados necessários para a realização do estudo.

A partir daí, foi possível calcular todas as equações para o desenvolvimento do trabalho, porém, foi utilizado um software gratuito chamado FTOOL (Martha, 2012), que com esse programa é possível calcular todas as equações possíveis, ou seja, o mesmo fornece os resultados das reações de apoio, esforço cortante, momento fletor e deformação de cada viga analisada. Dessa forma, pode-se fazer uma comparação do processo analítico (manual) com o do programa que está sendo utilizado.

As vigas estudadas têm suas seções retangulares e todas que se decidiu analisar são vigas que se encontram no mercado para a comercialização.

Através da pesquisa bibliográfica foi possível conhecer as cargas que atuam em cada viga, como as cargas permanentes (peso próprio e as cargas devido às ripas e telhas cerâmicas) e as cargas acidentais (sobrecarga). O peso específico da maçaranduba também foi encontrado na literatura ($\gamma = 1.300 \text{ kg/m}^3$). Com isso, foi possível a realização dos cálculos para a análise das vigas.

Outras propriedades da maçaranduba que foram encontradas foi o módulo de elasticidade ($E = 16.910 \text{ MPa}$) e a tensão admissível ($\sigma = 22 \text{ MPa}$). O módulo de elasticidade serviu para atribuir ao programa para que os valores fossem coerentes dos valores calculados analiticamente, já a tensão admissível da maçaranduba serviu para fazer a análise se poderia ou não ser usada a viga depois das análises.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante das informações fornecidas, será feito todas as análises das vigas que foram encontradas e após a realização dessas análises será discutido os resultados.

4.1. ANÁLISES DAS VIGAS

Para enriquecer o projeto e dar uma maior demonstração do mesmo, será feito as análises das vigas de madeira do tipo maçaranduba de modo a determinar qual seção entre as seis estudadas é a melhor para a construção de uma garagem, onde sua cobertura será exatamente estruturada com a madeira maçaranduba e, na parte de vedação será usado telha cerâmica. Sendo essa garagem o projeto base, por isso estudar a viga mais adequada para a execução da mesma, com o intuito de analisar corretamente a mais adequada antes de construí-la. A figura 13 mostra a viga que será analisada.

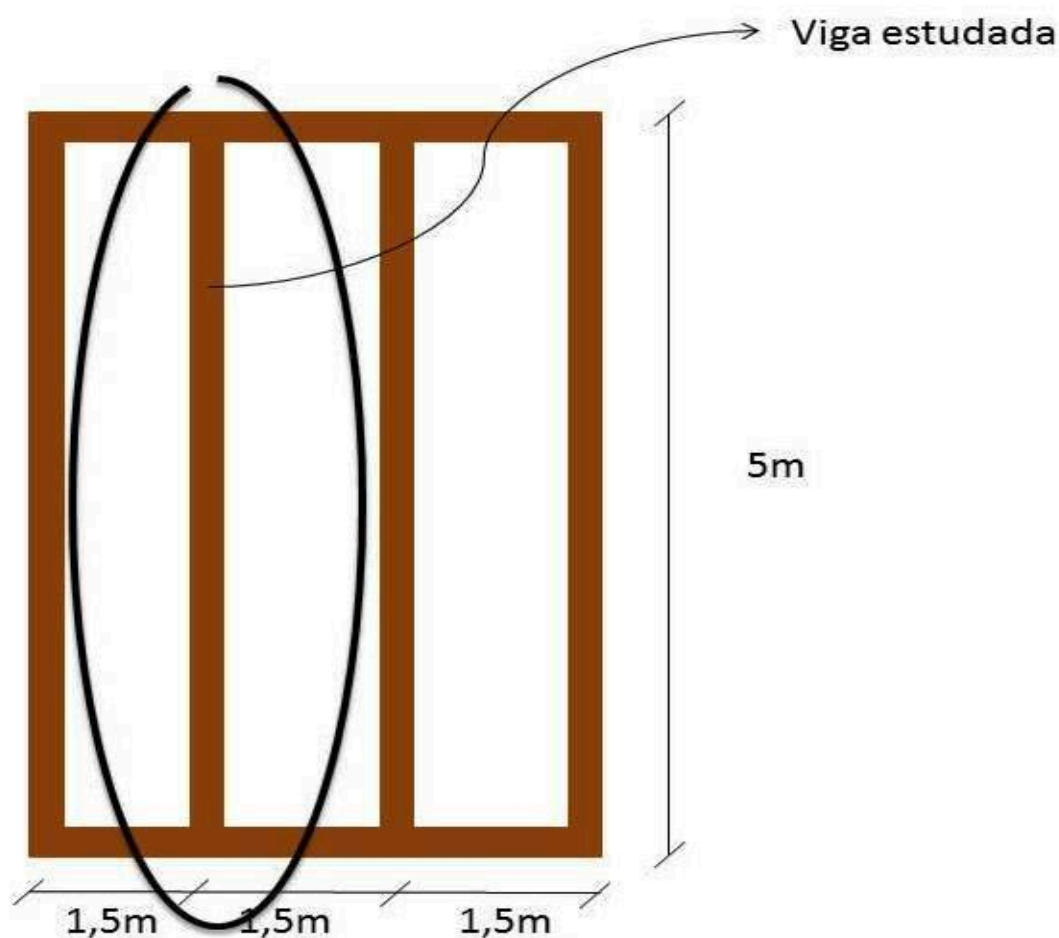


Figura 13 - Demonstração da viga estudada da garagem

Fonte: Autoria própria

Para começo de estudo, as seções serão variadas de acordo com o que foi encontrado e pesquisado nas madeireiras, sempre lembrando que essas seções são realmente as que hoje se encontram para a comercialização, embora algumas tenham mais utilidades do que outras, devido uma série de fatores. A figura 14 mostra uma das madeireiras que foram pesquisadas as seções (bitolas) das vigas.



Figura 14 - Visita à Madeireira Brasil na cidade de Mossoró-RN

Vale salientar que a carga exercida na viga mudará apenas em relação à área da seção estudada, sendo o peso específico e as outras cargas constantes, ou seja, o valor da carga total mudará apenas em relação à área da seção analisada. O tamanho das vigas será padrão para todas (cinco metros). Um exemplo de como é a viga estudada está na figura 13.

Para a confirmação do resultado, serão verificados os cálculos tanto pelo processo analítico (manual) como pelo software gratuito chamado FTOOL, onde o mesmo será a base para a realização do trabalho.

Através do programa, serão mostrados todos os resultados obtidos, sendo eles: reações de apoio, diagramas de esforço cortante, de momento fletor e deformação (situação deformada), bem como valores máximos do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

As seções das vigas a serem estudadas são as seguintes: (5x10), (5x12), (5x14), (5x20), (5x25) e (5x30), com suas respectivas unidades em centímetros.

4.1.1. INTERFACE DO PROGRAMA:

Através do FTOOL, ficou possível extrair todos os diagramas para um melhor entendimento do que pretende-se mostrar, a figura 15 mostra a interface do programa, onde através dos ícones disponíveis do programa é possível montar toda a viga.

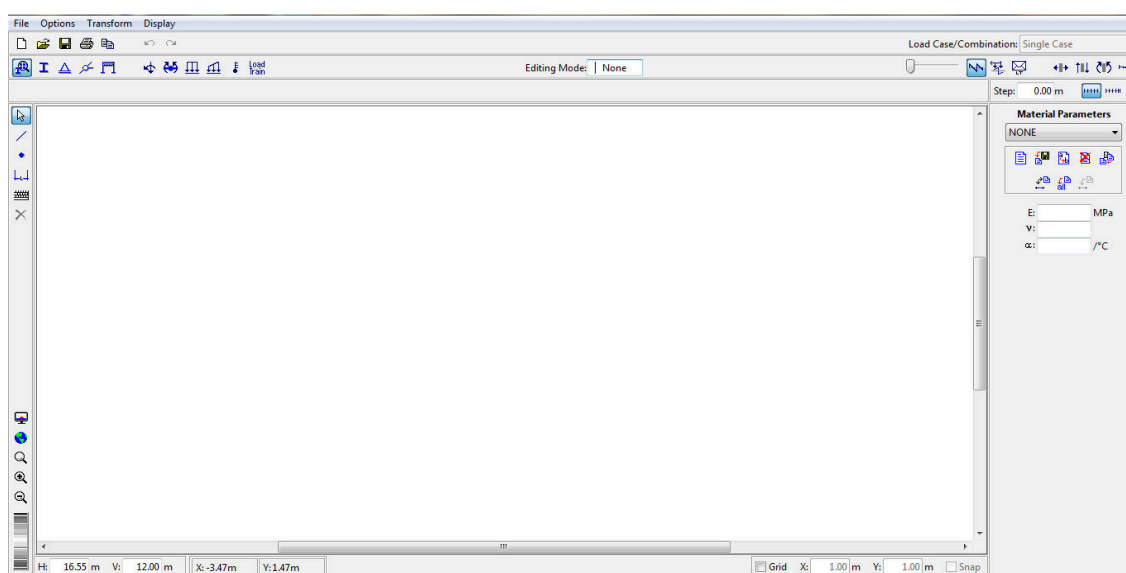


Figura 15 - Interface do programa FTOOL

Para a realização das análises, é necessário atribuir junto ao programa o módulo de elasticidade longitudinal do material que se deseja trabalhar. O programa só traz o valor do módulo de elasticidade do concreto e do aço, portanto, é necessário fazer uma pesquisa para saber o valor desse módulo de elasticidade longitudinal para a madeira do tipo maçaranduba.

4.1.2. PRIMEIRA VIGA ANALISADA: SEÇÃO (5x10)

A primeira viga, assim como as demais, será analisada seus valores dos esforços cortantes, do momento fletor e da deformação. A figura 16 mostra a viga no programa.

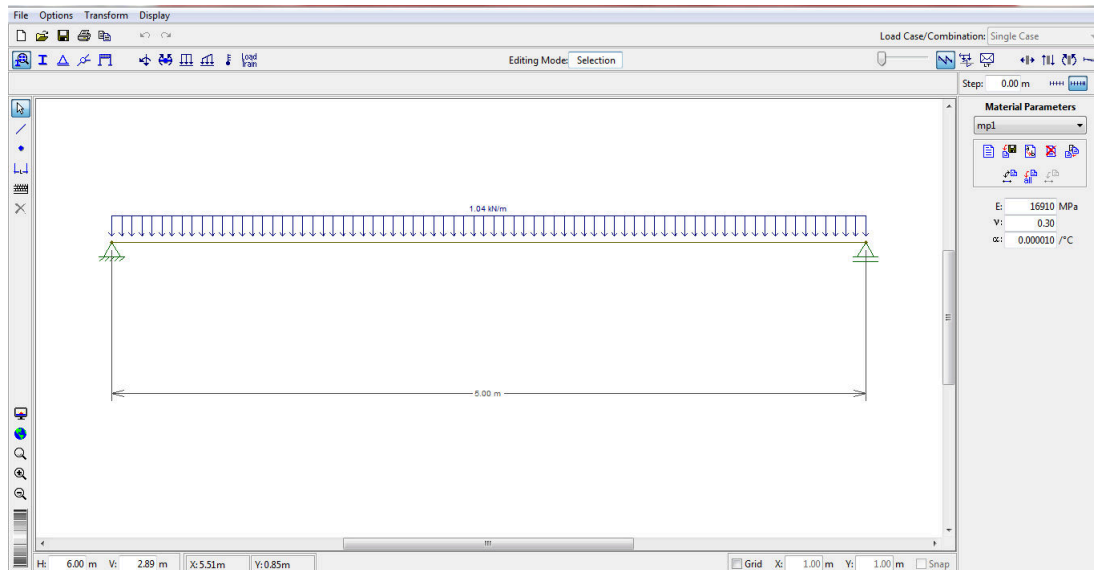


Figura 16 - Primeira viga analisada

Primeiramente, serão mostrados os resultados das reações de apoio da primeira seção (5 x 10) analiticamente, assim como os resultados máximos do esforço cortante, do momento fletor e da deformação. Feito isso, o processo se repete, porém, agora será mostrado os mesmos resultados da primeira viga com a utilização do FTOOL, com o objetivo de comprovar todos os resultados e mostrar a confiabilidade do programa. Para as demais seções analisadas, serão mostrados os resultados só pelo programa, uma vez que pela primeira viga analisada, já fica comprovada a veracidade do mesmo.

REAÇÕES DE APOIO:

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0$$

$$H_a = 0$$

$$+ \curvearrowright \sum M_a = 0$$

$$V_B = 2,6 \text{ kN}$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$V_A = 2,6 \text{ kN}$$

De acordo com o conhecimento visto em sala de aula, foi possível chegar aos resultados do esforço cortante máximo, momento fletor e sua respectiva deformação.

4.1.3. ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO

A figura 17 traz o diagrama do esforço cortante, com valor de $2,6 \text{ kN}$. O esforço cortante é máximo nas extremidades da viga e zero quando for à metade da viga.

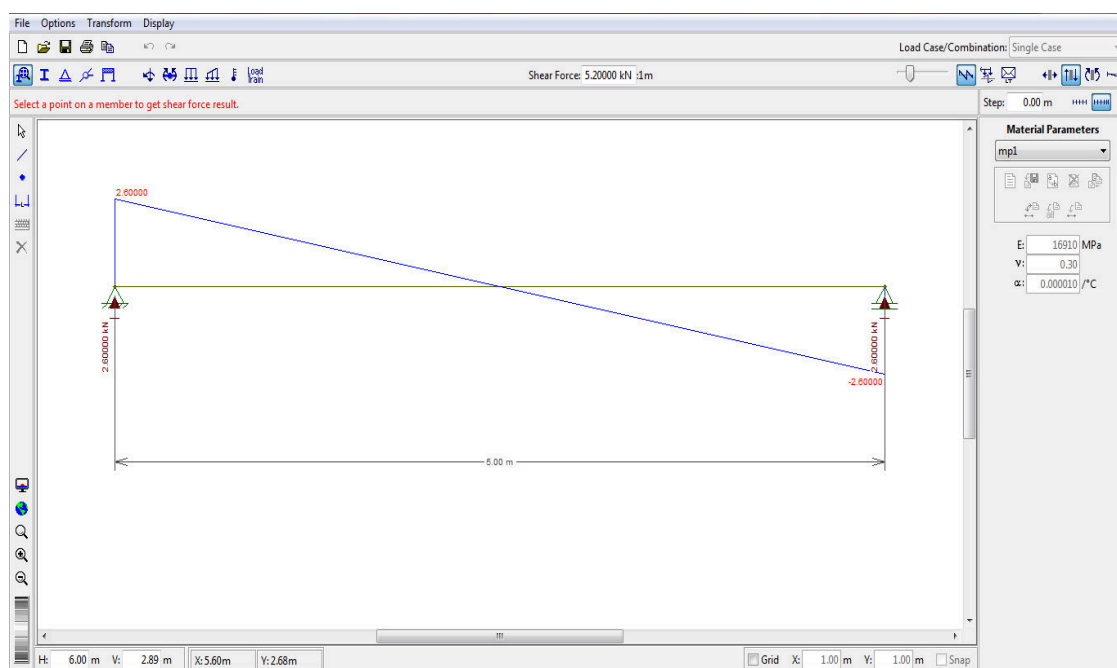


Figura 17 - Diagrama do esforço cortante máximo

4.1.4. MOMENTO FLETOR MÁXIMO

A figura 18 mostra o diagrama do momento fletor máximo, com valor de $3,25 \text{ kN} \cdot \text{m}$. O momento fletor é nulo nas extremidades da viga e máximo no meio da viga.

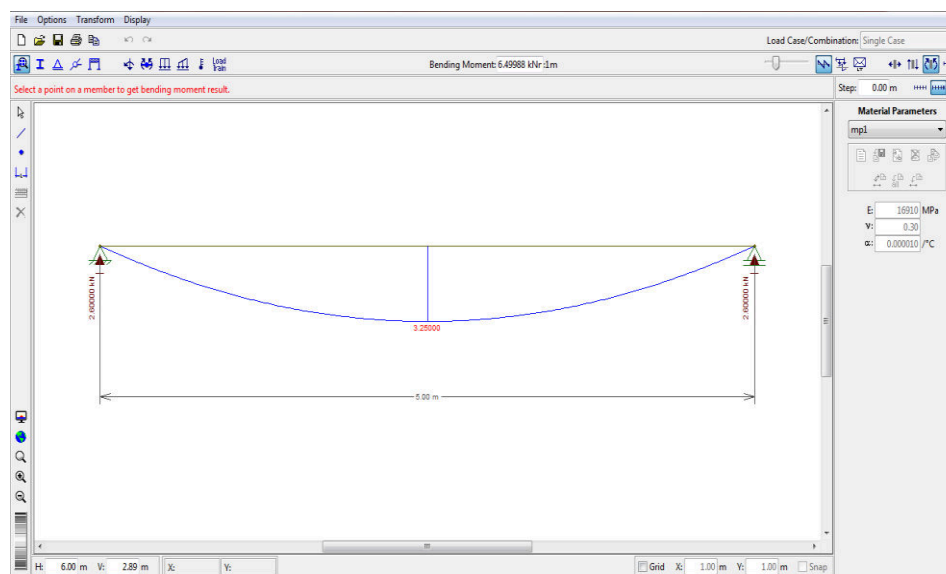


Figura 18 - Diagrama do momento fletor máximo

4.1.5.DEFORMAÇÃO MÁXIMA

A figura 19 mostra o diagrama da deformação da primeira viga analisada com seu resultado de 12,01 *cm*. Pode-se perceber que a deformação é máxima onde for à metade do comprimento da viga, ou seja, quando a viga for 2,50 m.

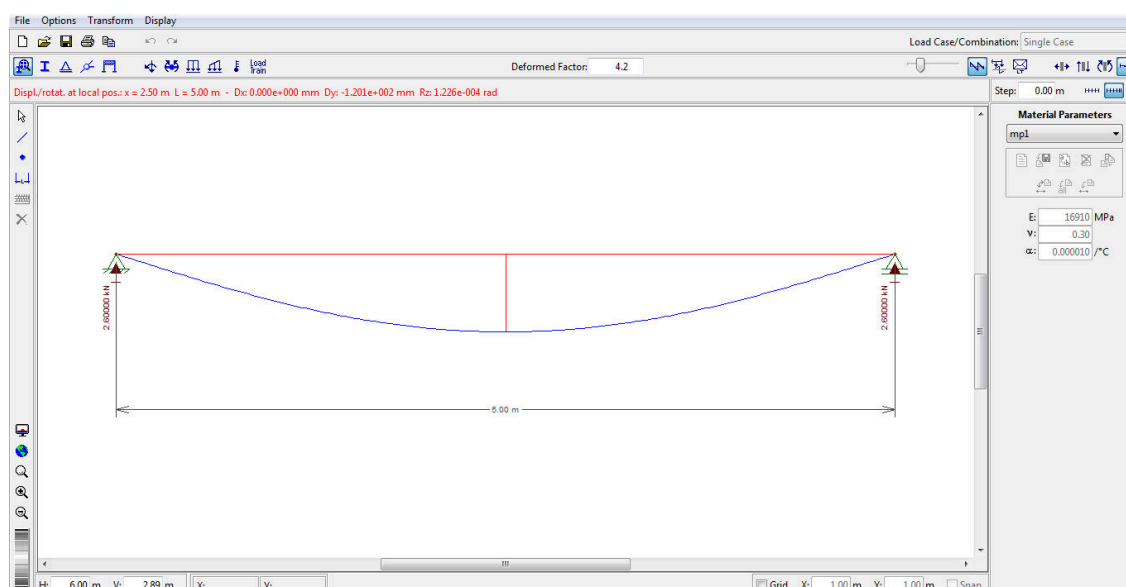


Figura 19 - Deformação máxima da viga

A tabela 2 mostra os resultados obtidos através do método analítico e computacional.

Tabela 2 - Resultados da primeira viga

Viga (5x10)	Analiticamente	Computacional
Esforço cortante máximo	2,6 Kn	2,6 kN
Momento fletor máximo	3,25 kN	3,25 kN
Deformação máxima	12,01 cm	12,01 cm

4.1.6. SEGUNDA VIGA: SEÇÃO (5x12)

A segunda viga traz uma seção maior que a anterior, e a partir dela será extraído os valores máximos do esforço cortante, do momento fletor e da deformação. A figura 20 mostra a viga no programa.

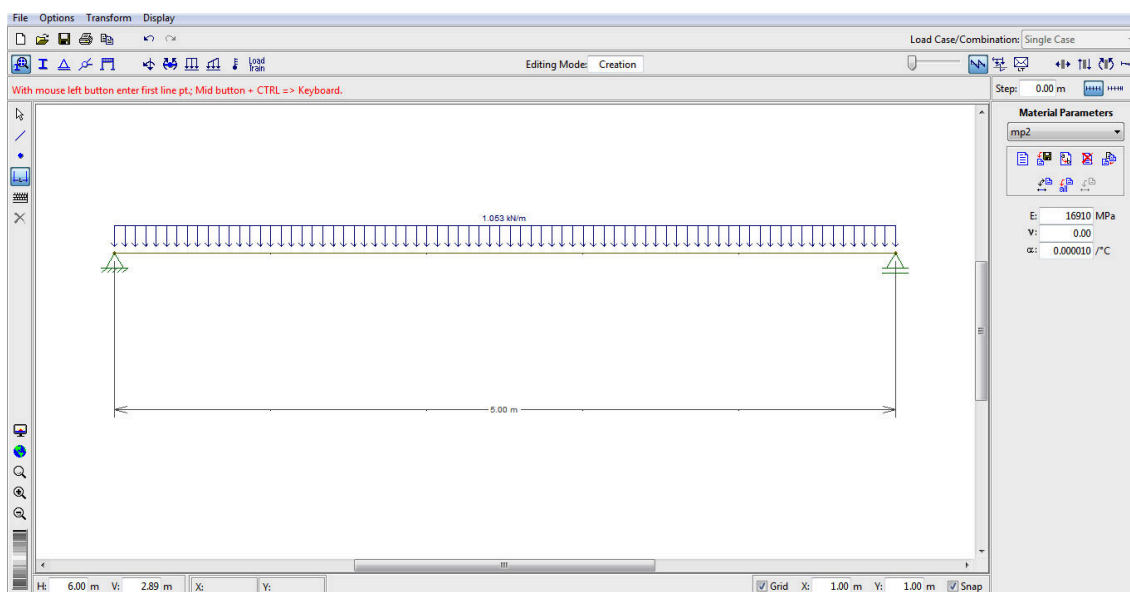


Figura 20 - Segunda viga analisada

4.1.7. ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO

A figura 21 mostra o diagrama do esforço cortante, com valor de 2,63 kN. O esforço cortante é máximo nas extremidades da viga e zero quando for à metade da viga.

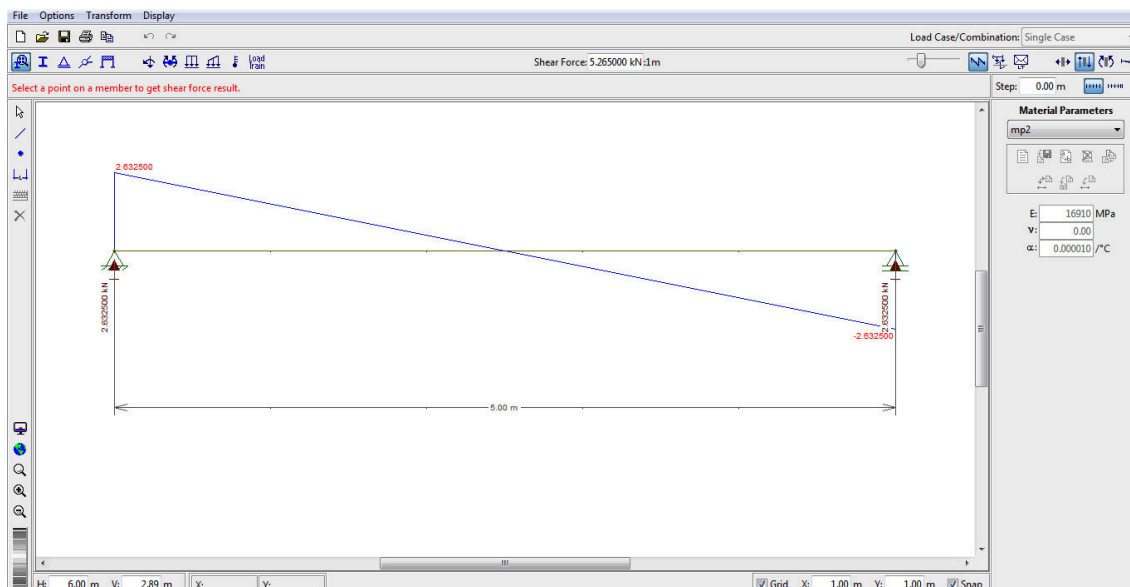


Figura 21 - Diagrama do esforço cortante máximo

4.1.8. MOMENTO FLETOR MÁXIMO

A figura 22 mostra o diagrama do momento fletor máximo, com valor de $3,29 \text{ kN.m}$. O momento fletor é nulo nas extremidades da viga e máximo no meio da viga.

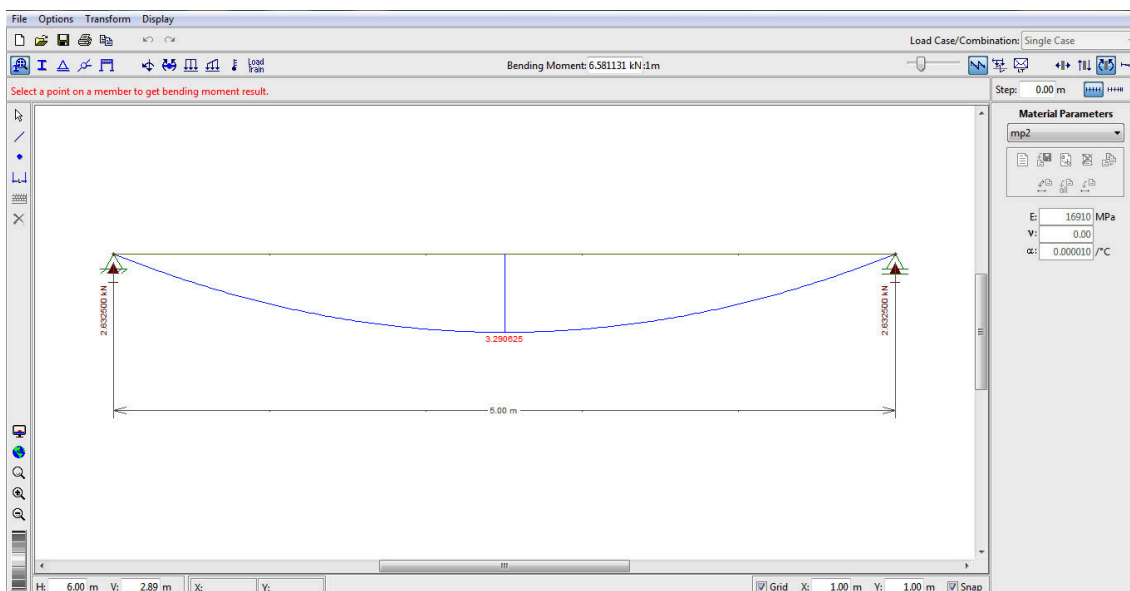


Figura 22 - Diagrama do momento fletor máximo

4.1.9.DEFORMAÇÃO DA VIGA

A figura 23 mostra o diagrama da deformação da viga analisada com seu resultado de **7,04 cm**. Pode-se perceber que a deformação é máxima onde for à metade do comprimento da viga, ou seja, quando a viga for 2,50 m.

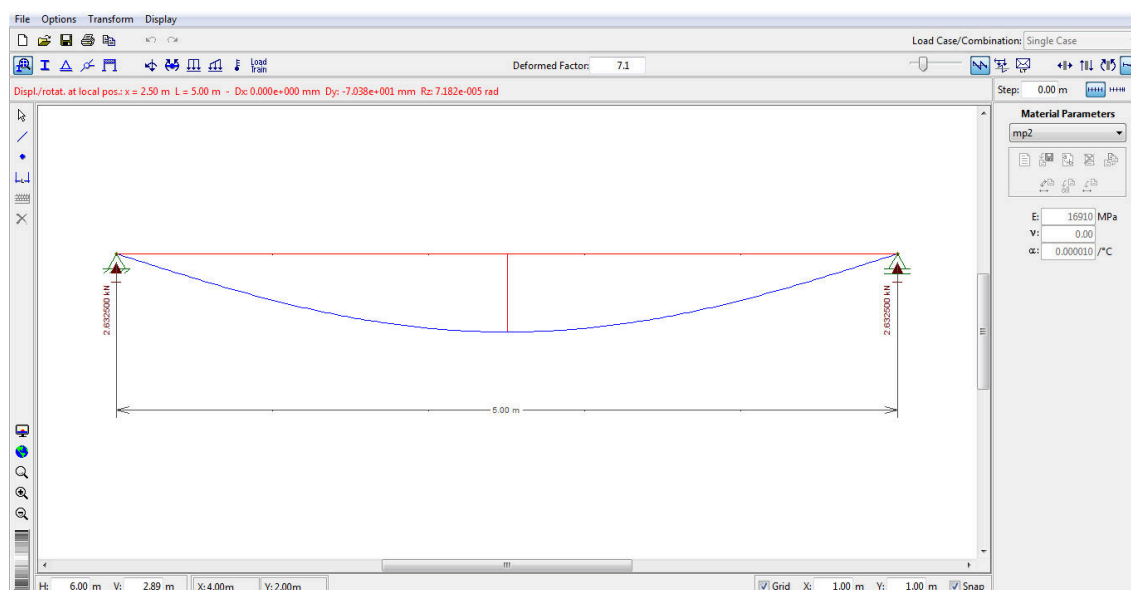


Figura 23 - Deformação máxima da viga

A tabela 3 mostra os valores calculados da segunda viga pelo método analítico e computacional do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

Tabela 3 - Resultados da segunda viga

Viga (5x12)	Analiticamente	Computacional
Esforço cortante máximo	2,63 kN	2,63 kN
Momento fletor máximo	3,29 kN	3,29 kN
Deformação máxima	7,04 cm	7,04 cm

4.1.10. TERCEIRA VIGA ANALISADA: SEÇÃO (5x14)

A terceira viga (figura 24) tem seção ainda maior e a partir daí poderá verificar os valores máximos do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

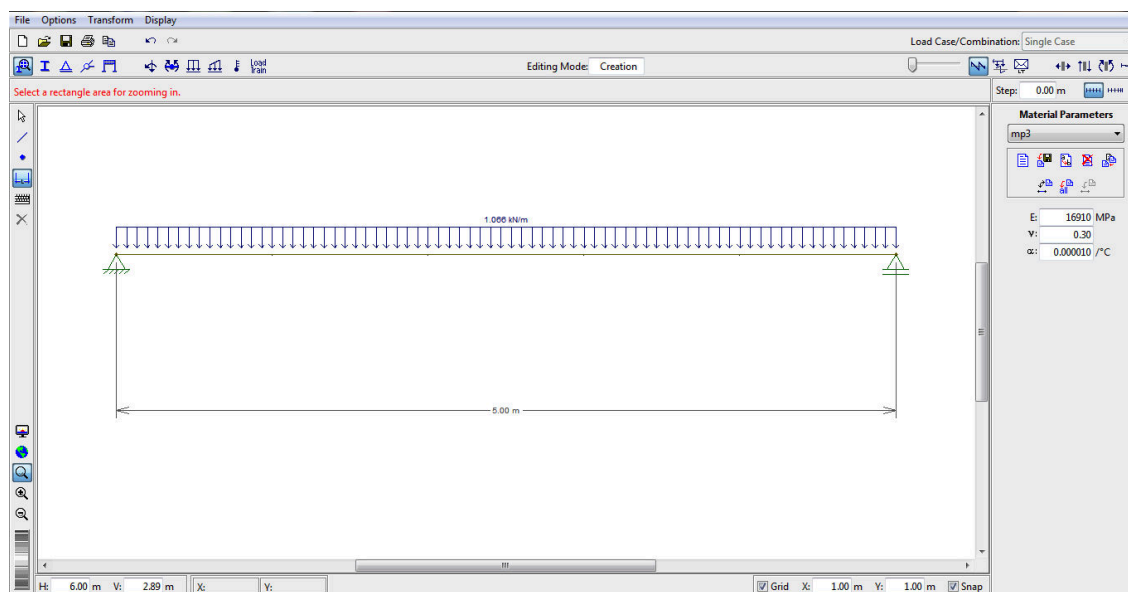


Figura 24 - Terceira viga analisada

4.1.11. ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO

A figura 25 mostra o diagrama do esforço cortante máximo, com valor de $2,67 \text{ kN}$. O esforço cortante é máximo nas extremidades da viga e zero quando for à metade da viga.

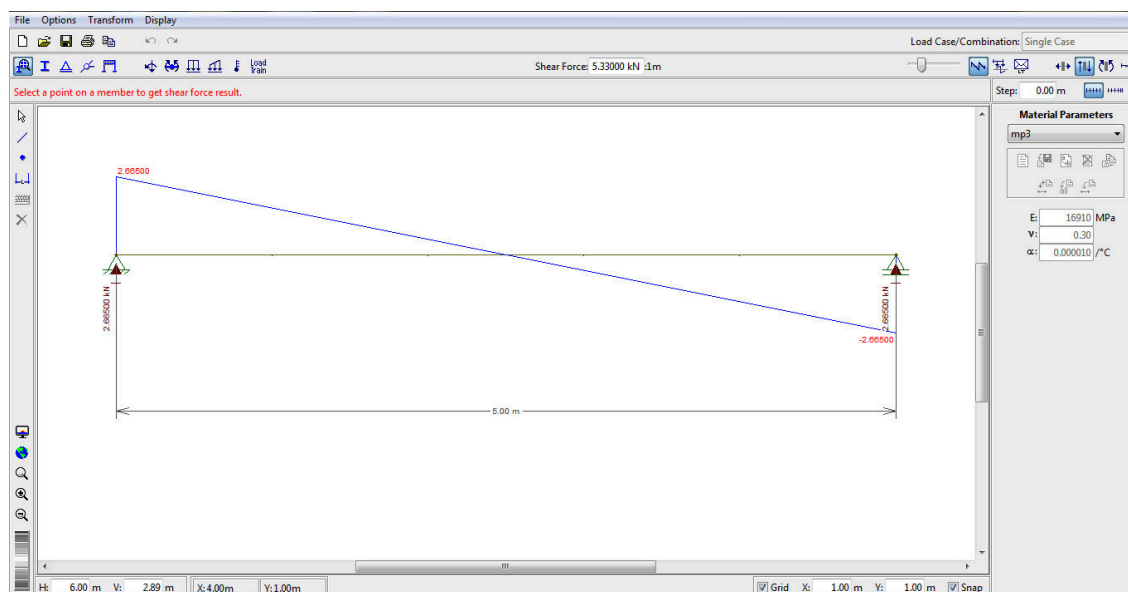


Figura 25 - Diagrama do esforço cortante máximo

4.1.12. MOMENTO FLETOR MÁXIMO

A figura 26 mostra o diagrama do momento fletor máximo, com valor de $3,33 \text{ kN}\cdot\text{m}$. O momento fletor é nulo nas extremidades da viga e máximo no meio da viga.

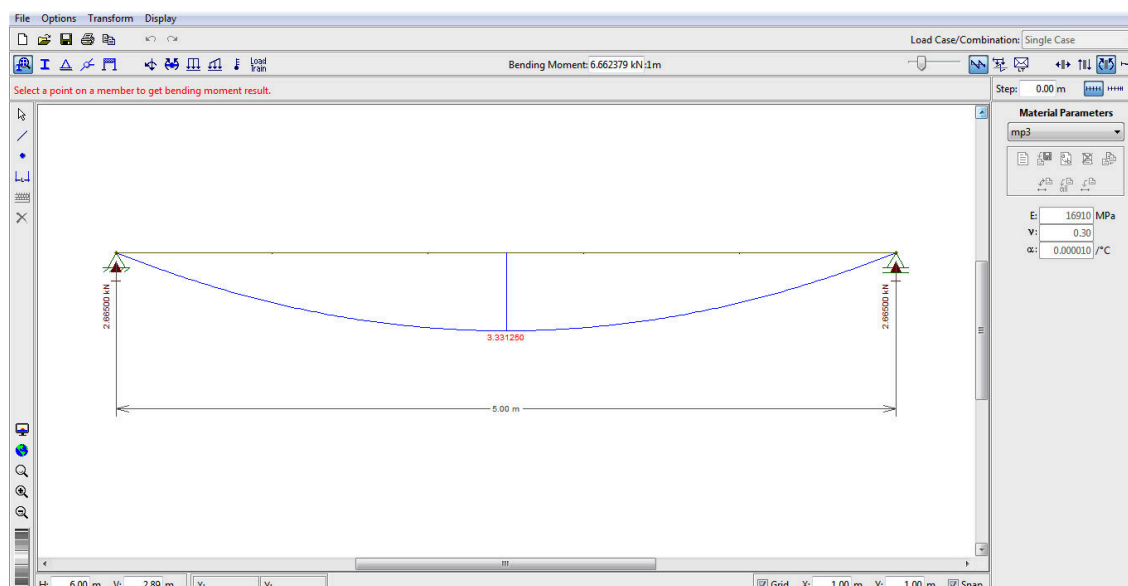


Figura 26 - Diagrama do momento fletor máximo

4.1.13. DEFORMAÇÃO DA VIGA

A figura 27 mostra o diagrama da deformação da viga analisada com seu resultado de **4,49 cm**. Pode-se perceber que a deformação é máxima onde for à metade do comprimento da viga, ou seja, quando a viga for 2,50 m.

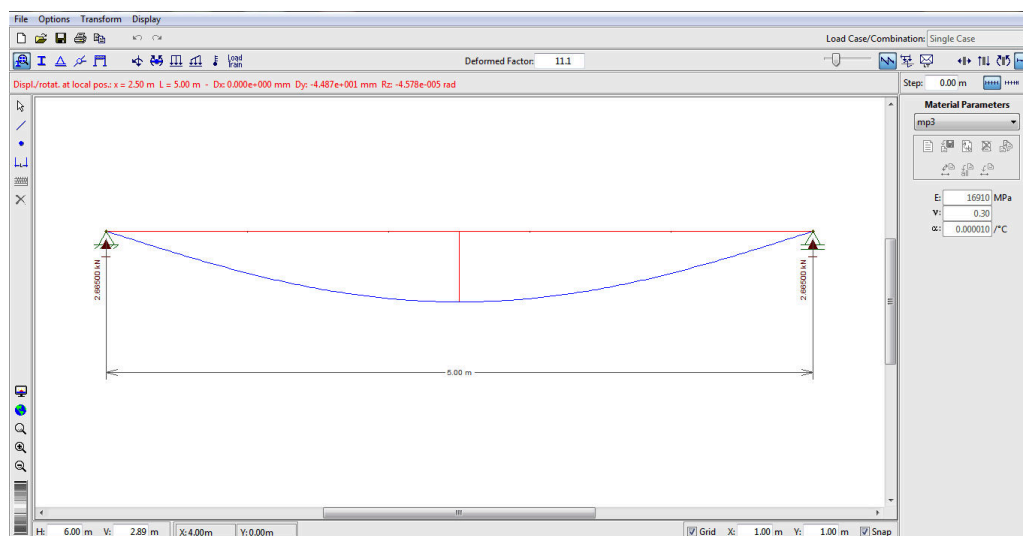


Figura 27 - Deformação máxima da viga

A tabela 4 mostra os valores calculados da terceira viga pelo método analítico e computacional do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

Tabela 4 - Resultados da terceira viga

Viga (5x14)	Analiticamente	Computacional
Esforço cortante máximo	2,67 kN	2,67 kN
Momento fletor máximo	3,33 kN	3,33 kN
Deformação máxima	4,49 cm	4,49 cm

4.1.14. QUARTA VIGA: SEÇÃO (5x20)

A figura 28 mostra a quarta viga, que tem seção (5x20). A partir dessa viga, é mostrado os diagramas do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

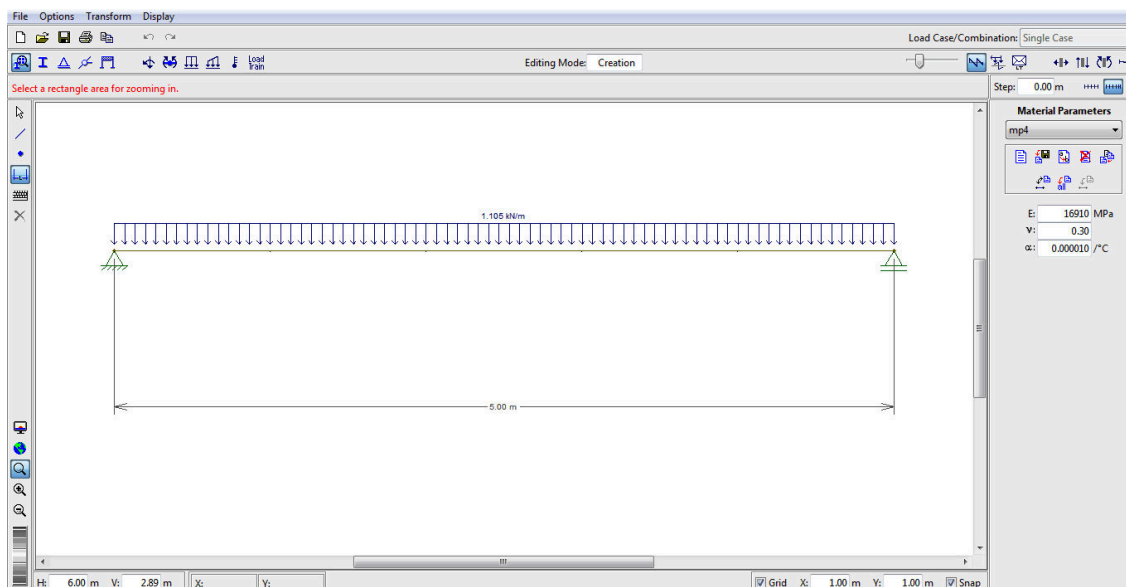


Figura 28 - Quarta viga analisada

4.1.15. ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO

A figura 29 mostra o diagrama do esforço cortante máximo, com valor de $2,76 \text{ kN}$. O esforço cortante é máximo nas extremidades da viga e zero quando for à metade da viga.

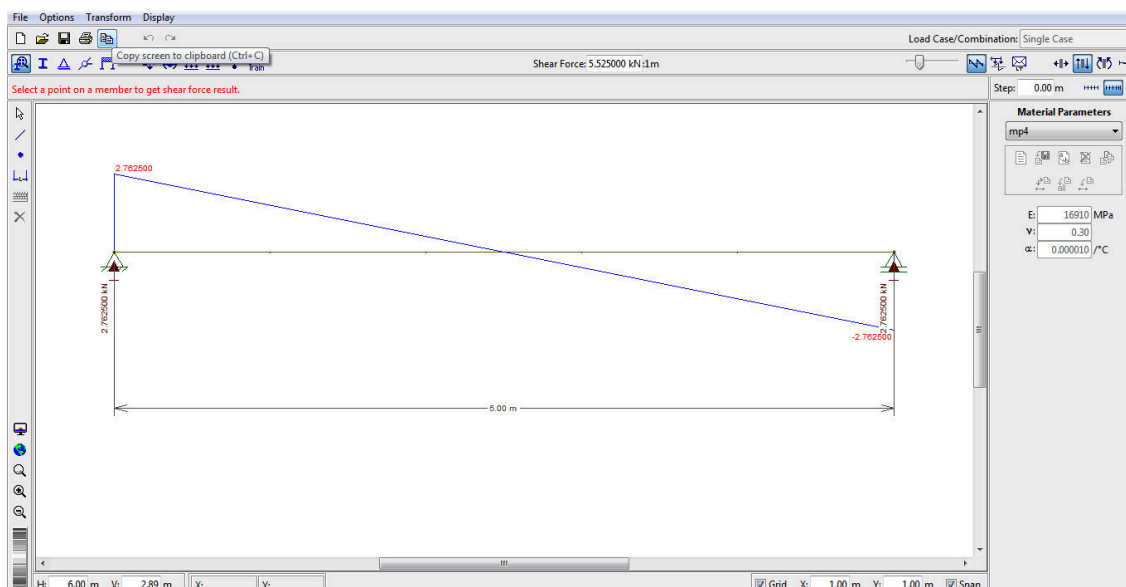


Figura 29 - Diagrama do esforço cortante máximo

4.1.16. MOMENTO FLETOR MÁXIMO

A figura 30 mostra o diagrama do momento fletor máximo, com valor de $3,45 \text{ kN.m}$. O momento fletor é nulo nas extremidades da viga e máximo no meio da viga.

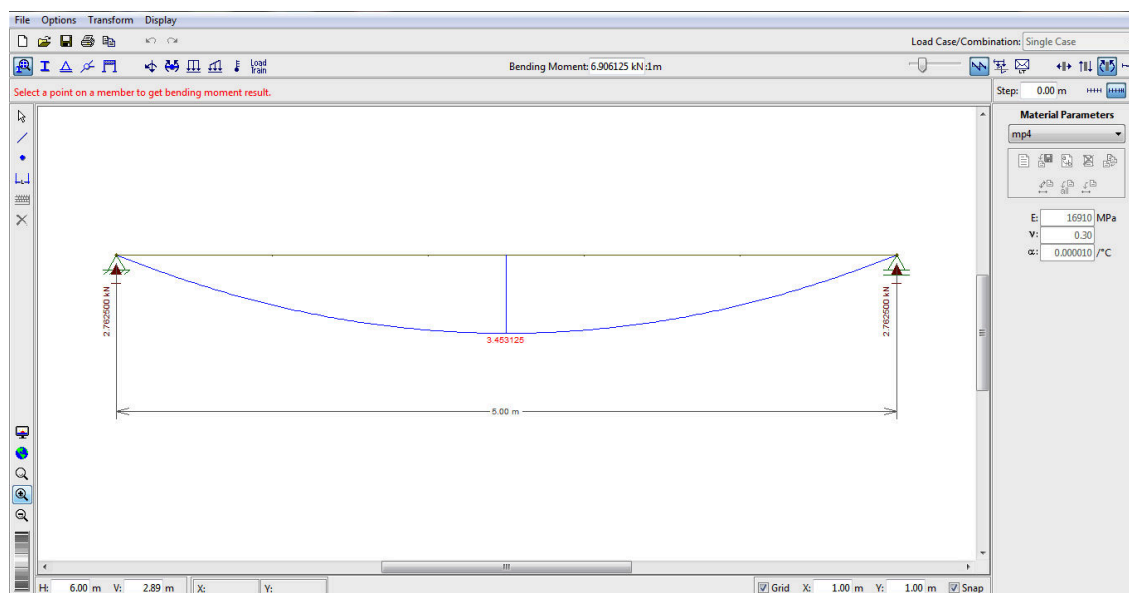


Figura 30 - Diagrama do momento fletor máximo

4.1.17. DEFORMAÇÃO DA VIGA

A figura 31 mostra o diagrama da deformação da viga analisada com seu resultado de $1,59 \text{ cm}$. Pode-se perceber que a deformação é máxima onde for à metade do comprimento da viga, ou seja, quando a viga for 2,50 m.

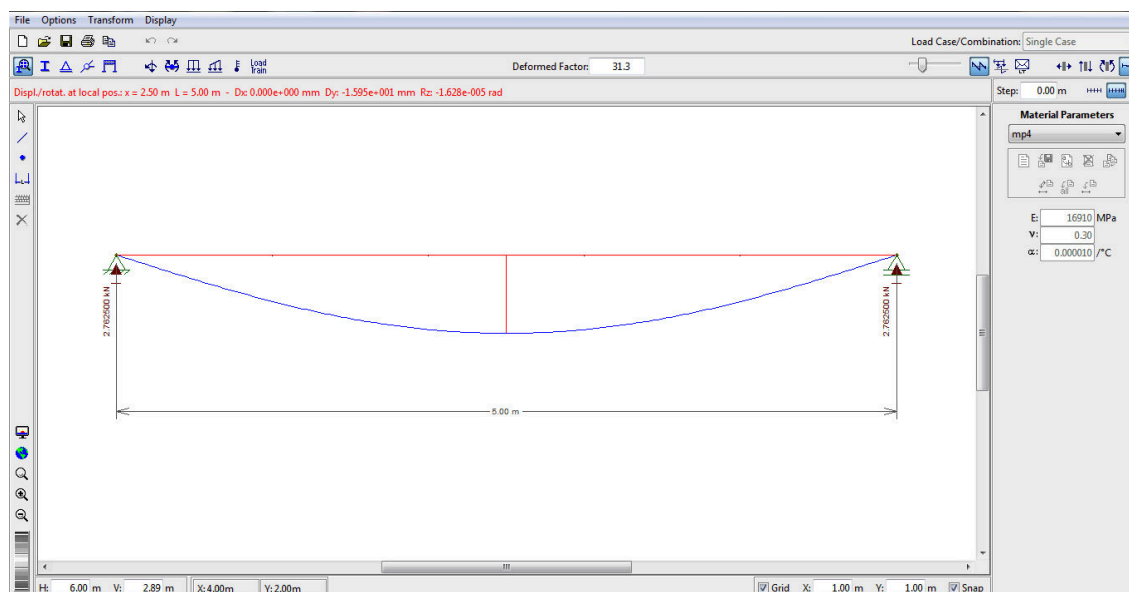


Figura 31 - Deformação máxima da viga

A tabela 5 mostra os valores calculados da quarta viga pelo método analítico e computacional do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

Tabela 5 - Resultados da quarta viga

Viga (5x20)	Analiticamente	Computacional
Esforço cortante máximo	2,76 kN	2,76 kN
Momento fletor máximo	3,45 kN	3,45 kN
Deformação máxima	1,59 cm	1,59 cm

4.1.18. QUINTA VIGA: SEÇÃO (5x25)

A figura 32 traz à quinta viga, que tem seção (5x25). A partir dessa viga, serão mostrados os diagramas do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

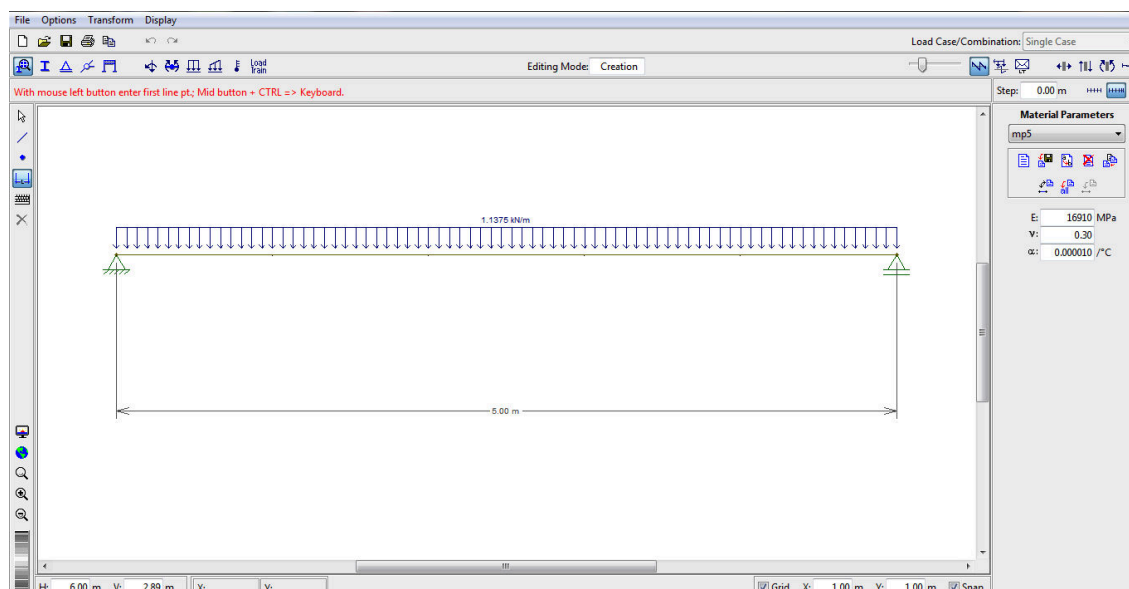


Figura 32 - Quinta viga analisada

4.1.19. ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO

A figura 33 mostra o diagrama do esforço cortante máximo, com valor de $2,84 \text{ kN}$. O esforço cortante é máximo nas extremidades da viga e zero quando for à metade da viga.

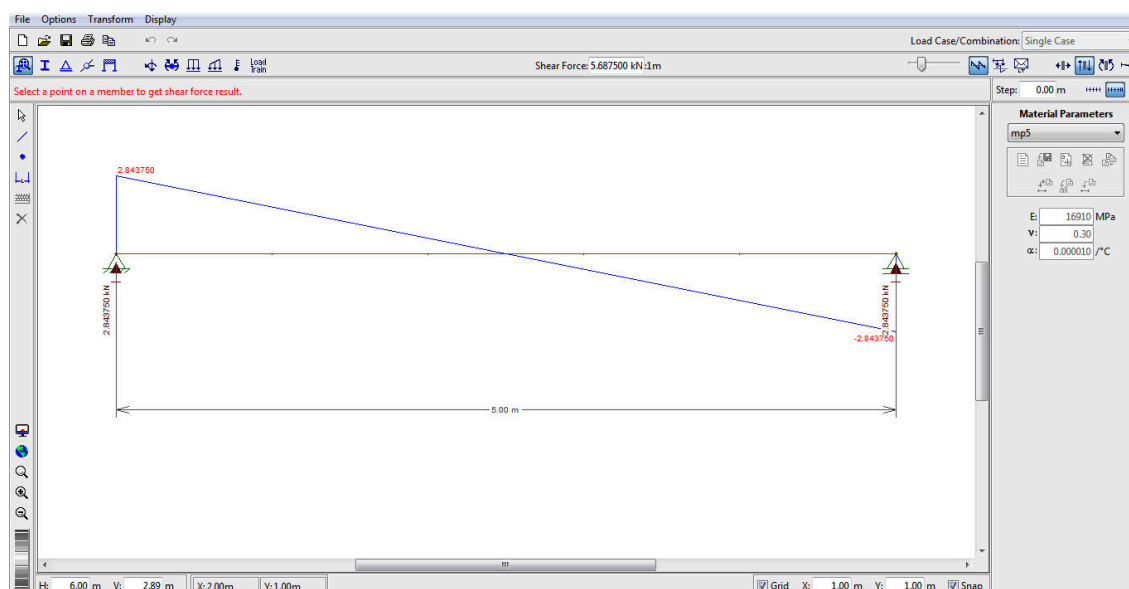


Figura 33 - Diagrama do esforço cortante máximo

4.1.20. MOMENTO FLETOR MÁXIMO

A figura 34 mostra o diagrama do momento fletor máximo, com valor de $3,55 \text{ kN.m}$. O momento fletor é nulo nas extremidades da viga e máximo no meio da viga.

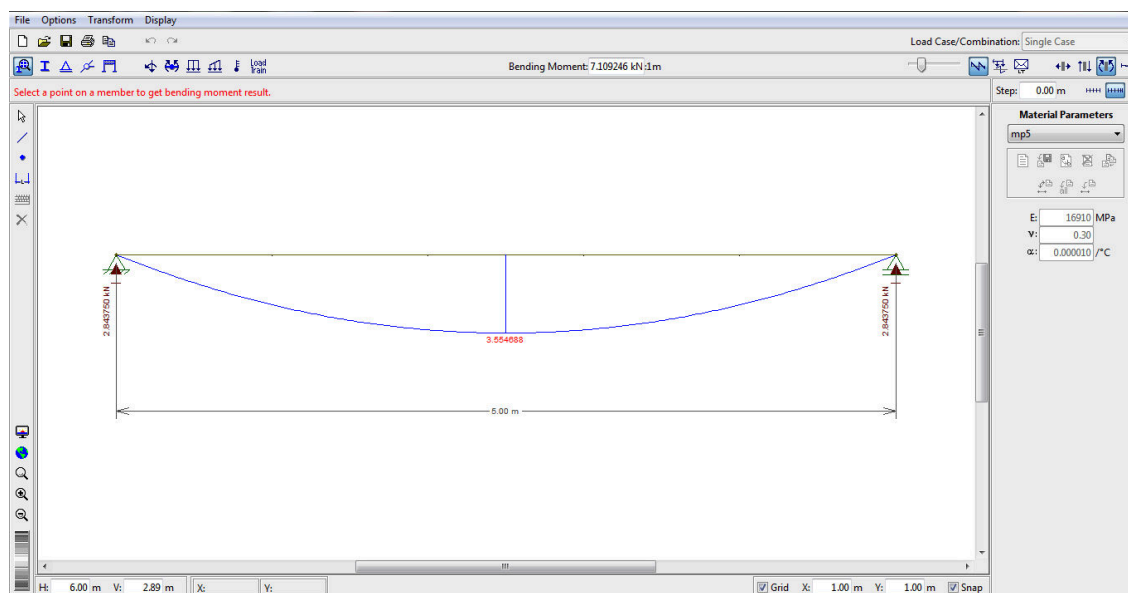


Figura 34 - Diagrama do momento fletor máximo

4.1.21. DEFORMAÇÃO DA VIGA

A figura 35 mostra o diagrama da deformação da viga analisada com seu resultado de **0,84 cm**. Pode-se perceber que a deformação é máxima onde for à metade do comprimento da viga, ou seja, quando a viga for 2,50 m.

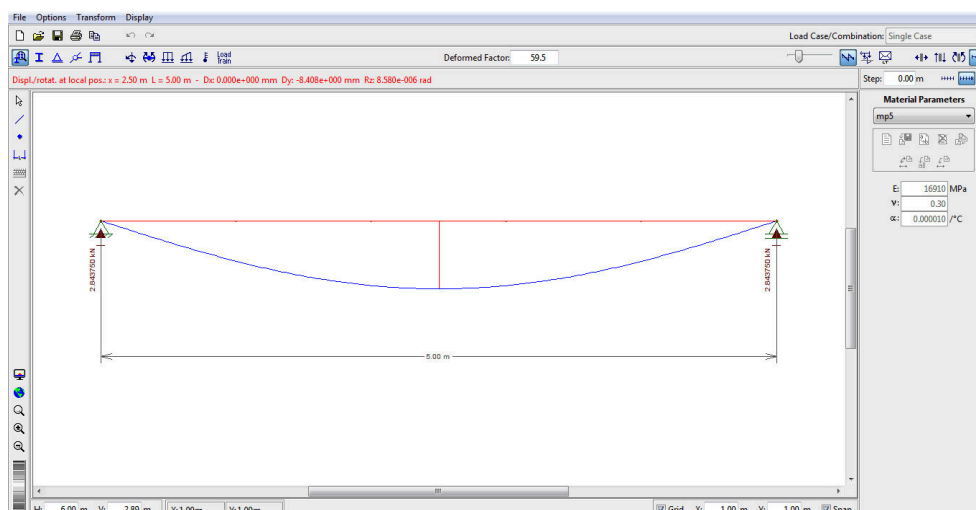


Figura 35 - Deformação máxima da viga

A tabela 6 mostra os valores calculados da quinta viga pelo método analítico e computacional do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

Tabela 6 - Resultados da quinta viga

Viga (5x25)	Analiticamente	Computacional
Esforço cortante máximo	2,84 kN	2,84 kN
Momento fletor máximo	3,55 kN	3,55 kN
Deformação máxima	0,84 cm	0,84 cm

4.1.22. SEXTA VIGA: SEÇÃO (5x30)

A figura 36 traz à última viga analisada, que tem seção (5x30). A partir dessa viga, serão mostrados os diagramas do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

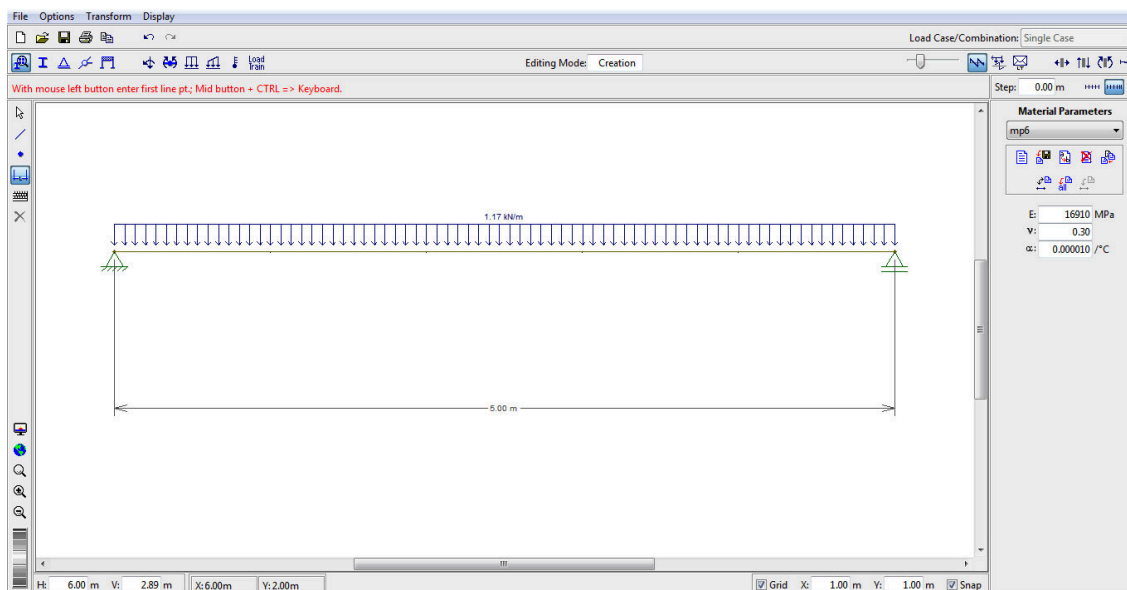


Figura 36 - Sexta viga analisada

4.1.23. ESFORÇO CORTANTE MÁXIMO

A figura 37 mostra o diagrama do esforço cortante máximo, com valor de $2,93 \text{ kN}$. O esforço cortante é máximo nas extremidades da viga e zero quando for à metade da viga.

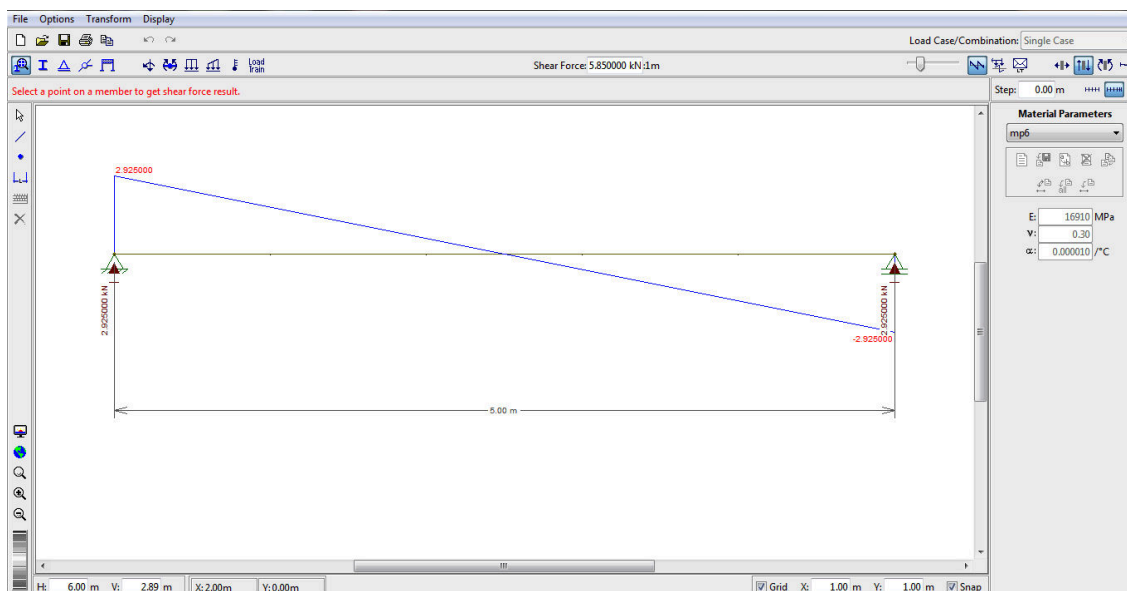


Figura 37 - Diagrama do esforço cortante máximo

4.1.24. MOMENTO FLETOR MÁXIMO

A figura 38 mostra o diagrama do momento fletor máximo, com valor de $3,66 \text{ kN}\cdot\text{m}$. O momento fletor é nulo nas extremidades da viga e máximo no meio da viga.

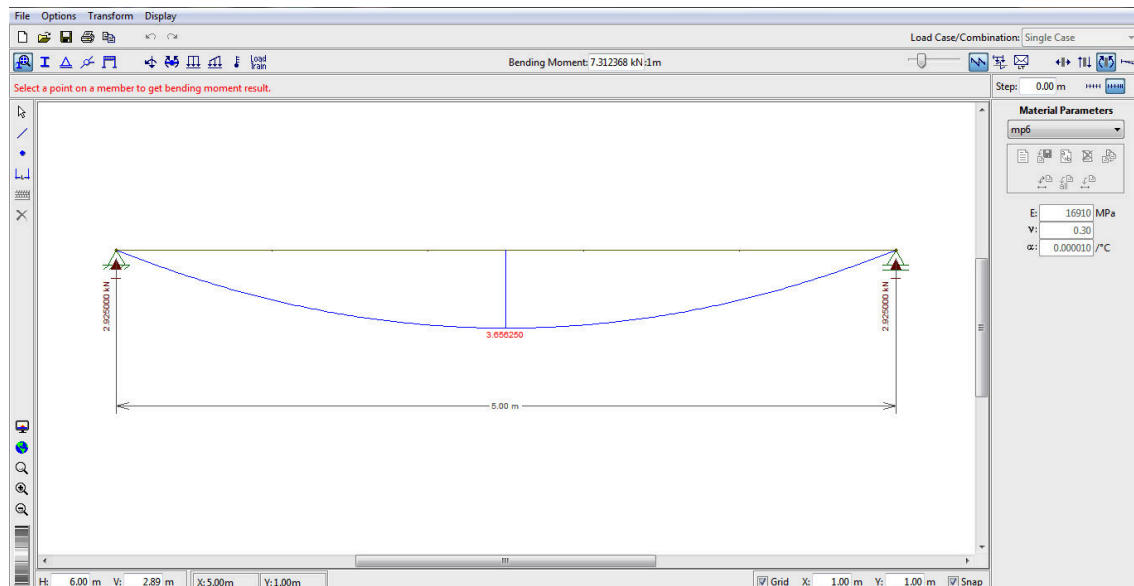


Figura 38 - Diagrama do momento fletor máximo

4.1.25. DEFORMAÇÃO DA VIGA

A figura 39 mostra o diagrama da deformação da viga analisada com seu resultado de **0,50 cm**. Pode-se perceber que a deformação é máxima onde for à metade do comprimento da viga, ou seja, quando a viga for 2,50 m.

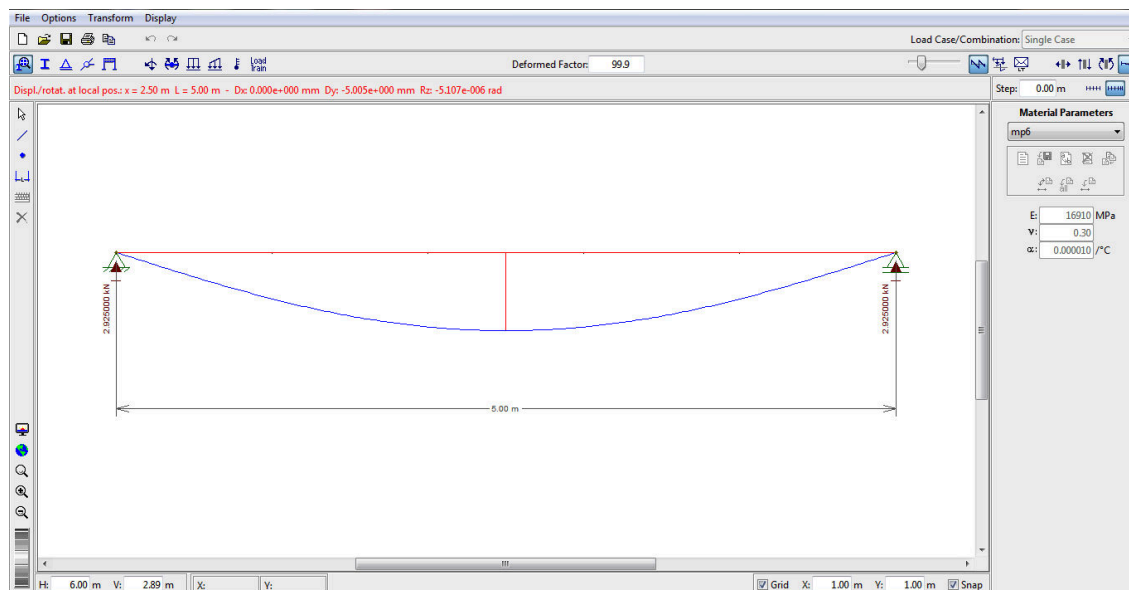


Figura 39 - Deformação máxima da viga

A tabela 7 mostra os valores calculados da sexta viga pelo método analítico e computacional do esforço cortante, do momento fletor e da deformação.

Tabela 7 - Resultados da sexta viga

Viga (5x30)	Analiticamente	Computacional
Esforço cortante máximo	2,93 kN	2,93 kN
Momento fletor máximo	3,66 kN	3,66 kN
Deformação máxima	0,50 cm	0,50 cm

Como estiveram retratados antes, todos os dados foram apresentados pelo software, e fazendo uma comparação dos cálculos analíticos com o dos obtidos pelo programa, verificou-se que não há diferença de valores, ou seja, ficou evidenciado que o programa dá confiança para se trabalhar com o mesmo. Abaixo são mostradas algumas vigas, (figuras 40 e 41) que caracterizaram todo o desenvolvimento do trabalho, pois foram encontradas todas as seções (bitolas) para realizar o estudo.



Figura 40 - Seções (bitolas) encontradas na madeireira



Figura 41 - Seções (bitolas) encontradas na madeireira

Outra parte do trabalho consiste em calcular os valores das tensões normais máximas para cada viga, portanto, a tabela 8 mostra todos os resultados das tensões de cada viga calculadas analiticamente:

4.2. CÁLCULOS DAS TENSÕES PARA CADA SEÇÃO:

O cálculo da tensão para cada viga analisada é dada pela equação: $\sigma = \frac{M_{\max}}{W}$.

Onde:

σ = Tensão

$M_{\text{máx}}$ = Momento máximo de cada viga analisada

W = Módulo de resistência do material, nesse caso, é trabalhado com seções retangulares.

Tabela 8 - Tensões de cada viga analisada

Seções da viga (cm)	Tensões (MPa)
(5 x 10)	39,00
(5 x 12)	27,42
(5 x 14)	20,39
(5 x 20)	10,35
(5 x 25)	6,82
(5 x 30)	4,87

Agora é possível analisar graficamente todos os dados obtidos até aqui:

4.3. GRÁFICO DO ESFORÇO CORTANTE EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS

Graficamente (figura 42), pode-se perceber que à medida que a seção de cada viga aumenta (eixo horizontal) o esforço cortante (eixo vertical) também aumenta. Isso se deve ao fato de que nas análises, a carga total mudava, ou seja, a área aumenta em decorrência do aumento da seção, ocasionando o aumento da carga aplicada na viga. Com isso, na medida em que a altura da viga aumenta, o esforço cortante também aumentará para cada viga.

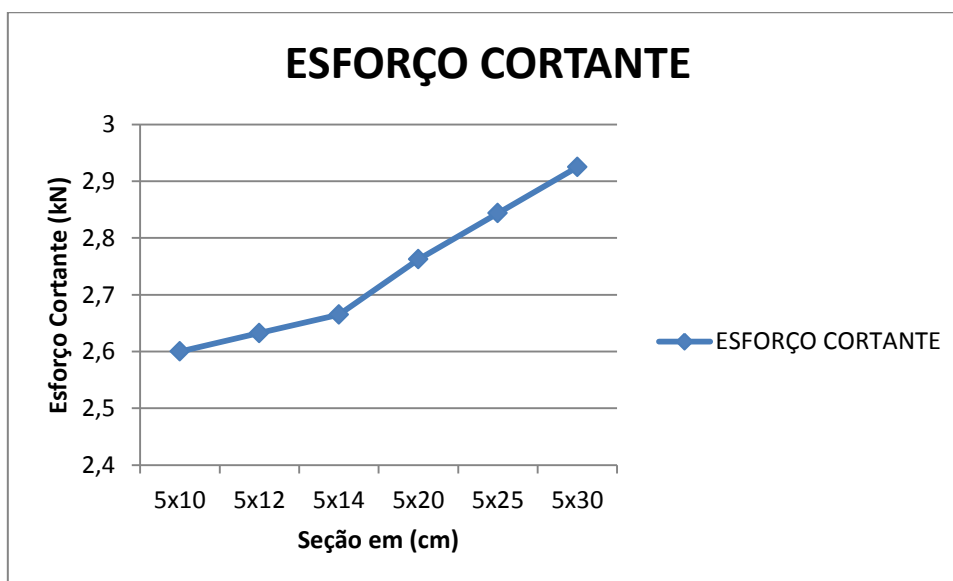


Figura 42 - Gráfico da evolução do esforço cortante com a seção

4.4. GRÁFICO DO MOMENTO FLETOR EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS

O mesmo acontece com o gráfico do momento fletor (figura 43), pelo mesmo fato que aconteceu no esforço cortante. Como é fácil de perceber ao analisar o gráfico, à medida que a altura de cada viga aumenta, o esforço cortante para cada viga também irá aumentar, em virtude de uma carga distribuída maior em cada viga.

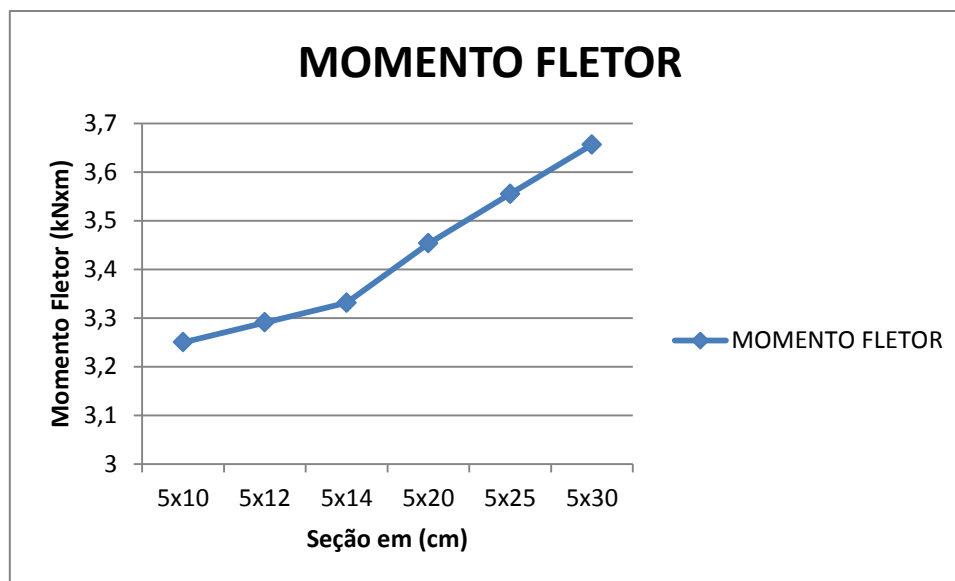


Figura 43 - Gráfico da evolução do momento fletor com a seção

4.5. GRÁFICO DA DEFORMAÇÃO EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS

No gráfico da deformação (figura 44), verifica-se que à medida que a seção aumenta a deformação diminui, ou seja, a deformação é inversamente proporcional à seção analisada. Isso acontece porque o momento de inércia é maior à medida que a altura da viga analisada aumenta, então ocasionará numa diminuição da deformação.

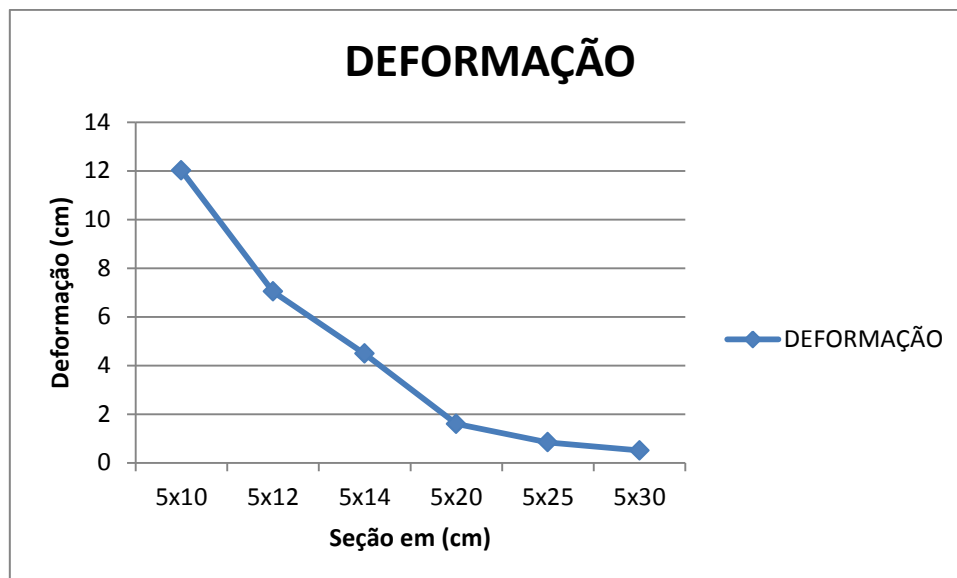


Figura 44 - Gráfico da evolução da deformação com a seção

4.6. GRÁFICO DA TENSÃO EM RELAÇÃO ÀS SEÇÕES DAS VIGAS

A análise para o gráfico da tensão (figura 45) é similar ao da deformação, pois como o módulo de resistência (W) é inversamente proporcional à tensão, implica dizer que à medida que a seção da viga aumenta a tensão diminui. Olhando para o gráfico da tensão é possível perceber isso perfeitamente.

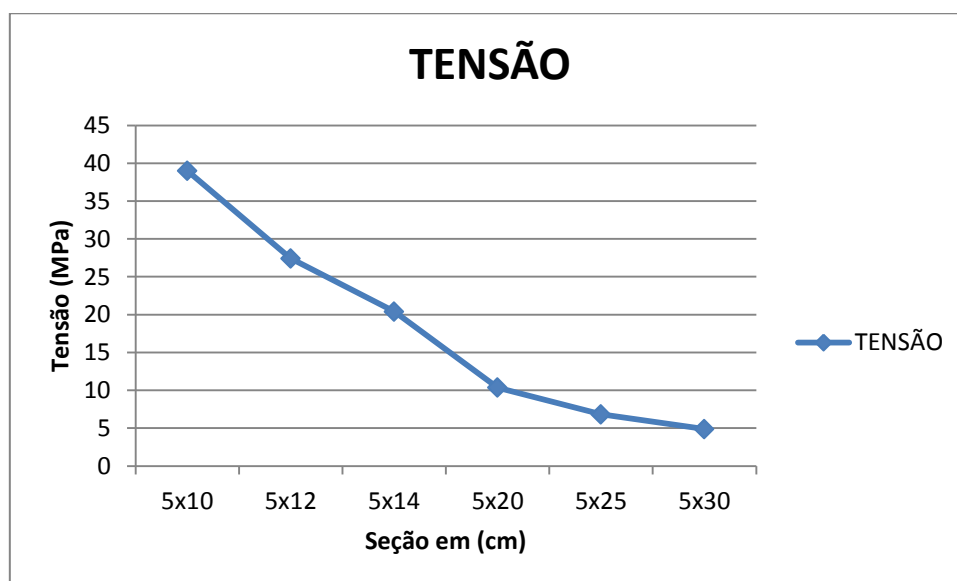


Figura 45 - Gráfico da evolução da tensão com a seção

4.7. ESCOLHA DA SEÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DA COBERTURA DA GARAGEM

Uma vez feito às análises de todas as vigas, já é possível determinar qual a viga mais adequada para a construção da garagem. Porém, para saber realmente qual a mais apropriada, precisa levar em conta três fatores importantes para a escolha da viga: ruptura, deformação e economia.

4.7.1. Ruptura

De acordo com Rebello (2005), a tensão admissível para a madeira é igual a 0,15 vezes a tensão de ruptura do material ($\sigma_{adm} = 0,15x f_b$). No caso desse trabalho, a madeira que está sendo avaliada é a maçaranduba, que apresenta a tensão admissível igual a 22 MPa. Com essa informação, podem-se verificar os valores das tensões que foram calculados analiticamente para todas as seções e saber quais as que podem ou não ser utilizadas.

Tensão admissível quer dizer que para um material analisado ser utilizado, o mesmo tem que ter sua tensão menor ao valor da tensão admissível do respectivo material, ou seja, de acordo com os resultados mostrados na tabela 8, as seções (5x10) e (5x12) não podem ser utilizadas na construção da cobertura da garagem, em virtude de ultrapassarem da tensão admissível. Restando ainda para a escolha da viga mais adequada apenas quatro seções: (5x14), (5x20), (5x25) e (5x30) com suas unidades em centímetros.

4.7.2. Deformação

O segundo fator importante para a escolha da viga mais adequada é a deformação.

Ainda conforme Rebello (2005), a deformação de uma viga de madeira deve ser menor ou igual a L sobre 360 ($\delta = l/360$), onde L representa o vão da viga (comprimento). Todas as vigas tem comprimento igual de 5 metros, ou seja, aplicando na equação dada, temos que as deformações das vigas que sobraram tem que ser menor ou igual a 1,39 cm. Assim, as vigas com seções (5x14) e (5x20) também estão fora dos padrões estabelecidos.

Agora, após as análises da deformação restaram apenas duas seções $(5 \times 25) \text{ cm}$ e $(5 \times 30) \text{ cm}$, faltando analisar ainda quanto a economia para determinar qual a mais apropriada para realizar a construção da garagem.

4.7.3. Economia

Levando-se em conta que sobraram apenas duas seções $(5 \times 25) \text{ cm}$ e $(5 \times 30) \text{ cm}$, após terem passado pela ruptura e deformação, pode-se enfim escolher a seção mais adequada para se construir a cobertura de uma garagem.

No decorrer da pesquisa, verificaram-se os preços das vigas, e de acordo com as seções que sobraram, a viga (5×25) tem uma redução de custo em torno de 20% em comparação a segunda viga (5×30) , isso para cada metro. Portanto, a melhor viga a ser construída a cobertura da garagem é a $(5 \times 25) \text{ cm}$, já que apresenta um custo benefício mais em conta e obedece todos os outros fatores, garantindo assim a segurança.

5. CONCLUSÃO

Observou-se no decorrer desse trabalho, a grande importância que a madeira traz para a construção civil, onde foram notadas diversas utilizações da mesma como, por exemplo, o emprego em casas, esquadrias, escadas e na parte estrutural, sendo essa última de muito uso hoje em dia. Pesquisou-se bastante sobre as propriedades da madeira maçaranduba a fim de se trabalhar com a mesma para a realização da construção de uma cobertura.

Além disso, o trabalho foi acompanhado por um programa computacional, elevando ainda mais o projeto em si. Ficou perceptível a capacidade do software, pois todos os resultados obtidos através do mesmo foram conferidos analiticamente, mostrando total acurácia, não evidenciando nenhuma diferença de resultados.

Buscou-se trabalhar com seis vigas e analisar em cada uma delas suas deformações e tensões sofridas para então poder escolher a melhor para a construção. Realizadas todas as análises, verificou-se que a seção transversal de uma viga interfere diretamente na deformação da mesma, pois se mostrou que com o aumento da seção a deformação diminuía, ou seja, o aumento da seção é inversamente proporcional à deformação. Também foi constatado o mesmo para o fato da ruptura, pois com o aumento do módulo de resistência de cada seção, percebeu-se que a tensão diminuía, mostrando que a tensão é inversamente proporcional ao aumento do módulo de resistência.

No caso da ruptura, quando feitas todas as análises e comparadas pelo limite que todas teriam que apresentar, ficaram de fora as seções $(5 \times 10) \text{ cm}$ e $(5 \times 12) \text{ cm}$, pois ambas não obedeceram a tensão admissível da madeira maçaranduba que é 22MPa.

Na deformação, foram realizadas as análises e de acordo com o que foi apresentado, verificou-se que quatro vigas não tiveram suas deformações inferiores a $l/360$, apresentando valores maiores que a permitida que é de 1,39cm. As vigas que não tiveram êxito foram (5×10) , (5×12) , (5×14) e (5×20) . Com isso, apesar de na ruptura ter sido aproveitadas as vigas (5×14) e (5×20) , não foi possível aproveitá-las pois as mesmas não ficaram dentro da deformação.

Portanto, para verificar qual a viga mais adequada para se fazer uso na construção da cobertura da garagem, é necessário que essas vigas tivessem obtidos êxitos pela ruptura e deformação, ficando assim apenas duas vigas para a escolha: (5×25) e (5×30) .

Outro fator que se levou em consideração na hora da escolha da viga foi a economia, tendo em vista a importância do custo, além de evidenciar a segurança da obra proposta.

A viga escolhida para ser utilizada na construção foi a viga (5x25), pois apresentou uma economia em torno de 20% em relação a cada metro a ser comprado, comparado com a viga (5x30). Lembrando que as vigas têm suas unidades em centímetros.

REFERÊNCIAS

BEER, Ferdinand P. et al. Resistência dos Materiais: **MECÂNICA DOS MATERIAIS**. 4. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda., 2010.

BOTELHO, M. H. C. **Resistência dos Materiais para entender e gostar**. 1ª Ed. São Paulo: Ed. BLUCHER, 2008.

CASAS, Projeto de. **Escada de madeira**. Disponível em: <<http://projetosdecasasgratis.com.br/escadas-internas-de-madeira/escada-3/>>. Acesso em: 24 dez. 2013.

ESCOLA, Info. **Momento de uma força**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/mecanica/torque-ou-momento-de-uma-forca/>>. Acesso em: 30 dez. 2013.

ESTRUTURAL, Madeira. **Estrutura de uma cobertura em madeira**. Disponível em: <<http://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/05/12/vantagens-do-uso-da-madeira-como-material-estrutural/>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

GESUALDO, Francisco A. Romero. **Estruturas de Madeira**. 2003. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 659 p.

INTELIGENTE, Reformar O Blog da Engenharia. **Introdução ao estudo de estruturas**. Disponível em: <<http://reformat-eng.blogspot.com.br/2011/06/introducao-ao-estudo-de-estruturas.html>>. Acesso em: 30 dez. 2013.

INTERIORES, Design. **Casas de madeira.** Disponível em: <<http://www.designdeinteriores.org/dicas/casas-de-madeira/>>. Acesso em: 24 dez. 2013.

MADEIRA, Vigas de. Madeira para construção civil. Disponível em: <<http://www.vtn.com.br/materiais-de-construcao/dicas-de-construcao/madeiramento/utilidades-madeira-construcao-civil.php>>. Acesso em: 05 jan. 2014.

MADEIRA. **Tipos de Madeira.** Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/Tipos_de_madeiras.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2014.

MARTHA, Luiz Fernando **F'TOOL um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas, versão educacional 2.11**, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://web.tecgraf.puc-rio.br/ftool/>> Acesso em: 22 set. 2013.

MASCARENHAS, Paulo Sérgio M. **Madeira como material de construção.** 2008.

NASCIMENTO, M. F. do. **Chapas de partículas produzidas com madeira da caatinga do Nordeste.** Revista da Madeira. n.71, ano 13, 2003.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michéle Schubert. **Estruturas de Madeira.** 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2003. 241 p.

REATIVOS, **Esforços Externos. Diversos apoios.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA84AAI/esforços-externos-reativos>>. Acesso em: 05 jan. 2014.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Estruturas de aço, concreto e madeira: atendimento da expectativa dimensional.** São Paulo: Zigurate Editora, 2005. 373 p.

SILVA, Mauro César de Brito e. **Estruturas de Madeira.** Goiás, 18 set. 2010. p. 1-34.

SZÜCS, Carlos Alberto et al. **Estruturas de Madeira**. Florianópolis: 2008. 199 p.

ZENID, Geraldo José. **QUALIFICAÇÃO DE PRODUTOS DE MADEIRA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT. São Paulo, p. 1-15. 2011.