**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA**

**Curso de Engenharia Civil**

**GUSTAVO PLENTZ**

# ESTRUTURAS MISTAS: LIGAÇÕES ENTRE CONCRETO E AÇO NAS VIGAS MISTAS

**Ijuí**

**2011**

**GUSTAVO PLENTZ**

# ESTRUTURAS MISTAS:
# LIGAÇÕES ENTRE CONCRETO E AÇO NAS VIGAS MISTAS

Trabalho de conclusão de curso da engenharia civil apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de engenheiro civil.

Orientador: Valdi Henrique Sporh

**Ijuí**

**2011**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

**Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.**

_____

Prof. Valdi Henrique Sporh , MSc. Eng. - Orientador Titulação
UNIJUÍ/DeTec

Banca Examinadora

_____

Prof. Paulo César Rodrigues, MSc.Eng.
UNIJUÍ/DeTec

Dedico este trabalho a minha mãe Astrid Gerda Plentz (*in memorian)* a pessoa mais incrível e importante para mim que esteve presente no início deste trabalho e não teve a chance de vê-lo concluído e assim me ver graduado em engenharia civil, seu maior desejo.

Agradeço aos professores, especialmente ao meu orientador, Prof. Valdi Henrique Sporh , MSc. Eng. e ao Prof. Gustavo Veríssimo da UFV por ceder os softwares Vigamix e Desmet, também a Stabile Engenharia LTDA. que me cedeu o software Mcalc_AC. Todos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, também a todos os meus colegas e demais pessoas que acreditaram e de alguma forma me incentivaram a realizar este trabalho.

# RESUMO

Estruturas mistas de aço e concreto são muito abrangentes e populares na engenharia a bastante tempo, na constante busca da otimização dos materiais são necessárias técnicas para economia e aumento da rigidez. Aqui será comparada a modelagem de estrutura mista engastada e apoiada, enfatizando a ação mista proporcionada por conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça (stud bolt) e comparando o tipo de laje maciça com o de laje mista, com forma de aço incorporada.

Este trabalho consiste na apresentação de modelos de estruturas mistas compostas por placas (lajes) de concreto armado e vigas em perfis metálicos laminados. A configuração das estruturas engastadas propostas serão comparadas à mesma estrutura apenas apoiada, o dimensionamento e detalhamento de cinco casos, sendo três lajes maciças e duas Steel deck foi realizado respeitando as prescrições da NBR 8800 de 2008. Para a modelagem e dimensionamento dos elementos foi proposta uma estrutura de três vigas, sob ação do carregamento de uma laje de 5,00 x 5,00m, modelo ilustrado na figura. 21.

As estruturas metálicas geralmente são mais leves, econômicas e de construção mais limpa, aqui neste trabalho será proposta a ação mista e comprovado o quanto mais econômica e eficiente pode ser este tipo de estrutura. Para isso serão utilizadas vigas e lajes mistas, bem como lajes maciças convencionais

Palavras-chaves: estruturas concreto armado e aço, vigas mistas, lajes mistas, Steel deck, Stud Bolt.

# LISTA DE FIGURAS


| figura | nome | página |
|---|---|---|
| figura 1 | descrição do Stud bolt | 20 |
| figura 2 | Tipos de cerâmica de soldagem | 21 |
| figura 3 | processo de soldagem dos Studs | 21 |
| figura 4 | Stud bolts fixados sobre perfil | 21 |
| figura 5 | lajes com formas de aço | 25 |
| figura 6 | sem interação | 26 |
| figura 7 | com interação, ação mista | 26 |
| figura 8 | Posição da LNE | 27 |
| figura 9 | Modelos de vigas mistas | 27 |
| figura 10 | Modelos de lajes mistas | 28 |
| figura 11 | Largura efetiva na laje | 29 |
| figura 12 | Espessura efetiva da laje | 30 |
| figura 13 | Espessuras da laje | 31 |
| figura 14 | Corte, fôrma e detalhe da armadura | 31 |
| figura 15 | Armadura em planta | 31 |
| figura 16 | linha neutra corta a laje | 33 |
| figura 17 | linha neutra corta perfil | 33 |
| figura 18 | Software Ftool | 35 |
| figura 19 | Software Mcalc AC | 36 |
| figura 20 | Software Vigamix | 37 |
| figura 21 | Modelo de laje | 38 |
| figura 22 | laje caso 1 | 40 |
| figura 23 | vigas v1 e v3, caso 1 | 40 |
| figura 24 | DEC V1, caso 1 | 42 |
| figura 25 | DMF V1, caso 1 | 42 |
| figura 26 | Deslocamentos V1, caso 1 | 43 |
| figura 27 | V2 caso 1 | 45 |
| figura 28 | DEC V2, caso 1 | 46 |
| figura 29 | DMF V2 caso 1 | 46 |
| figura 30 | Deslocamentos V2 caso 1 | 47 |
| figura 31 | laje caso 2 | 49 |
| figura 32 | V1 e V3, caso 2 | 49 |
| figura 33 | DEC V1 caso 2 | 51 |
| figura 34 | DMF V1 caso 2 | 51 |

| | | |
|---|---|---|
| figura 35 | Deslocamentos V1 caso 2 | 51 |
| figura 36 | fig. 36: V2, caso 2 | 54 |
| figura 37 | fig. 37: DEC V2, caso 2 | 55 |
| figura 38 | fig. 38: DMF V2, caso 2 | 55 |
| figura 39 | Deslocamentos V2, caso 2 | 56 |
| figura 40 | laje caso 3 | 59 |
| figura 41 | V1 e V3, caso 3 | 59 |
| figura 42 | DEC V1, Caso 3 | 60 |
| figura 43 | DMF V1, Caso 3 | 61 |
| figura 44 | Deslocamentos V1, Caso 3 | 61 |
| figura 45 | V2 caso 3 | 64 |
| figura 46 | DEC v2, caso 3 | 65 |
| figura 47 | DMF V2, caso 3 | 65 |
| figura 48 | deslocamentos V2, caso 3 | 65 |
| figura 49 | laje caso 4 | 69 |
| figura 50 | seção da forma MF-50 | 69 |
| figura 51 | V1 e V3, caso 4 | 70 |
| figura 52 | DEC V1, caso 4 | 71 |
| figura 53 | DMF V1, caso 4 | 71 |
| figura 54 | deslocamentos V!, caso 4 | 72 |
| figura 55 | V2, caso 4 | 75 |
| figura 56 | DEC V2, caso 4 | 76 |
| figura 57 | DMF V2, caso 4 | 76 |
| figura 58 | deslocamentos V2, caso 4 | 77 |
| figura 59 | laje caso 5 | 80 |
| figura 60 | V1 e V3, caso 5 | 80 |
| figura 61 | DEC V1, Caso 5 | 82 |
| figura 62 | DMF V1, Caso 5 | 82 |
| figura 63 | Deslocamentos V1, Caso 5 | 83 |
| figura 64 | V2, caso 5 | 85 |
| figura 65 | DEC V2, Caso 5 | 87 |
| figura 66 | DMF V2, Caso 5 | 87 |
| figura 67 | Deslocamentos V2, Caso 5 | 87 |
| figura 68 | Frequências médias das vigas | 92 |
| figura 69 | Deslocamentos médios das vigas | 92 |
| figura 70 | consumo de aço | 93 |

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – bitolas stud bolts.....20
Tabela 2 – propriedades mecânicas studs.....22
Tabela 3 – classificação dos concretos estruturais.....24
Tabela 4 – comparação de normas.....30
Tabela 5 – combinações.....39
Tabela 6 – descrição dos casos.....90
Tabela 7 – resultados das vigas.....91

# LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ABC: Associação brasileira de concreto

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: Americam Society of Testing and Materials

AWS: American Welding Society

DOS: Disk Operating System ou sistema operacional em disco

EUROCODE 1: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION**.** Actions on structures

EUROCODE 4: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION**.** Design of composite steel and concrete structures

PUC: Pontifícia Universidade Católica

Ag : área bruta da seção transversal

cs : conector de cisalhamento

Cx: concreto com resistência característica a compressão de x=MPa

d : de cálculo

DMF: Diagrama de Momento Fletor

DEC: Diagrama de Esforço Cortante

EC : módulo de elasticidade do concereto

Ea : módulo de elasticidade do aço

F : força; valor de ação

f : mesa

g : ação permanente, gravidade

hf: altura da forma

f : frequência

fAP : flecha máxima devido à ação permanente no lançamento.

fcd : resistência de cálculo do concreto à compressão

fck : resistência característica do concreto à compressão

FG : valor característico das ações permanentes

FQ : valor característico das ações variáveis

fu : resistência à ruptura do aço à tração

fub : resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração

fucs : resistência à ruptura do aço do conector

fy : resistência ao escoamento do aço

fyd : resistência de cálculo ao escoamento do aço

G : módulo de elasticidade transversal do aço; centro geométrico da seção transversal

g: gravidade

I: momento de inércia

i : número de ordem

k : característico, nominal

L : vão; distância; comprimento

Li: Limite de escoamento

Lu: Limite ultimo de resistência

M : momento fletor

Mrd: Momento fletor resisitente

QRd : força resistente de cálculo de um conector de cisalhamento

q : ação variável

Rcd: Resistência de cálculo da laje na compressão

Rtd: Resistência de cálculo do perfil na tração

Rd : resistência de cálculo; solicitação resistente de cálculo

Sd : solicitação de cálculo

t : tração

tf : espessura da mesa

tw : espessura da alma

u : ruptura

w : alma

x : relativo ao eixo x

y : escoamento; relativo ao eixo y

$\delta$ : deslocamento; flecha

$\varphi$ : diâmetro de barra de armadura

$\gamma$: coeficiente de ponderação da resistência ou das ações

$\lambda$: índice de esbeltez; parâmetro de esbeltez

$\nu$ : coeficiente de Poisson

$\psi$ : fator de redução de ações; fator de combinação de ações

$\rho$ : massa específica

$\sigma$ : tensão normal

$\tau$ : tensão de cisalhamento

$\Sigma$ : somatório

$\Delta$: Dilatação, deformação

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO ..... 15
1.1 TEMA DA PESQUISA ..... 15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA ..... 15
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO ..... 15
1.4 OBJETIVOS ..... 15
1.4.1 Objetivo geral ..... 15
1.4.2 Objetivos específicos ..... 15
1.5 JUSTIFICATIVAS ..... 16
2. REVISÃO DA LITERATURA ..... 17
2.1 BREVE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO EM CONCRETO E AÇO ..... 17
2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS ..... 17
2.3 MATERIAIS ..... 18
2.4 TRABALHO CONJUNTO AÇO-CONCRETO ..... 25
3. METODOLOGIA ..... 35
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA ..... 35
3.2 SOFTWARES UTILIZADOS ..... 35
3.3 MODELOS PROPOSTOS ..... 38
4 DIMENSIONAMENTO E RESULTADOS PARA CADA CASO ..... 40
4.1 PRIMEIRO CASO: LAJE MACIÇA APOIADA ..... 40
4.1.1 Vigas V1 e V3 de extremidade ..... 40
4.1.2 Viga V2 intermediária ..... 45
4.2 SEGUNDO CASO: LAJE MACIÇA COM INTERAÇÃO TOTAL E VIGA APOIADA ..... 49
4.2.1 Vigas V1 e V3 de extremidade ..... 49
4.2.2 Viga V2 intermediária ..... 54
4.3 TERCEIRO CASO: LAJE MACIÇA COM INTERAÇÃO TOTAL SEM ESCORAS. ..... 59
4.3.1 Vigas V1 e V3 de extremidade ..... 59
4.3.2 Viga V2 intermediária ..... 64
4.4 QUARTO CASO: LAJE STEEL DECK ESCORADA ..... 69
4.4.1 VIGAS V1 E V3 DE EXTREMIDADE ..... 70
4.4.2 VIGA V2 INTERMEDIÁRIA ..... 75
4.5 QUINTO CASO: LAJE STEEL DECK SEM ESCORA ..... 850

4.5.1 VIGAS V1 E V3 DE EXTREMIDADE ..... 80
4.5.2 VIGA V2 INTERMEDIÁRIA ..... 85
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS ..... 90
6 CONCLUSÃO ..... 94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 96
ANEXOS ..... 98

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema da Pesquisa

Este é um trabalho de pesquisa e simulação de algumas configurações de estruturas mistas em concreto armado e perfis metálicos.

## 1.2 Delimitação do Tema

Estudo da interação entre elementos estruturais de lajes em concreto armado com vigas em perfis metálicos laminados. Traçando uma visão técnico-construtiva e comparativa sobre este tema ainda pouco pesquisado no Brasil, visto que em países europeus e norte americanos, é predominante a utilização de estruturas mistas de aço concreto, utilizando de vigas mistas e lajes mistas, inclusive em pontes.

## 1.3 Formulação da questão de estudo

Análise do comportamento de estruturas mistas dimensionadas para interação dos elementos com engastamento utilizando conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça e da mesma configuração de estrutura sem interação, lajes de concreto apenas apoiadas nas vigas metálicas.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo geral

Traçar um comparativo entre estes dois modelos de laje, maciça e steel deck, sendo cada um ainda comparado à respeito de construção escorada e não escorada (item 2.6.1 pg. 29), ainda para a laje de concreto as situações de interação total e simplesmente apoiada em viga de perfil laminado.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar os deslocamentos totais (flecha), peso de aço utilizado na viga mista e freqüência de cada modelo proposto.
- Dimensionar os conectores de cisalhamento para interação total da estrutura, quanto a comprimento, espessura e espaçamento, apresentar as características construtivas destes elementos.

### 1.5 Justificativas

O concreto e o aço são os materiais estruturais mais utilizados em todo o mundo, sendo a chave para o desenvolvimento da construção civil, por meio de estruturas de concreto ou estruturas de aço. Um tipo de associação desses dois materiais (concreto e barras de aço) já produziu o concreto armado, de uso eficiente e consagrado em grande parte das aplicações estruturais. Um novo passo para o uso ainda mais eficiente destes materiais é a utilização de concreto estrutural e perfis de aço. Poucos estudos foram realizados sobre este assunto, no Brasil as estruturas mistas ainda não são amplamente utilizadas, sendo basicamente usuais em São Paulo.

Suas características são a rápida execução, certificação ambiental (construção limpa e seca), diminuição das cargas sobre as fundações, praticidade em espaços restritos, apenas mão de obra especializada (mais segurança), possibilidade de concretar mais de uma laje simultaneamente, maior controle tecnológico, entre tantas outras vantagens ainda estudadas faz das estruturas mistas um tema de pesquisa necessário e interessante.

Comparar diretamente uma estrutura mista com interação total com outra estrutura semelhante sem interação (apenas escorada) utilizando dois modelos de laje, maciça e com forma metálica incorporada (steel deck), esta última sem escoramento direto tendo escorada apenas a viga metálica.

Sendo assim a verificação destes resultados e sua análise é justificada por ser tão interessante este tema ainda pouco desenvolvido no Brasil, apesar da norma NBR 8800 de 2008 já apresentar em 2003 um projeto de revisão da antiga norma NBR8800 de 1986.

# 2. REVISÃO DA LITERATURA

## 2.1 Breve histórico da construção em concreto e aço

O concreto é o produto plástico da mistura de aglomerantes e agregados que alcança rigidez após um período de cura. No concreto armado é adicionada uma armadura para resistir aos esforços de tração que o concreto puro não tem bom desempenho.

No Brasil a primeira norma ampla para concreto estrutural NB1 1940, veio da unificação de duas outras, norma de 1931 da ABC e da norma de 1937 elaborada pela associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Em 1801 foi construído o primeiro edifício industrial com estrutura metálica em Manchester (Reino Unido), neste século diversas obras foram realizadas, inclusive o Palácio de cristal em Petrópolis (RJ), inspirado no Palácio de cristal de Londres.

Após a primeira guerra mundial a construção civil passou a utilizar o potencial produtivo siderúrgico conquistado na indústria armamentista para reconstrução da Europa e os perfis metálicos passaram a ser um dos principais insumos da construção, assim como o concreto.

## 2.2 Elementos estruturais

A NBR 6118:2003 no seu item 14.4 define que “as estruturas podem ser idealizadas como a composição de elementos estruturais básicos, classificados e definidos de acordo com a sua forma geométrica e sua função estrutural”. Portanto, a estrutura ao ser idealizada passa a apresentar diversos elementos que podem ser caracterizados a partir de sua geometria e carregamentos preponderantes ao qual estão submetidos.

### 2.2.1 Elementos lineares

Os elementos lineares são aqueles que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal da barra. (NBR 6118:2003).

(FONTES, 2005) lembra que “a principal característica dos elementos lineares (barras) é ter uma das dimensões bem superiores que as restantes”. Os elementos lineares mais comuns de acordo com sua função estrutural podem ser divididos em:

I) *Vigas:* onde os efeitos da flexão são preponderantes, normalmente encontrados na horizontal;

II) *Pilares:* elementos de eixo reto, onde as forças normais de compressão são preponderantes;

III) *Tirantes:* elementos idênticos aos pilares, entretanto, os esforços normais de tração são preponderantes;

IV) *Arcos:* elementos curvos, onde as forças normais de compressão são preponderantes em que agem conjuntamente esforços de flexão.

### 2.2.2 Elementos de superfície

A NBR 6118:2003 define como elementos em que uma das dimensões é relativamente pequena se comparada às demais. Os elementos de superfície mais comuns de acordo com sua função estrutural podem ser divididos em:

I) *Placas:* elementos sujeitos principalmente a esforços normais a seu plano, quando dispostas na horizontal são chamadas de lajes;

II) *Chapas:* elementos sujeitos principalmente a forças contidas no seu plano, quando dispostas na horizontal são denominadas viga-parede e dispostas na vertical são chamados de pilar-parede;

III) *Cascas:* elementos de superfície não planos.

## 2.3 Materiais

Neste estudo trabalhamos basicamente com concretos, aço estrutural, conectores de cisalhamento e formas de aço incorporadas, componentes característicos das estruturas mistas em concreto e aço.

### 2.3.1 Conectores de cisalhamento

No caso de vigas mistas, para um comportamento adequado desse elemento estrutural faz-se necessária a interação entre ambos os materiais, a qual é garantida por elementos metálicos denominados conectores de cisalhamento, cujas principais funções são a de transferir fluxo de cisalhamento na interface da viga mista, bem como impedir a separação vertical entre laje de concreto e perfil de aço, movimento conhecido como “uplift”, garantindo assim a interação dos elementos obtendo comportamento uniforme.

Os conectores de cisalhamento são classificados em flexíveis e rígidos. Nesse trabalho é estudado o comportamento apenas dos conectores flexíveis, em particular o tipo pino com cabeça (stud bolt).

#### 2.3.1.1 Pinos com cabeça ou Stud Bolt

São o tipo mais utilizado de conectores de cisalhamento em estruturas de porte robusto, os stud bolts fazem a integração entre as partes de aço e concreto.

Foram desenvolvidos na Inglaterra na década de 1940 pela Nelson Stud Welding, é um pino especialmente projetado para funcionar como eletrodo que por meio de arco elétrico é soldado em perfil laminado ou forma de aço incorporada (steel deck) e após sua fixação age como conector de cisalhamento.

Possui cabeça com dimensões padronizadas para cada diâmetro (tabela1), aqui neste trabalho será utilizado apenas o pino mais usual, de diâmetro 19 mm ou 3/4”, nos comprimentos de 80 mm para as lajes de concreto armado tradicional e de 105 mm para as lajes com forma de aço incorporada.

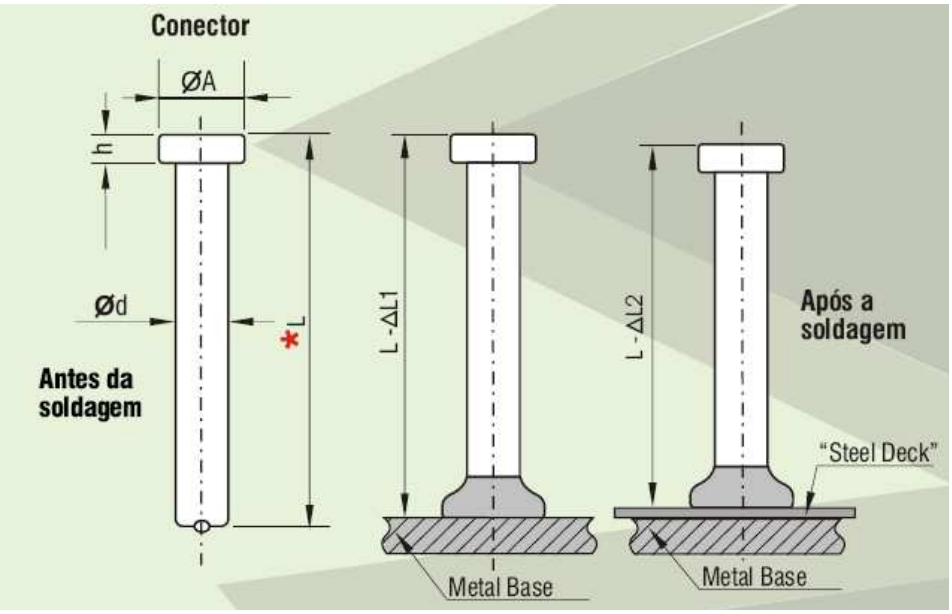



Fig.1: descrição do Stud bolt: fonte catálogo ciser

| Bitola φd | Comprimento (L) | Cabeça | | Tipo de cerâmica | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Diâmetro φA | Altura h | Nome | Instalação |
| 3/4" (19mm) | 3,1/8" (80mm) | 32mm Nominal | 9,5mm Mínima | MB | Perfil |
| | 4,1/8" (105mm) | | | SD | Forma |
| | 4,3/4" (120mm) | | | SD | Forma |
| | 5,3/8" (135mm) | | | MB | Perfil |
| | 5,3/8" (135mm) | | | SD | Forma |
| 7/8" (22mm) | 3,11/16" (93mm) | 35mm NominAL | 9,5mm Mínima | MB | Perfil |
| | 4,3/16" (106mm) | | | | |
| | 5,3/16" (132mm) | | | | |
| | 6,3/16" (157mm) | | | | |
| | 7,3/16" (182mm) | | | | |
| | 8,3/16" (208mm) | | | | |

Tabela 01: Bitolas Stud bolts.

Fig. 2: Tipos de cerâmica de soldagem.

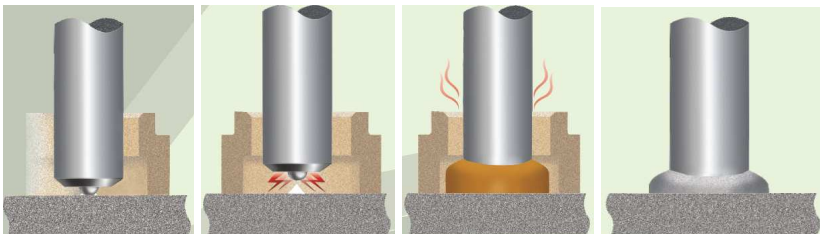


Fig. 3: processo de soldagem dos Studs: fonte catálogo ciser

Fig.4: Stud bolts fixados sobre perfil

**Características mecânicas do Stud Bolt:**

Para fabricação dos pinos conectores é utilizado aço ASTM A-108 grau 1020, com resistência mínima a tração de 450 MPa e limite de escoamento superior a 350 MPa como na tabela 2 abaixo. E para dimensões na tabela 01, na prática, apenas o diâmetro de 19 mm é utilizado em estruturas de edificações usuais.

Para a redução do pino após a soldagem são admitidos os seguintes valores:

$\Delta L1$ = 5 mm, para solda direta na viga;

$\Delta L2$ = 9 mm, para solda na forma incorpodara (steel deck).

| PROPRIEDADES MECÂNICAS | Aço baixo carbono |
|---|---|
| Limite de escoamento (0,2%) | 350 MPa mín. |
| Limite de resistência (MPa) | 450 MPa mín. |
| Alongamento (% em 50 mm) | mín. de 20% |
| Redução de área | mín.de 50% |

Tabela 02: Propriedades mecânicas dos aços dos conectores.

.

A NBR 8800 de 2008 ainda prevê outros dois tipos e conectores de cisalhamento, os perfis U laminados e ou formados a frio, não estudados neste trabalho.

### 2.3.2 Aço estrutural

Os aços padronizados mais utilizados em construção civil são listados a seguir.

Formas estruturais laminadas a quente: A36/A36M, A529/A529M, A572/A572M, A588/A588M, A709/A709M, A913/A913M, A922/A922M. Os mais freqüentemente utilizados na construção civil são A36/A36M e A572/A572M.

O aço estrutural a ser empregado na estrutura deve ser especificado para a sua superfície o grau de corrosão aceitável, entre os seguintes:

I) Substrato de aço sem corrosão, com carepa de laminação ainda intacta;

II) Substrato de aço com início de corrosão e destacamento da carepa de laminação;

III) Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou que possa ser removida por raspagem, com pouca formação de cavidades visíveis (pites);

IV) Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e com grande formação de cavidades visíveis (pites).

No anexo A está disponibilizada uma tabela com os aços para uso estrutural especificados por normas brasileiras e no anexo B uma tabela das equivalências para diversas especificações internacionais.

### 2.3.3 Concretos

O concreto é o material mais utilizado na construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, além de outros materiais eventuais, os aditivos e adições.

#### 2.3.3.1 Concreto estrutural

Termo que se refere ao espectro completo da aplicação do concreto como material estrutural. Os concretos são classificados, segundo a NBR 8953/ 1992 em grupos de resistência, grupo I e grupo II (tabela 3), conforme a resistência característica à compressão (fck), determinada a partir do ensaio de corpos de prova preparados de acordo com a NBR 5738 e rompidos conforme a NBR 5739.

#### 2.3.3.2 Concreto leve

Nas estruturas mistas, é o concreto utilizado para proteção contra calor e meios agressivos nos perfis de aço, dando aspecto de estrutura convencional em concreto armado à estrutura mista. Não exerce função estrutural, ou seja sua resistência é desconsiderada em projeto, apesar de seu peso ser adicionado ao carregamento. É definido e classificado conforme NBR 9778, possuem massa seca específica inferior a 1800kg/m³, são designados pelo símbolo CL (concreto leve) seguido do valor da resistência característica à compressão (fck), expressa em MPa, utilizando-se dos valores das tabelas de concreto estrutural (tabela 3).

| Classes de resistência do grupo I | |
|---|---|
| **Grupo I de resistência** | **Resistência característica à compressão Mpa** |
| **C10** | **10** |
| **C15** | **15** |
| **C20** | **20** |
| **C25** | **25** |
| **C30** | **30** |
| **C35** | **35** |
| **C40** | **40** |
| **C45** | **45** |
| **C50** | **50** |
| **Classes de resistência do grupo II** | |
| **Grupo II de resistência** | **Resistência característica à compressão Mpa** |
| **C55** | **55** |
| **C60** | **60** |
| **C70** | **70** |
| **C80** | **80** |

Tabela 3: Classificação dos concretos estruturais

**Módulo de elasticidade do concreto**

A equação a seguir apresenta o módulo de elasticidade secante do concreto, sendo fck a resistência característica do concreto à compressão e Ec o modulo de elasticidade do concreto, ambos em MPa, para a situação usual em que a verificação da estrutura se faz em data igual ou superior a 28 dias.

$$E_c = 4760\sqrt{f_{ck}}$$

### 2.3.4 Forma de aço incorporada (Steel Deck)

A forma de aço incorporada é um material que possui basicamente duas funções, a de forma autoportante para lajes de concreto e de armadura positiva para cargas de serviço.

O catálogo utilizado neste trabalho é da METFORM que oferece espessuras de 0,80 mm, 0,90 mm e 1,25 mm com comprimento de até 12,0 m. Tanto para o MF-50 (50,0 mm de *hf*) quanto para MF-75 (75,0 mm de *hf*), até 2,6 m a forma dispensa escoramento, neste trabalho foi utilizada forma com 2,5 m de vão efetivo. A NBR 8800 de 2008 (anexo O, item O.2.6.1) limita as lajes compostas por forma de aço incorporada.

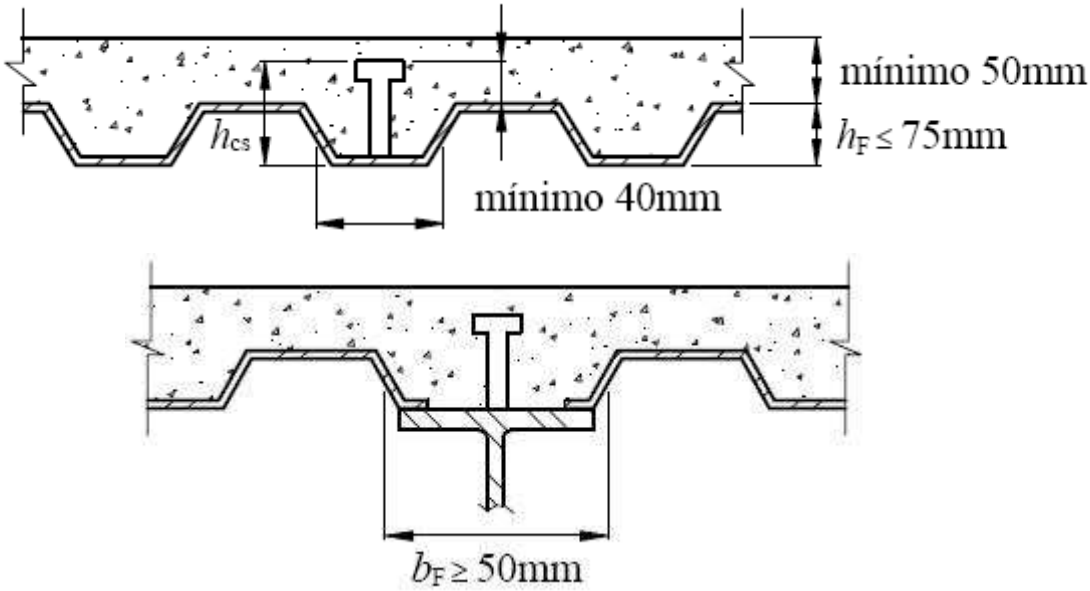



Fig. 5: lajes com formas de aço; fonte NBR8800 2008

### 2.4 Trabalho conjunto aço-concreto

A ação de interação total de elementos distintos resulta no comportamento uniforme da estrutura mista, deformando como um único elemento e aumentando a rigidez da estrutura, não havendo deslizamentos na interface e obtendo uma distribuição uniforme das tensões ao longo do elemento misto, desde que tenha interação total (100%).

Numa estrutura mista aço concreto, o aço é utilizado na forma de perfis laminados, dobrados ou soldados, aqui apenas perfis laminados foram utilizados, que trabalham em conjunto com o concreto simples ou armado. Existem diversas maneiras de fazer com que o

perfil de aço trabalhe em conjunto com o concreto. Para garantir o comportamento conjunto (misto) deve-se garantir que os materiais aço e concreto se deformem como um único elemento (Figura 7).

A interação aço-concreto pode ser mecânica, a partir da utilização de conectores de cisalhamento, mossas, saliências, por atrito, etc.

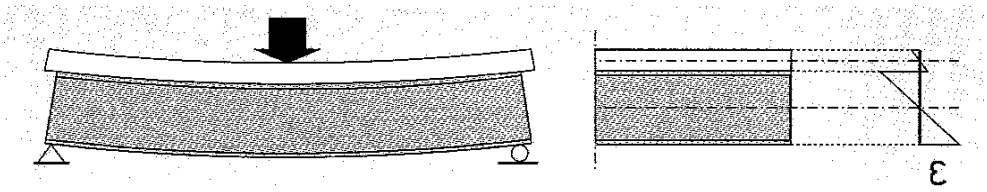



Fig. 6: sem interação

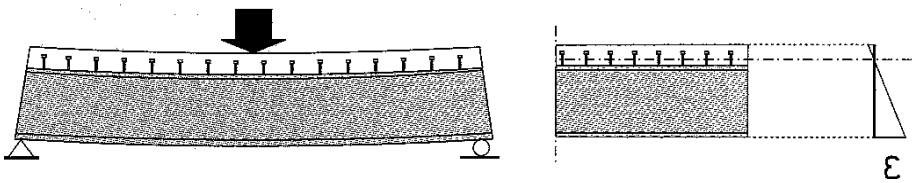



Fig. 7: com interação, ação mista.

Em vigas mistas a interação é garantida pela conexão entre concreto e perfil de aço por meio de conectores de cisalhamento, que podem ser flexíveis (pino com cabeça ou stud bolt) ou rígidos (perfil U). A classificação entre rígidos e flexíveis está ligada à ductilidade da ligação. Os conectores são dimensionados para o fluxo de cisalhamento longitudinal entre a seção de momento máximo e momento nulo.

A estrutura mista com interação total, tem a linha neutra elástica (LNE) definida entre a região de compressão do concreto e a de tração do perfil metálico, basta fazer a verificação da resistência a flexão para cada região e adotar o menor valor, na região mais resistente estará posicionada a LNE. O valor da força resistente de cálculo para o cisalhamento da seção mista ($F_{hrd}$) é o menor dos seguintes valores:

Resistência de cálculo da laje à compressão *Rcd*:

$$R_{cd} = \frac{0{,}85 f_{ck}}{1{,}4} b t_c$$

onde:

- fck em MPa
- b em cm
- tc em cm

Resistência de cálculo do perfil a tração *Rtd*: $$R_{td} = A\frac{f_y}{1{,}1}$$

onde:

- A em cm²
- fy em MPa

Quando *Rcd* for superior a *Rtd*, a LNE estará localizada na porção de concreto da seção composta, caso contrário (*Rtd* > *Rcd*) estará localizada no perfil de aço.

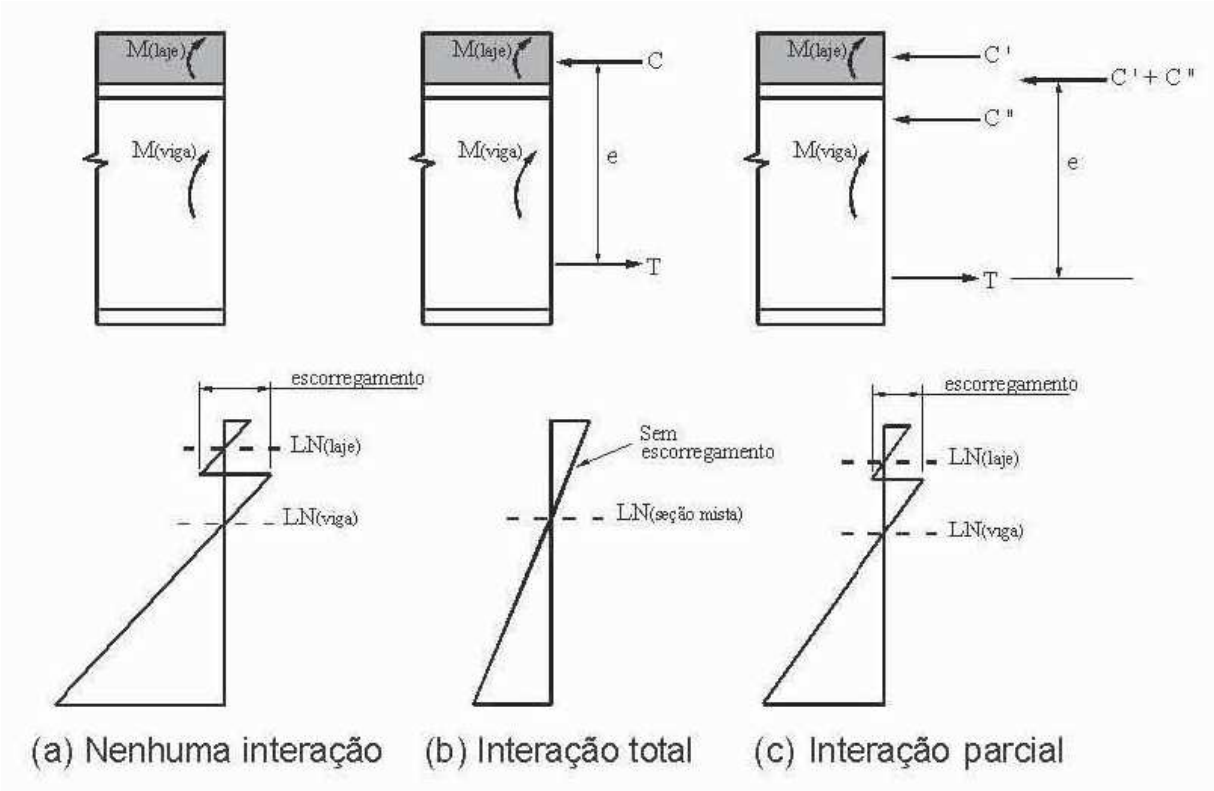



Fig. 8: Posição da LNE

**2.5 Configurações de estruturas mistas**

São muitas as possibilidades de conjugar elementos distintos em um sistema estrutural misto, abaixo são apresentados alguns exemplos de vigas e lajes mistas, compostas por concreto armado e aço.

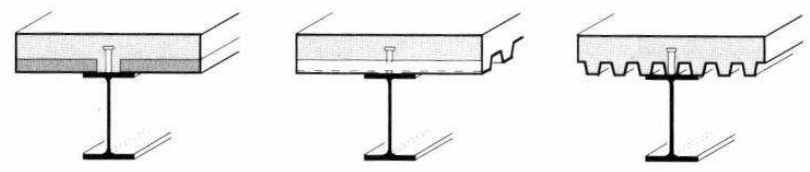


Fig. 9: Modelos de vigas mistas

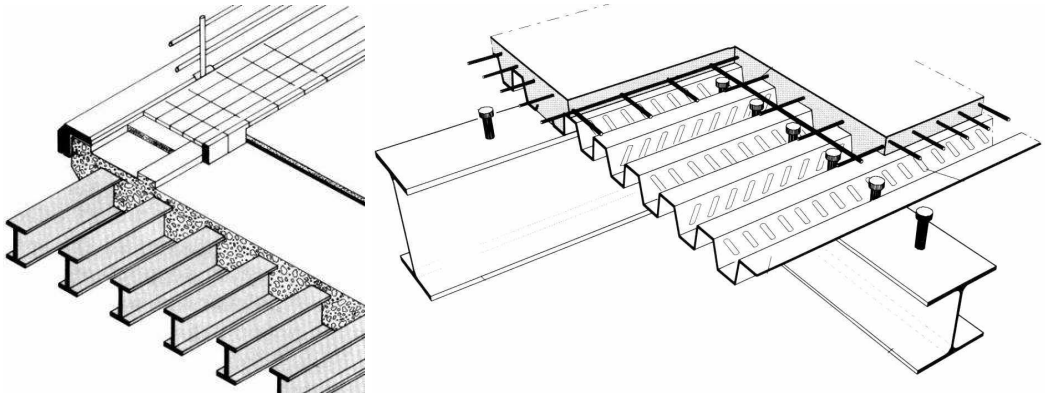


Fig10: Modelos de lajes mistas

### 2.6 Dados da viga mista

#### 2.6.1 Sistema de construção escorada e não escorada

As vigas mistas podem ser calculadas prevendo-se escoramento do perfil ou sem escora. Essa característica influencia a análise e determina as condições de carregamento a serem consideradas no cálculo. No caso de construção não-escorada, o perfil metálico deve possuir capacidade suficiente para suportar todas as cargas atuantes antes da cura do concreto. Nessa situação, a viga é verificada em duas fases distintas: primeiramente apenas o perfil de aço isolado para as cargas (VSd1 e MSd1) que atuam antes da cura do concreto; posteriormente a viga mista para as cargas totais.

#### 2.6.2 Largura efetiva na laje

A largura da faixa de laje que trabalha em conjunto em uma viga de aço recebe o nome de largura efetiva da laje (fig. 11). Para isto, é indispensável que as vigas metálicas e a laje sejam unidas pelos conectores de cisalhamento.

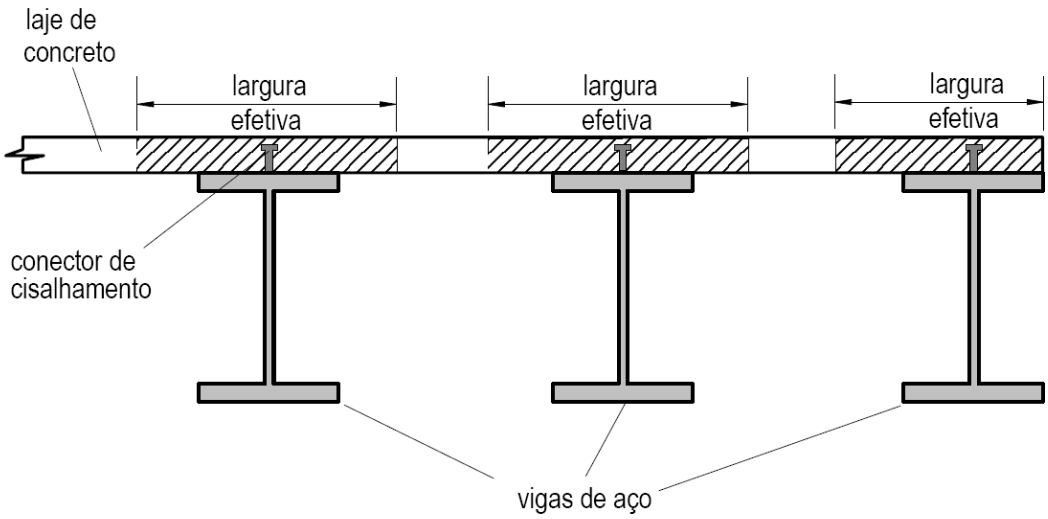



Fig11: Largura efetiva na laje

Na composição da largura efetiva da laje temos b1 e b2, que são as larguras efetivas a considerar para cada lado da viga, cada qual não sendo superior a:

- 1/8 do vão da viga, medido de centro a centro dos apoios;
- metade da distância até a linha de centro da viga adjacente;
- distância eixo perfil até à face da laje.

A análise teórica da largura efetiva envolve a teoria da elasticidade, de onde se conclui que o valor de b' (largura concreto) depende do vão da viga, do tipo de carregamento, das condições de contorno, da posição da seção em relação ao vão, entre outras variáveis.

A intensidade da tensão de compressão na fibra extrema da laje, fc, é máxima sobre a viga de aço e decresce não linearmente à medida que se vai distanciando do eixo da viga. Assim, a contribuição da mesa de concreto não é totalmente efetiva, levando ao conceito de largura colaborante ou largura efetiva. A largura real é então substituída por uma largura fictícia b, de tal forma que o produto b.fcmax seja equivalente ao efeito da variação de fc sobre a largura real (fig. 12, Queiroz, 2001).

onde:

- fcmax em MPa
- b em cm

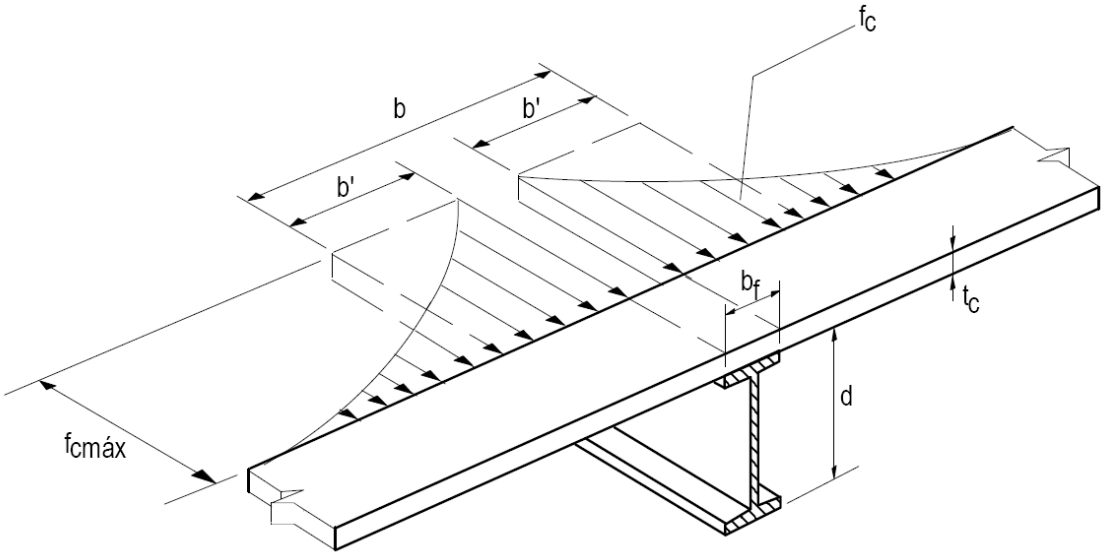



Fig12: Espessura efetiva da laje, fonte: Queiroz, 2001

Para fim de comparação, segundo a norma da AASHTO para pontes em estrutura mista, a largura efetiva da laje de concreto que contribui para a resistência da viga mista é função do vão da viga, da distância entre vigas e também da espessura da laje.

Já segundo a norma DIN alemã, a largura efetiva resulta de uma função mais complexa, utilizando de tabela e ábaco. A norma americana é mais conservadora que a alemã e a brasileira. Para uma mesma situação de viga mista semelhante às adotadas neste trabalho, foi dimensionada a largura efetiva pelas três normas (tabela 4).

| **NORMAS** | **bef (cm)** | |
|---|---|---|
| | **Extremidade** | **Intermediária** |
| **AASHTO** | **41,6** | **120,0** |
| **DIN** | **97,0** | **185,5** |
| **NBR8800** | **68,0** | **125,0** |

Tabela 4: Comparação normas para bfe

### 2.6.3 Espessura efetiva da laje

A espessura efetiva da laje (tc) (fig. 13), para o caso de lajes mistas, ou seja, com forma de aço incorporada, é a faixa de concreto acima da nervura do deck (forma), para lajes maciças é a altura de concreto.

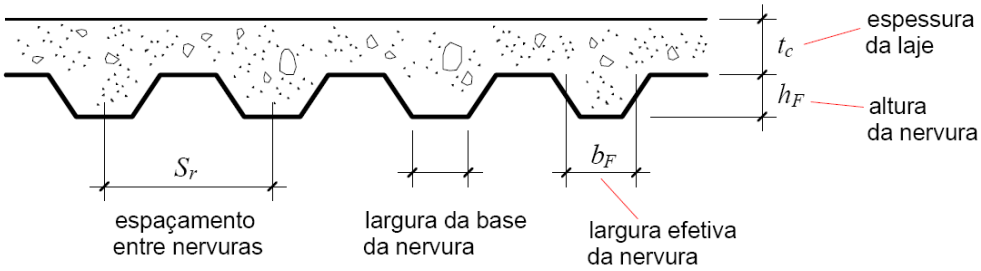



Fig13: Espessuras da laje (tc) e forma (hF)

### 2.6.4 Armadura adicional

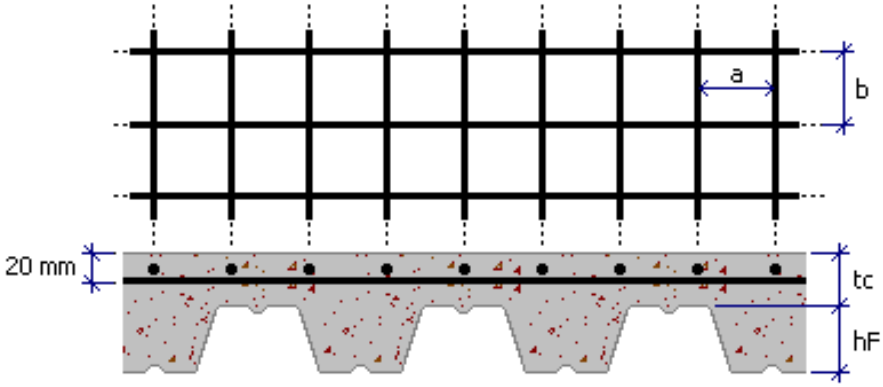



Fig14: Corte, fôrma e detalhe da armadura

Na viga mista com forma de aço incorporada, na região colaborante de concreto (largura efetiva) deve ser prevista uma armadura adicional em tela de aço soldada para receber esforços de retração e fissuração do concreto.

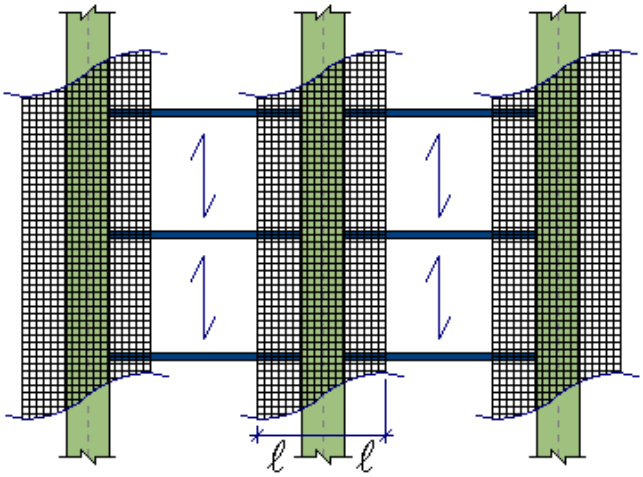



Fig15: Armadura em planta

O fabricante da forma utilizada (METFORM) fornece uma tabela (ANEXO METFORM C) obedecendo às prescrições da NRB8800 e NBR6118.

Neste trabalho as lajes mistas têm espessura final de 12 cm, e segundo recomendações do fabricante a armadura adicional deve ser a seguinte.

**φ3,8 x φ3,8 mm**

**a = 150 mm**

**b = 150 mm**

**peso de 1,21 kg/m²**

onde:

- a e b são os espaçamentos da tela de aço na armadura de fissuração, em mm.

### 2.6.5 Posição da linha neutra plástica

A posição da linha neutra é dada pela distancia "a" do topo da laje que é resultado da equação abaixo, 0,85.fck corresponde a compressão do concreto e A.fy a tração no perfil.

$$\frac{0{,}85 f_{ck}}{1{,}4} ba = A\frac{f_y}{1{,}1} \Rightarrow a = \frac{A\dfrac{f_y}{1{,}1}}{\dfrac{0{,}85 f_{ck}}{1{,}4} b}$$

onde:

- fck e fy em MPa
- b em cm
- a em cm (posição da linha neutra)
- A em cm²

Na seção comprimida a força resistente de plastificação (Rcd) da laje de concreto é calculada como segue na equação abaixo, e quando for superior a força resistente de plastificação (Rtd) do perfil, ou seja, Rcd>Rtd, a linha neutra plástica corta a laje como indicado na figura 16, caso contrário, Rtd>Rcd, cortará o perfil metálico ilustrado na figura 17.

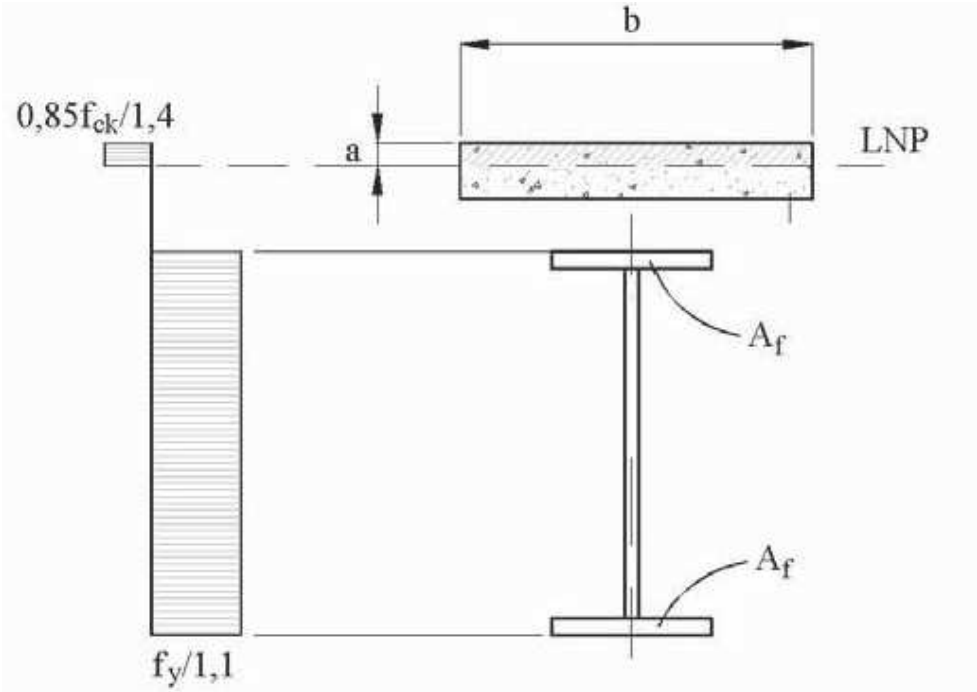



Figura 16: linha neutra corta a laje

Para o caso da força resistente de plastificação quando Rtd>Rcd, são dois os casos possíveis, a linha neutra plástica passando pela mesa superior ou passando pela alma do perfil, caso da figura 17.

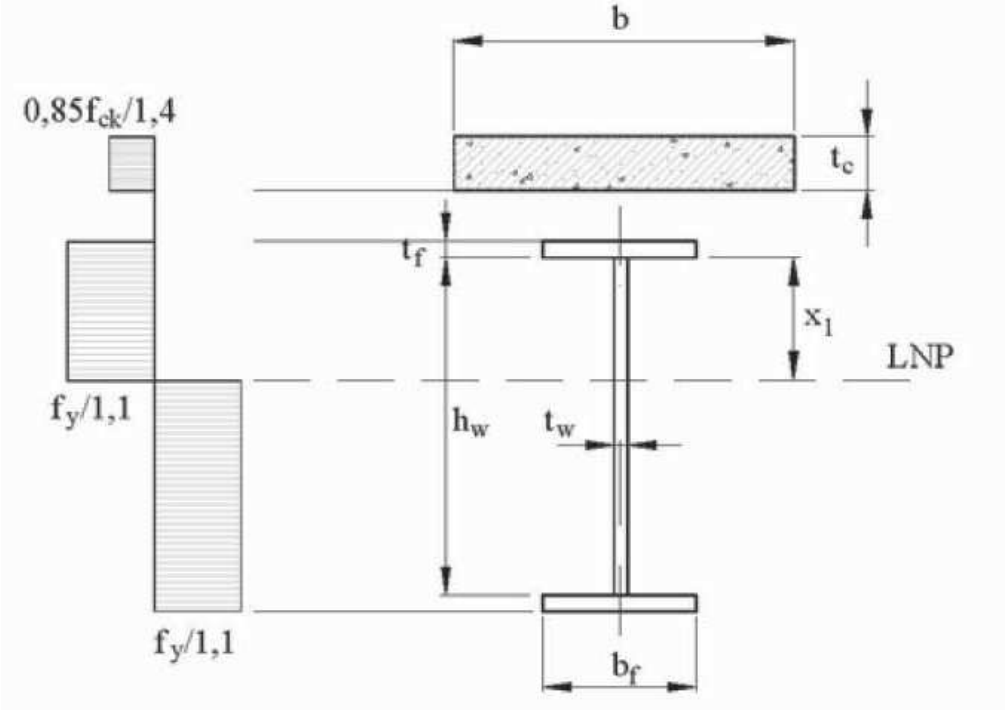



Figura 17: linha neutra corta perfil

### 2.6.6 Frequência da viga mista (f)

Este parâmetro deve ser observado para estruturas de pisos com grandes vãos, pois vibrações podem causar desconforto e prejuízo na utilização de equipamentos que exigem estabilidade para sua operação. Na NBR 8800 de 2008, têm se uma breve avaliação simplificada que orienta a questão de vibrações em pisos causadas por atividades humanas normais e para estas ações devem ser utilizadas as combinações freqüentes de serviço. Observando tais recomendações para este trabalho foi adotada como freqüência mínima aceitável quatro hertz (4 Hz) e deslocamento máximo devido vibrações de 14,30 mm, pois o vão é de 5,0 m e o deslocamento máximo prescrito na norma é de vão/350 para vigas de piso.

Para o cálculo da freqüência em uma avaliação mais precisa utilizando softwares seguem os parâmetros e a equação.

E (N/mm2) Módulo de elasticidade do aço

Itr (mm4) Inércia da seção transformada (mista)

W (N/mm) Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

L (mm) Vão da viga mista

$$f = 156 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{tr}}{w \cdot L^4}}$$

# 3. METODOLOGIA

## 3.1 Classificação do estudo

Este trabalho tem importância exploratória, visto que é um estudo de caso com objetivo de proporcionar uma maior familiaridade com o problema de dimensionamento de estruturas mistas, também explicativa, uma vez que este tema é uma pauta pouco abordada em trabalhos de pesquisa (dimensionamento).

## 3.2 Softwares utilizados

Foram utilizados softwares de análise e dimensionamento que tornaram possível a realização de diversas simulações até a concepção dos modelos apresentados, estes softwares utilizados foram os seguintes:

### 3.2.1 Ftool

O Ftool (Two-dimensional Frame Analysis Tool) foi desenvolvido inicialmente em 1992 para plataforma DOS tendo por idealizador o professor Luiz Fernando Martha do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio onde participaram alunos de graduação para a implementação deste programa. O programa utiliza uma biblioteca de funções HED (*Half-Edge Data struture*), para representação interna dos dados. Utilizado para gerar os diagramas de esforço cortante e normal, momento fletor e deslocamentos.

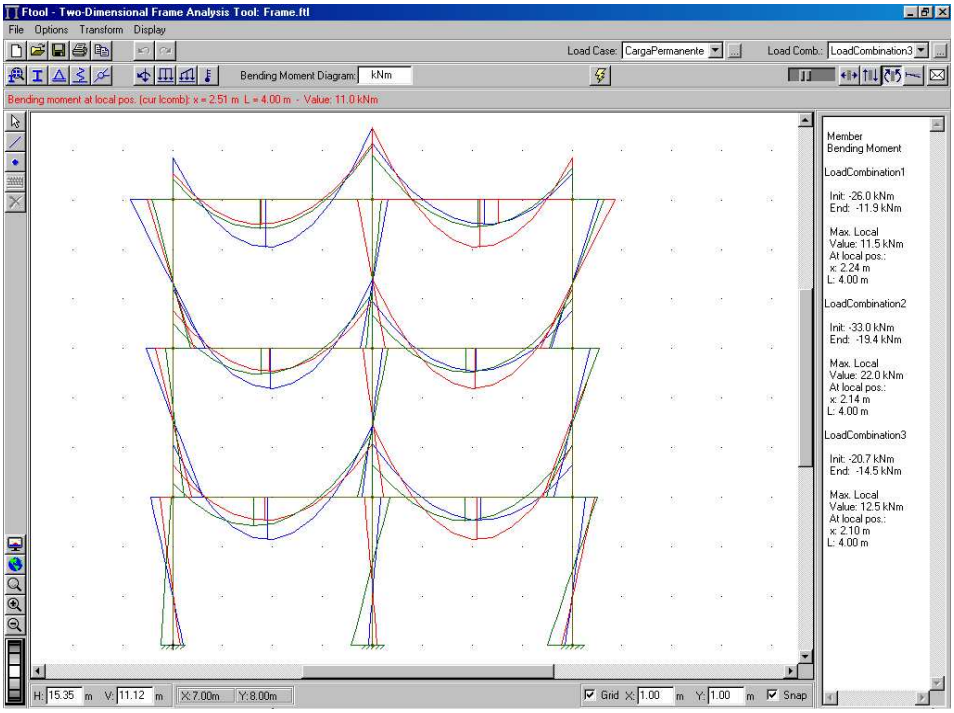



Fig18: Software Ftool

### 3.2.2 Mcalc Aço concreto

O Mcalc_AC (fig. 17) é um programa desenvolvido pela Stabile Engenharia LTDA que funciona como uma calculadora para o calculo de vigas e colunas mistas aço-concreto, o módulo utilizado foi o de vigas mistas, fornece dados dos elementos a serem utilizados como o concreto, o perfil laminado o tipo de forma e o conector de cisalhamento.

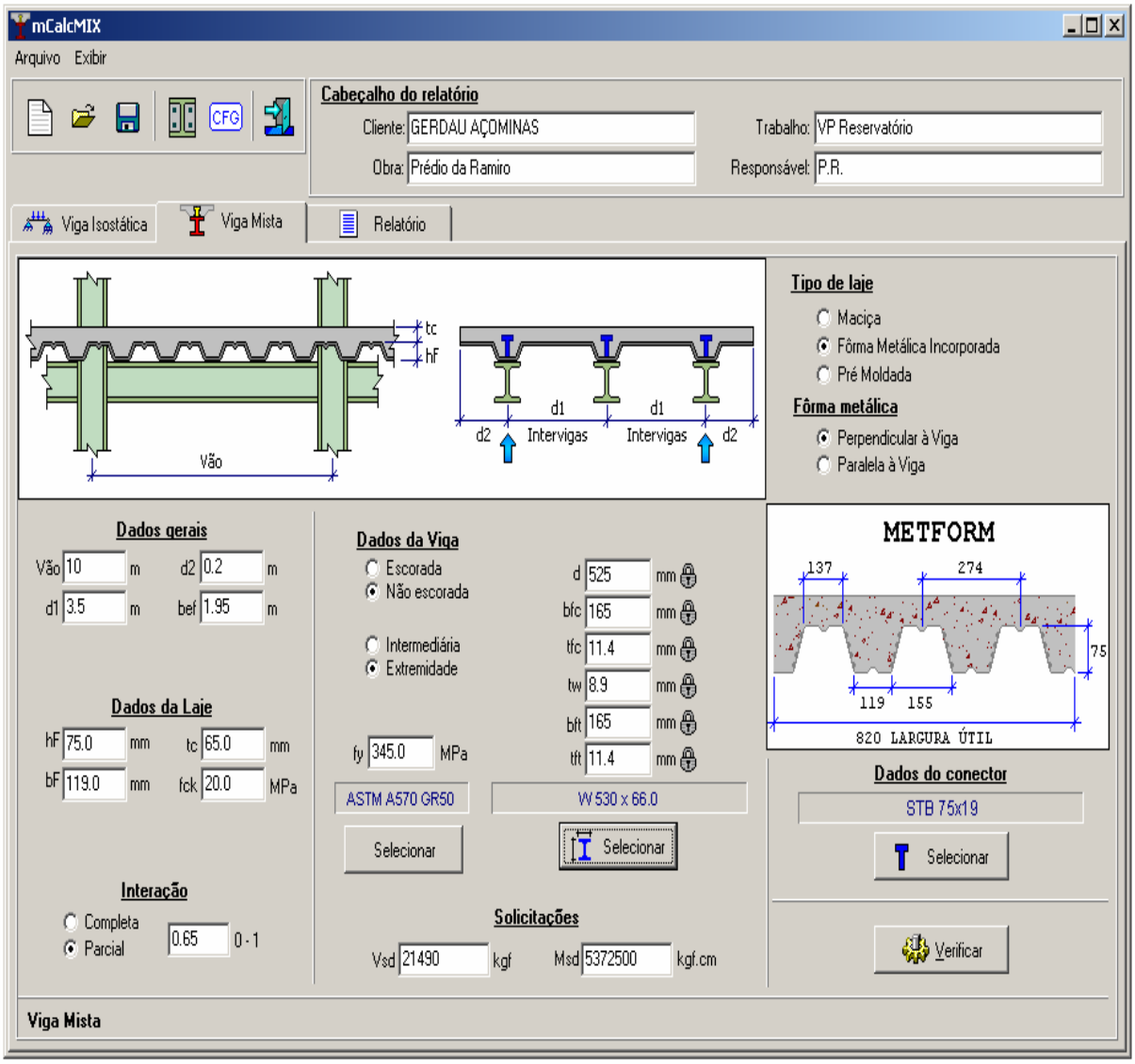



Fig. 19: Software Mcalc AC

### 3.2.3 Desmet, Autoperfil e Vigamix

Estes três softwares foram produzidos pelo departamento de engenharia civil da Universidade Federal de Viçosa. O desmet, utilizado para o dimensionamento de elementos estruturais metálicos, em conjunto com o autoperfil que gerencia catálogos de fornecedores de formas, conectores, perfis, eletrodos, caracterizando cada elemento em sua dimensões e características de resistência. O Vigamix (fig. 18) é um software para análise e dimensionamento paramétrico de vigas mistas de edifícios, segundo os procedimentos recomendados pela NBR8800/86 – "*Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios*".

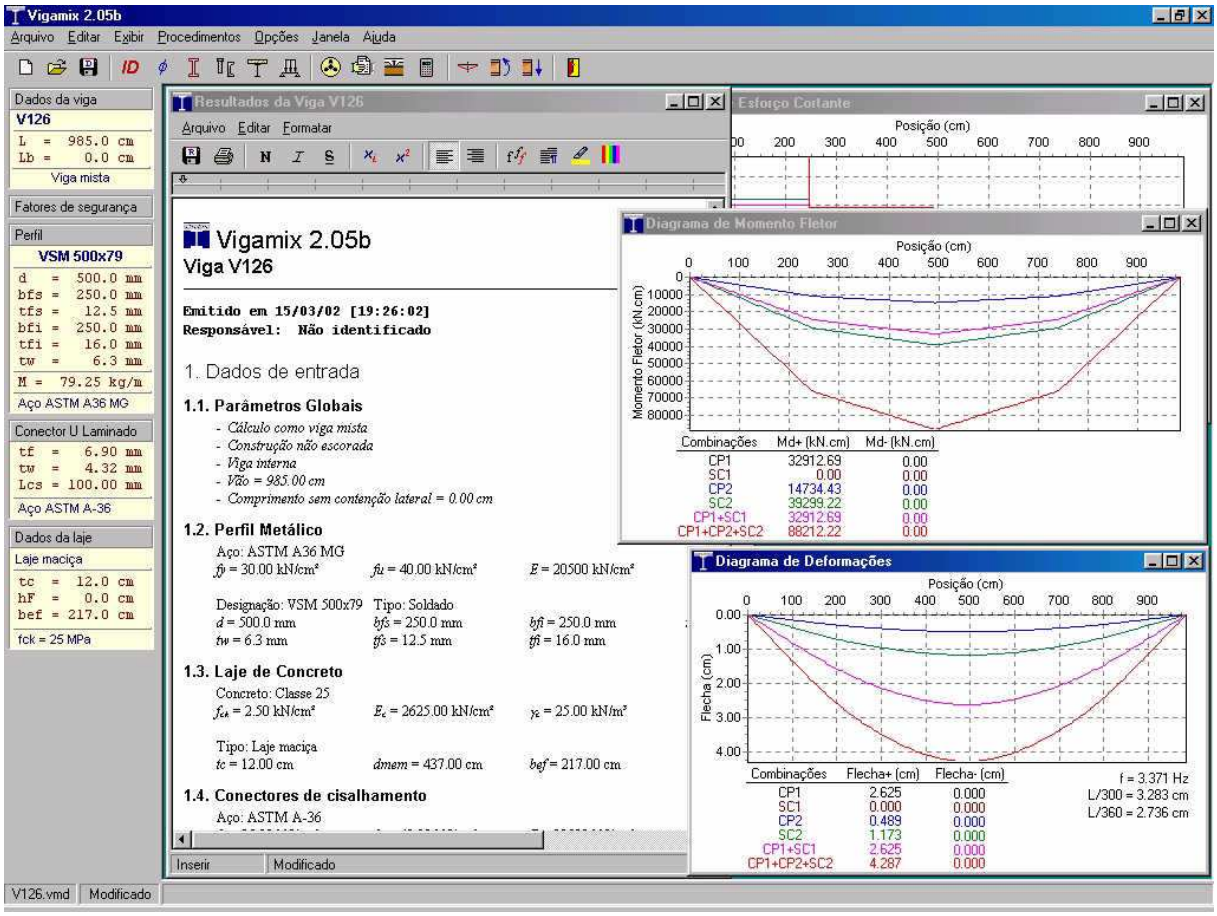



Fig. 20: Software Vigamix

### 3.3 Modelos Propostos

Para a determinação das características das vigas mistas, na situação de edificação residencial habitual foi proposta uma estrutura composta de lajes utilizando de concreto com fck de 25 MPa, de 5,0 m por 5,0 m e altura da laje indicada em cada caso, apoiada sobre 3 vigas, uma intermediária e duas de extremidade que descarregam cargas concentradas sobre duas vigas transversais às vigas mistas conforme figura 21, este trabalho consiste no dimensionamento apenas das vigas (V1, V2 e V3) de ação simples no caso 1 e de ação mista nos casos 2 a 5. As vigas V4 e V5 por terem carregamentos concentrados das reações das vigas V1, V2 e V3, não fazem parte deste trabalho que tem como enfoque as vigas mistas.

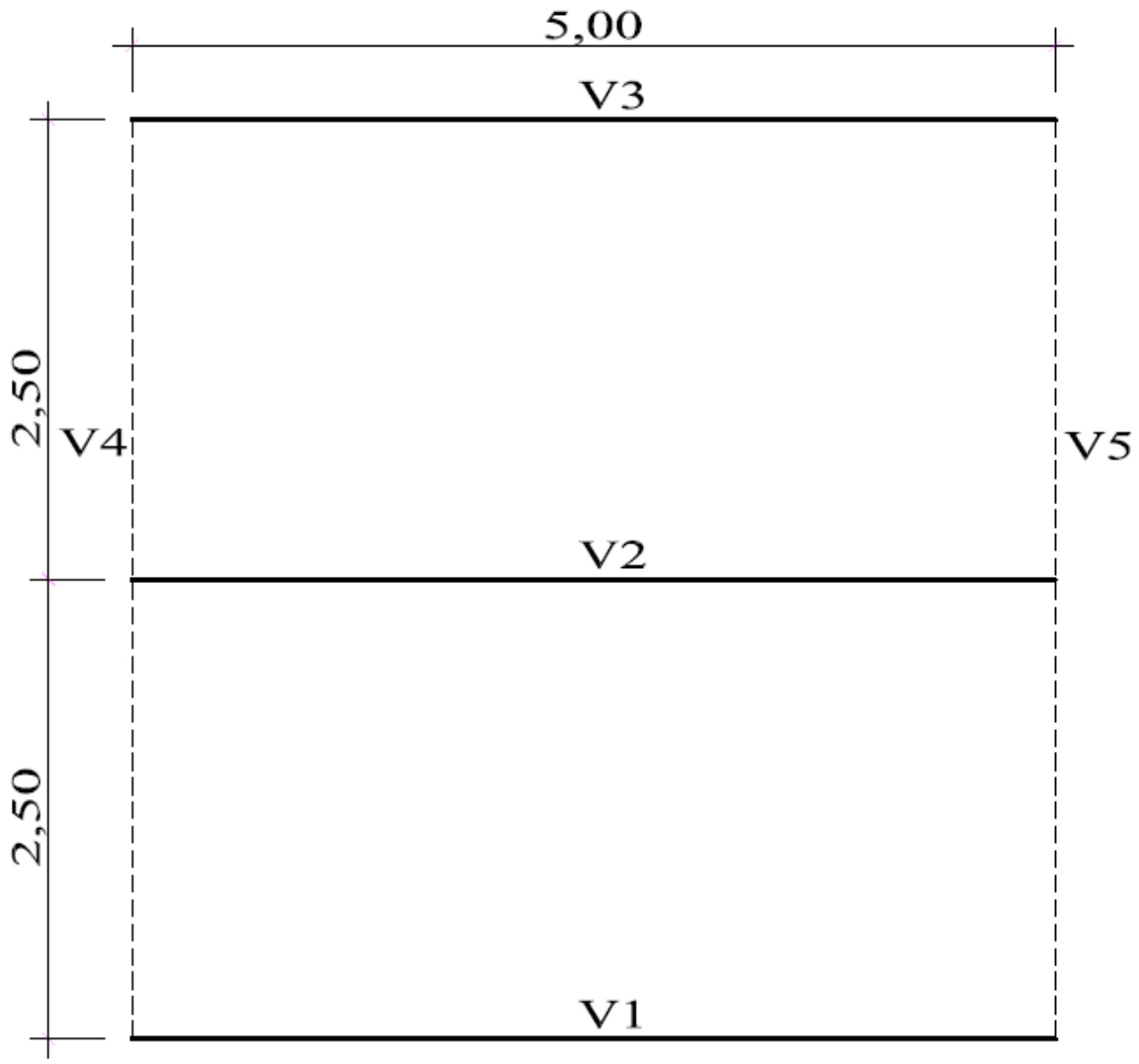



fig. 21:. Modelo de laje

As combinações de ações utilizadas estão apresentadas na tabela 5, empregando os coeficientes de ponderação de antes da cura do concreto apenas para os casos de construção não escorada.

| COMBINAÇÃOS PARA O DIMENCIONAMENTO | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **AP antes cura (γ)** | **SC antes cura (γ)** | **AP depois cura (γ)** | **SC depois cura (γ)** |
| **Combinação 1** | **1,4** | **1,5** | **-** | **-** |
| **Combinação 2** | **1,4** | **-** | **1,4** | **1,5** |
| **COMBINAÇÃO PARA CÁLCULO DA FLECHA** | | | | |
| | **AP antes cura (ψ)** | **SC antes cura (ψ)** | **AP depois cura (ψ)** | **SC depois cura (ψ)** |
| **Combinação 3** | **1** | **-** | **-** | **-** |
| **Combinação 4** | **-** | **-** | **1** | **1** |

Tabela 5: Combinações

onde:

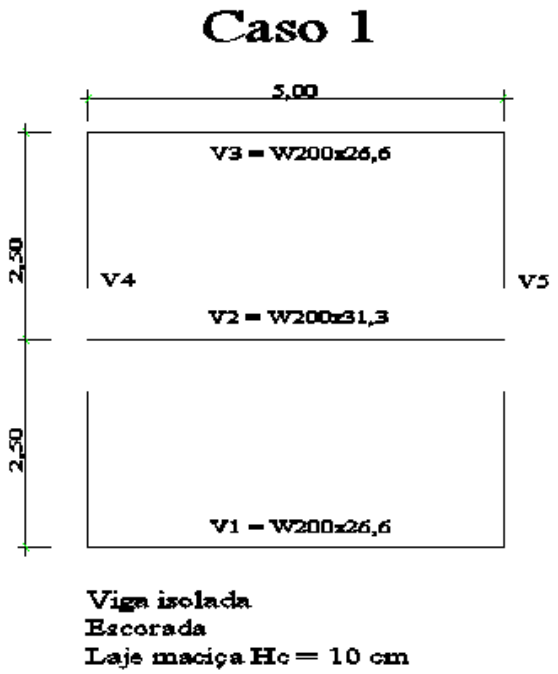
- AP = ação permanente
- SC = sobrecarga de Lançamento

A flecha máxima ($\delta_T$) deve ser inferior a vão/350, deslocamento máximo indicado para vigas de piso na tabela do anexo D (fonte NBR8800 2008), que resulta em $\delta_T$ = 14,28 mm. A contra flecha adotada para os casos sem escoramento (caso 3 e caso 5) foi de 20 mm equivalente a 0,4% do vão.

| CASO | Sistema construtivo | Laje |
|---|---|---|
| 1 | Viga Isolada | Maciça (hc = 10 cm) |
| 2 | Ação Mista escorada | Maciça (hc = 10 cm) |
| 3 | Ação Mista sem escora | Maciça (hc = 10 cm) |
| 4 | Ação Mista escorada | Steel deck MF-50 (hc = 7 cm) |
| 5 | Ação Mista sem escora | Steel deck MF-50 (hc = 7 cm) |

## 4. DIMENSIONAMENTO E RESULTADOS PARA CADA CASO

### 4.1 Primeiro caso: Laje maciça apoiada




Este modelo não apresenta ação mista, é o caso em que a laje é simplesmente apoiada sobre vigas em perfis laminados, portanto sem interação. Foi dimensionada esta situação para a simples comparação com os resultados onde utilizou se de vigas mistas, é o caso contorno, para comparação aos demais que utilizam de ação mista.

#### 4.1.1 Vigas V1 e V3 de extremidade

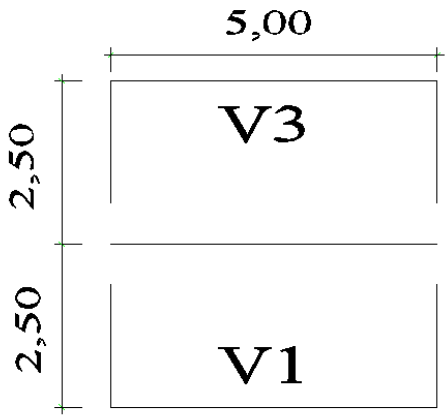



fig.23: vigas v1 e v3, caso 1

#### 4.1.1.1 DADOS GERAIS

Tipo de interação: Sem ação mista, interação nula

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção ... Viga escorada / Interação nula

Laje ... Maciça com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0.1 m

#### 4.1.1.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W200 x 26,6

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Altura do perfil (d) = 207,0 mm

Momento de inércia do perfil (Ia) = 2611 cm4

#### 4.1.1.3 AÇÕES

PP Viga = 26,6 kgf/m / Laje de Concreto = 250 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.1.1.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 2726,56 kgf.m / VSd = 2181 kgf

#### 4.1.1.5 DIAGRAMAS, ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS

**Esforços máximos combinados**

| Combinação | Momento Positivo | | Momento Negativo | | Esforço Cortante | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *x*(cm) | *M*(kN.cm) | *x*(cm) | *M*(kN.cm) | *x*(cm) | *V*(kN) |
| CP | 250 | 2023,44 | 0 | 0,00 | 0 | 16,19 |
| SC | 250 | 703,13 | 500 | 0,00 | 0 | 5,63 |
| CP+SC | 250 | 2726,56 | 0 | 0,00 | 0 | 21,81 |

**ESFORÇO CORTANTE**

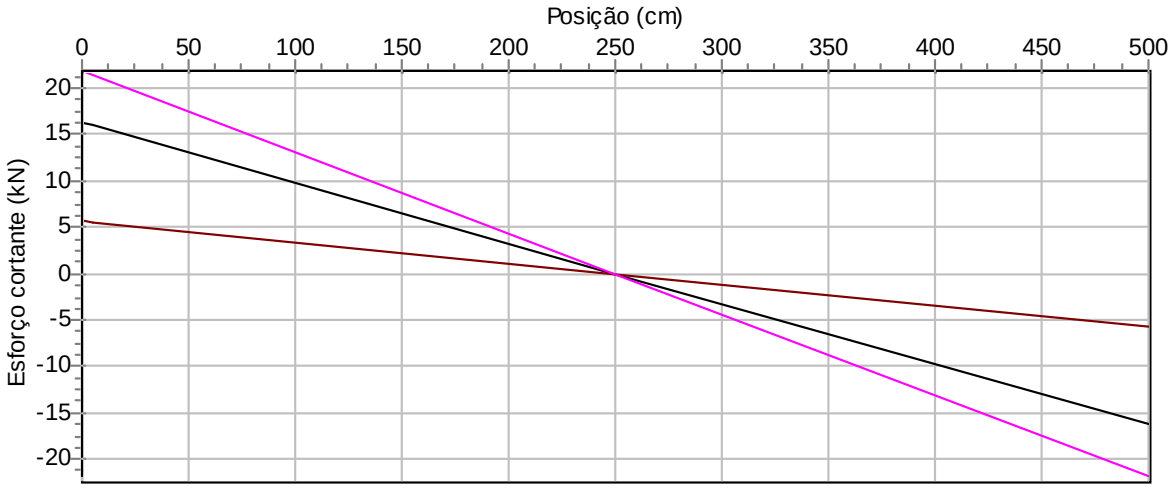



Fig. 24: DEC V1, caso 1

**MOMENTO FLETOR**

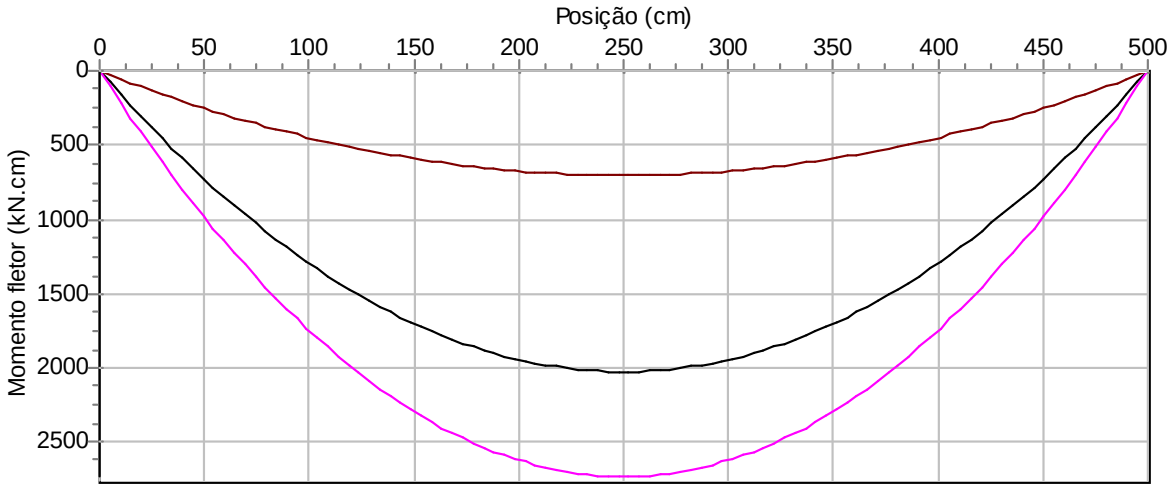



Fig. 25: DMF V1, caso 1

**DESLOCAMENTOS**

| Combinação | *X*(cm) | *Flecha*(cm) |
|---|---|---|
| CP | 247,52 | 0,71827 |
| SC | 247,52 | 0,23295 |
| CP+SC | 247,52 | 0,95122 |

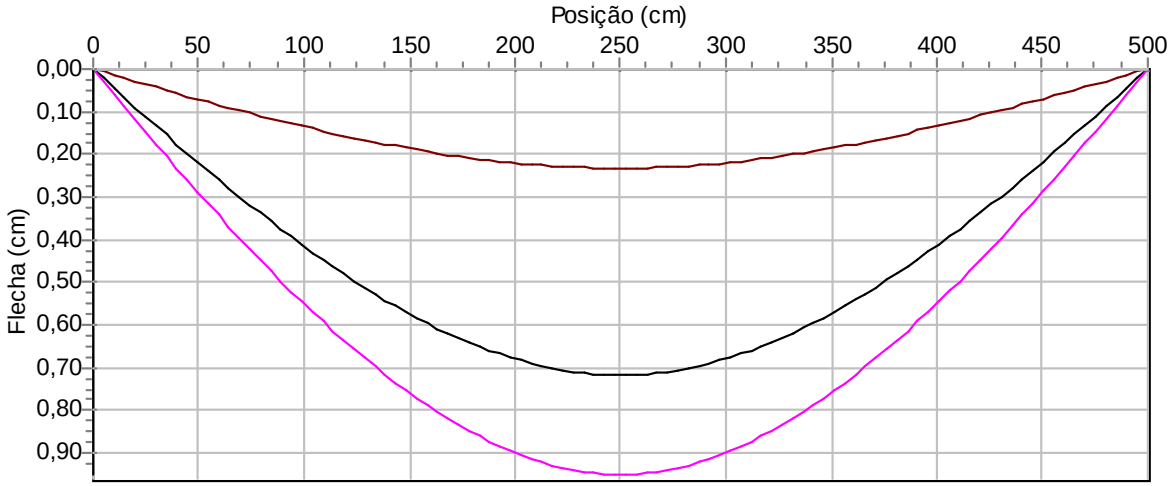



Fig. 26: Deslocamentos V1, caso 1

### 4.1.1.9 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w} = 32.75$ Esbeltez da viga.

$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.53$ Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

#### 4.1.1.9 VERIFICAÇÕES

**Verificação da Seção de Aço Isolada**

Combinação utilizada: 1,40 *CP* + 1,50 *SC*

**Momento Fletor Positivo**

*x* (Mmax) = 250 cm (ponto de momento máximo)

*Md* = 2726,56 kN.cm

1,00 *Mn* = 4559,55 kN.cm *Sd / Rd* = 0,60 **OK !**

**Esforço Cortante**

*x* (Vmax) = 0 cm (ponto de cortante máximo)

*Vd* = 21,81 kN

1,00 *Vn* = 180,09 kN *Sd / Rd* = 0,12 **OK !**

#### 4.1.1.8 FREQUENCIA DA VIGA

**f = 5,78 Hz**

#### 4.1.1.9 CONSUMO DE AÇO

**Viga ..... 134,37 kg**

### 4.1.2 Viga V2 intermediária

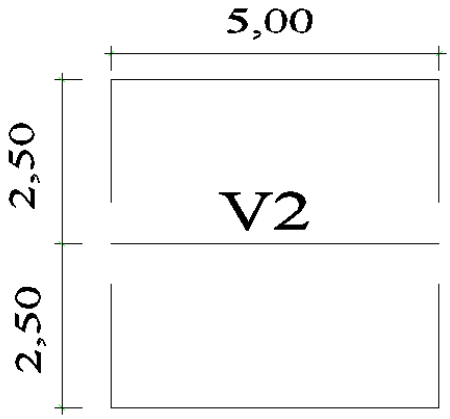



fig. 27: viga V2, caso 1

#### 4.1.2.1 DADOS GERAIS

Tipo de interação: Sem ação mista, interação nula

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção ... Viga escorada / Interação nula

Laje ... Maciça com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0.1 m

#### 4.1.2.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W200 x 31,3

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Altura do perfil (d) = 210 mm

Momento de inércia do perfil (Ia) = 3168 cm4

#### 4.1.2.3 AÇÕES

PP Viga = 31,3 kgf/m / Laje de Concreto = 250 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.1.2.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 4750 kgf.m / VSd = 3800 kgf

### 4.1.2.5 DIAGRAMAS, ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS

**Esforços máximos combinados**

| Combinação | Momento Positivo | | Momento Negativo | | Esforço Cortante | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *x*(cm) | *M*(kN.cm) | *x*(cm) | *M*(kN.cm) | *x*(cm) | *V*(kN) |
| CP | 250 | 4046,87 | 0 | 0,00 | 500 | 32,38 |
| SC | 250 | 703,12 | 0 | 0,00 | 500 | 5,63 |
| CP+SC | 250 | 4750,00 | 0 | 0,00 | 500 | 38,00 |

**ESFORÇO CORTANTE**

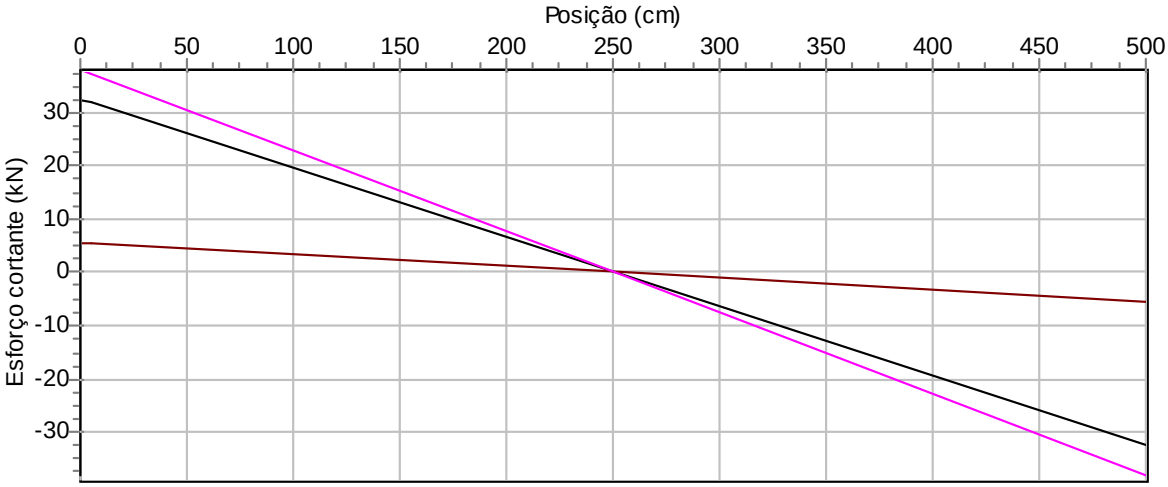



Fig. 28: DEC V2, caso 1

**MOMENTO FLETOR**

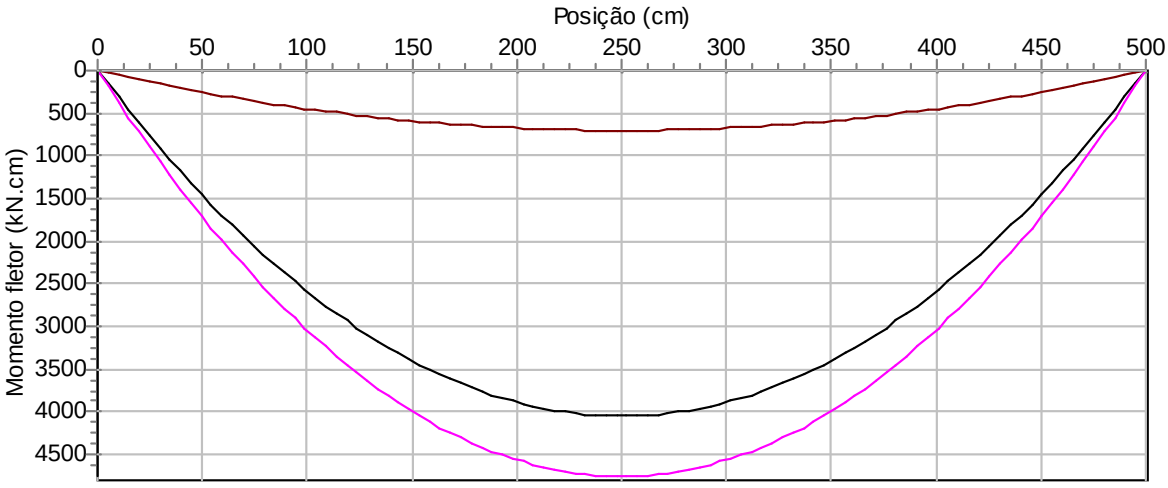



Fig. 29: DMF V2 caso 1

**DESLOCAMENTOS**

| Combinação | *X*(cm) | *Flecha*(cm) |
|---|---|---|
| CP | 247,52 | 1,18631 |
| SC | 247,52 | 0,19237 |
| CP+SC | 247,52 | 1,37869 |

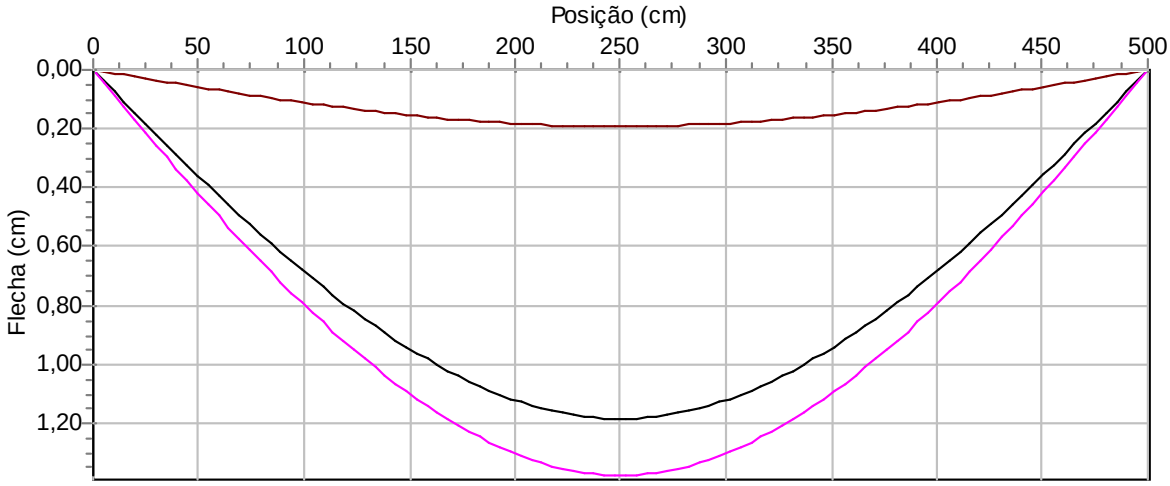



Fig. 30: Deslocamentos V2 caso 1

### 4.1.2.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w} = 29{,}68$ Esbeltez da viga.

$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.53$ Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ ... A viga não é esbelta.

### 4.1.2.7 VERIFICAÇÕES

**Verificação da Seção de Aço Isolada**

Combinação utilizada: 1,40 *CP* + 1,50 *SC*

**Momento Fletor Positivo**

*x* (Mmax) = 250 cm (ponto de momento máximo)

*Md* = 4750,00 kN.cm

1,00 *Mn* = 5950,90 kN.cm *Sd / Rd* = 0,80 **OK !**

**Esforço Cortante**

*x* (Vmax) = 500 cm (ponto de cortante máximo)

*Vd* = 38,00 kN

1,00 *Vn* = 201,60 kN *Sd / Rd* = 0,19 **OK !**

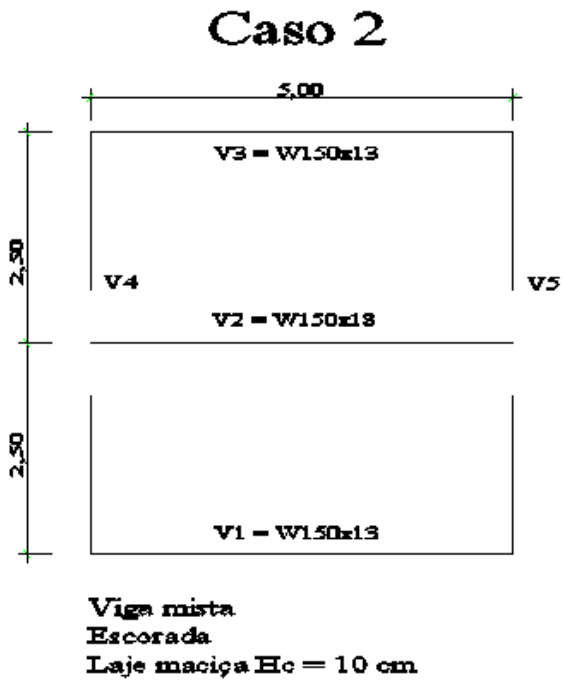
### 4.1.2.8 FREQUENCIA DA VIGA

**f = 4,8 Hz**

### 4.1.2.9 CONSUMO DE AÇO

**Viga ..... 158,30 kg**

## 4.2 Segundo caso: Laje maciça com interação total e viga apoiada




Aqui nesta configuração de estrutura foram utilizadas vigas mistas onde a interação é feita utilizando conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça (Stud bolt) e o perfil laminado da viga mista é escorado.

### 4.2.1 Vigas V1 e V3 de extremidade

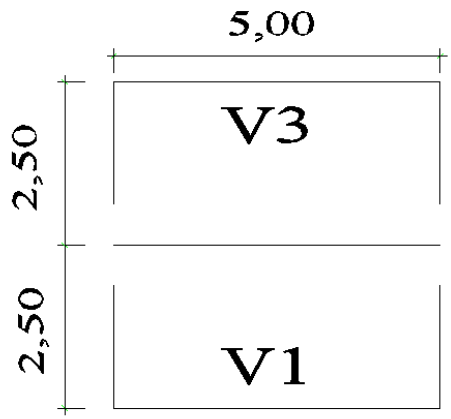



fig. 32: vigas V1 e V3, caso 2

#### 4.2.1.1 DADOS GERAIS

Tipo de interação: completa

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção ... Viga escorada / Interação Completa

Laje ... Maciça com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0.1 m

Largura efetiva (b) = 0.68 m

Itr = 23882746 mm4 ... Inércia da seção transformada

W = 1.7 N/mm... Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.2.1.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150 x 13,0

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Altura do perfil (d) = 148 mm

Momento de inércia do perfil (Ia) = 635 cm4

Conectores (L x C) = STB 80 x 19 mm

#### 4.2.1.3 AÇÕES:

PP Viga = 13 kgf/m / Laje de Concreto = 250 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.2.1.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 2959.22 kgf.m / VSd = 2367.38 kgf

### 4.2.1.5 DIAGRAMAS

**Cortante: VSd = 2367,38 kgf**

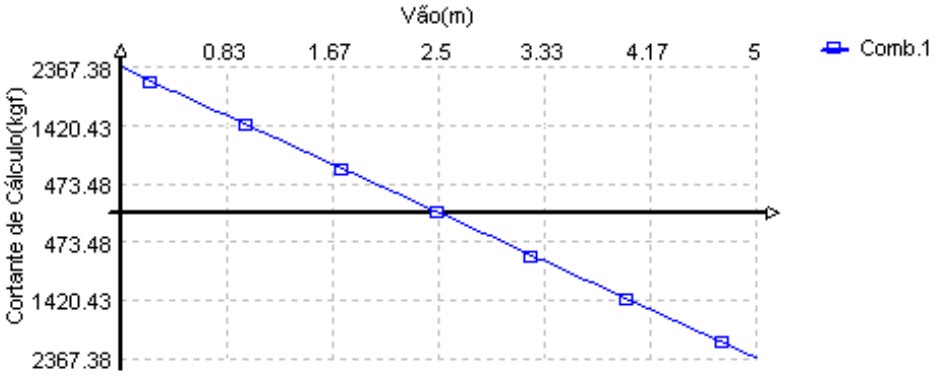



Fig. 33: DEC V1 caso 2

**Momento Fletor: MSd = 2959,22 kgf.m**

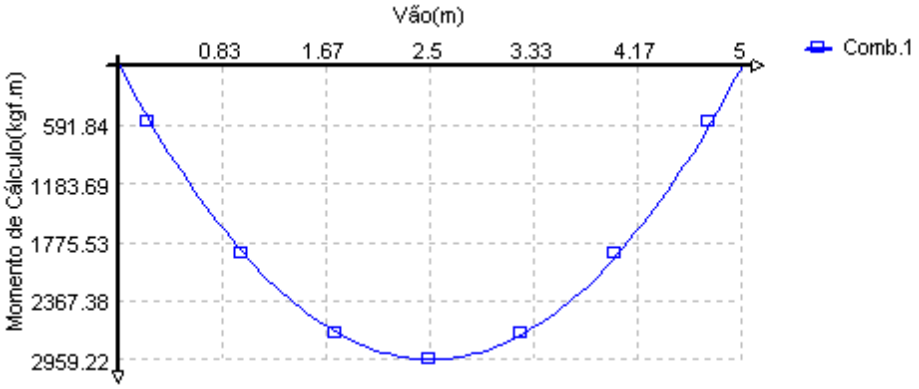



Fig. 34: DMF V1 caso 2

**Deslocamentos: $\delta_T$ = 11,3 mm**

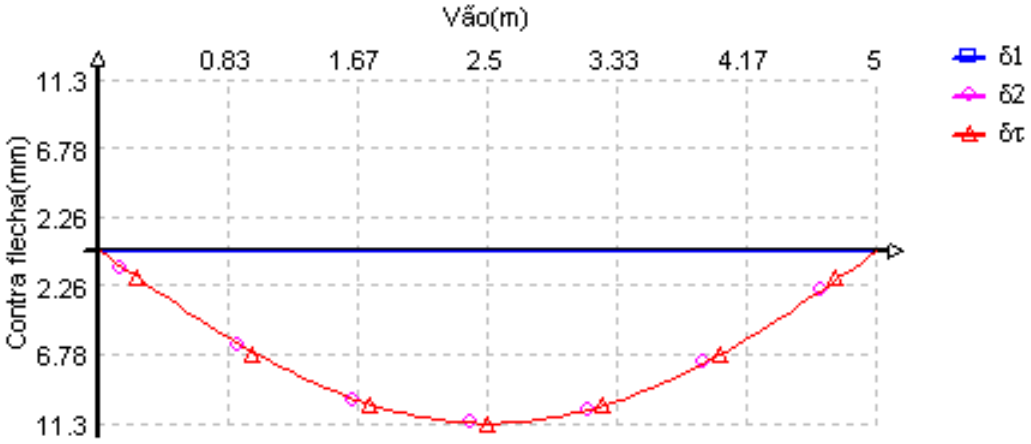



Fig. 35: Deslocamentos V1 caso 2

### 4.2.1.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 32.14 Esbeltez da viga.

$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.2.1.7 AVALIAÇÃO DA LNP (linha neutra plástica)

Rcd = 130754.44 kgf Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 54311.97 kgf Força de plastificação do perfil de aço (tração);

Rcd > Rtd, portanto, **linha neutra plástica na laje de concreto.**

**a = 0,041 m < $t_c$ = 0,10 m**

### 4.2.1.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 32.14 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73,76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 6,36xE-4 m2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 13173,48 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 13173,48 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1,10}$ = 11975,89 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0,2 $\leq$ 1,0 OK!

**4.2.1.9 NUMERO DE CONECTORES**

Conector: STB 80x19

Acs = 2,84 cm²

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 MPa Módulo de elasticidade do concreto.

$q_{Rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1,25}$ = 8719,99 kgf

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 7 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 384,62 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 14

**Distribuição: 1 linha com 14 conectores**

**4.2.1.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS**

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 800 mm

384,62 mm <= 800 mm **OK!**

$e_{mín} = 6 \cdot \phi$ = 114 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

384.62 mm >= 19 mm **OK!**

**4.2.1.11 FREQUENCIA DA VIGA**

**f = 10,46 Hz**

**4.2.1.12 CONSUMO DE AÇO**

Viga ..... 13 kgf/m

Conectores (14) ..... 2 kgf

**Total ..... 67 kgf**

### 4.2.2 Viga V2 intermediária

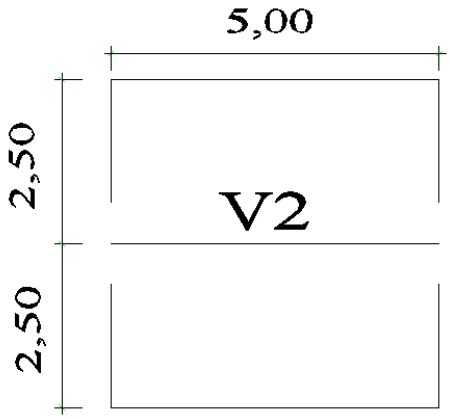



fig. 36: V2, caso 2

#### 4.2.2.1 DADOS GERAIS

Tipo de interação: completa

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção ... Viga escorada / Interação Completa

Laje ... Maciça com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0.1 m

Largura efetiva (b) = 1,25 m

Itr = 38314464 mm4 ... Inércia da seção transformada

W = 3,13 N/mm... Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.2.2.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x18

Limite de escoamento (fy) = 345 Mpa

Altura do perfil (d) = 153 mm

Momento de inércia do perfil (Ia) = 939 cm4

Conectores (L x C) = STB 80 x 19 mm

#### 4.2.2.3 AÇÕES

PP Viga = 18 kgf/m / Laje de Concreto = 250 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

### 4.2.2.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 5883,44 kgf.m / VSd = 4706,75 kgf

### 4.2.2.5 DIAGRAMAS

**Cortante:** VSd = 4706,75 kgf

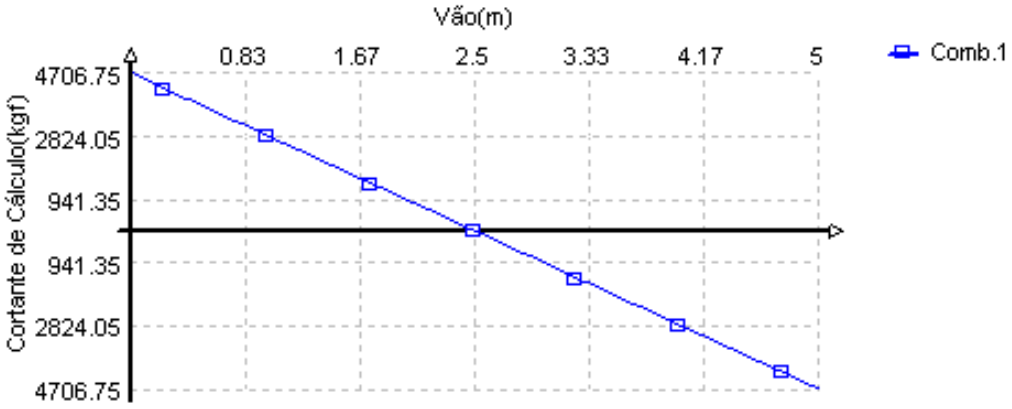



fig. 37: DEC V2, caso 2

**Momento Fletor:** MSd = 5883,44 kgf.m

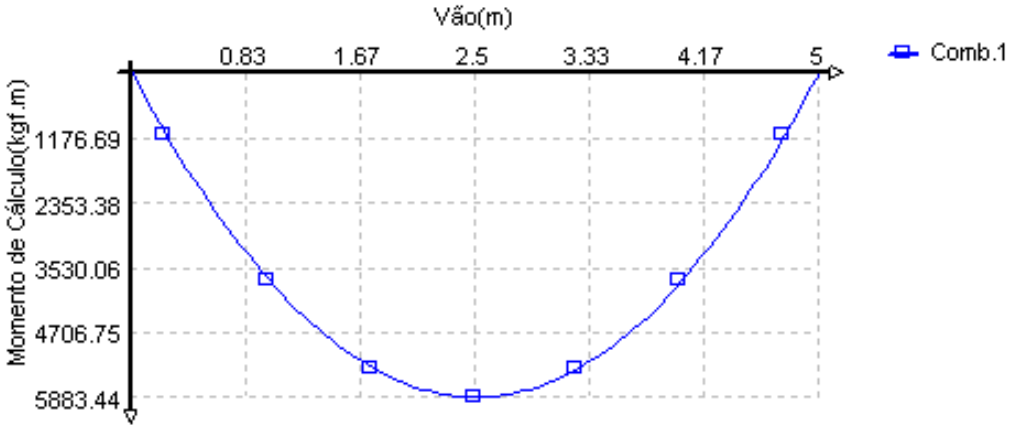



fig. 38: DMF V2, caso 2

**Deslocamentos: $\delta_T$ = 14 mm**

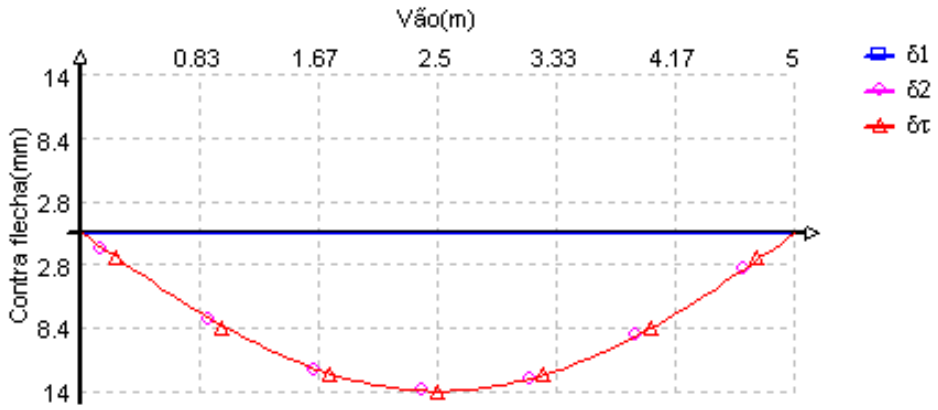



fig. 39: Deslocamentos V2, caso 2

### 4.2.2.6 VERIFICAÇÃO DA ESBETEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 23.93 Esbeltez da viga.

$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.2.2.7 AVALIAÇÃO DA LNP (linha neutra plástica)

Rcd = 240357.42 kgf Força de plastificação da laje de concreto;

Rtd = 77743.68 kgf Força de plastificação do perfil de aço;

Rcd > Rtd, portanto, A linha neutra plástica passa na laje de concreto.

**a = 0,03 < tc = 0,10 m**

### 4.2.2.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 23.93 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 8.87E-4 m2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0{,}60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 18369.18 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 18369.18 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1{,}10}$ = 16699.26 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0.28 $\leq$ 1.0 **OK!**

### 4.2.2.9 NÚMERO DE CONECTORES

Conector STB 80x19

Acs = 2,84 cm²

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 MPa Módulo de elasticidade do concreto.

$$q_{Rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1{,}25}$$

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 8695.21 kgf

= 9 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 294,12 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 18

**Distribuição: 1 linha com 18 conectores**

**4.2.2.10** VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 800 mm

294,12 mm <= 800 mm **OK!**

$e_{mín} = 6 \cdot \phi$ = 114 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

294,12 mm >= 19 mm **OK!**

**4.2.2.11 FREQUÊNCIA DA VIGA**

**f = 9,77 Hz**

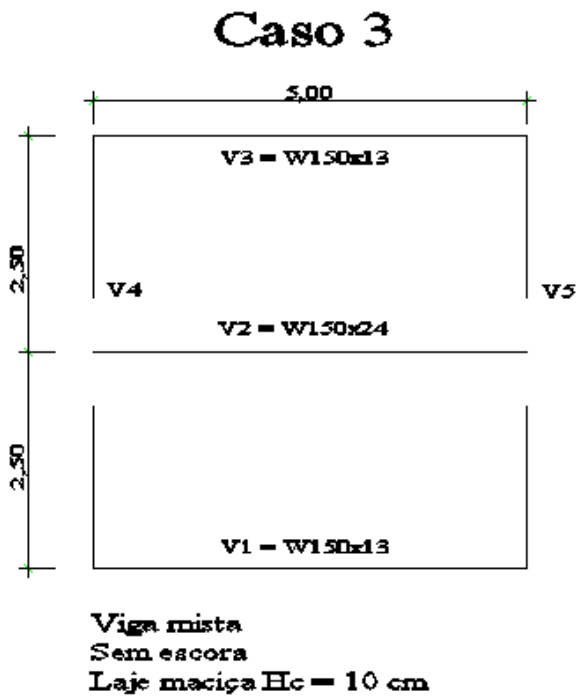
**4.2.2.12 CONSUMO DE AÇO**

Viga ..... 18 kgf/m

Conectores (18) ..... 2 kgf

**Total ..... 92 kgf**

### 4.3 Terceiro caso: Laje maciça com interação total não escorada




Com mesma configuração do segundo caso, porém aqui as vigas não são escoradas.

#### 4.3.1 Vigas V1 e V3 de extremidade

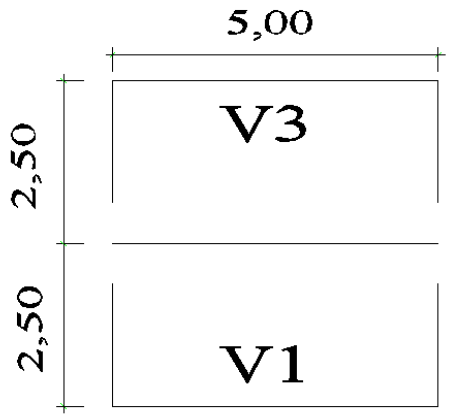



fig. 41; V1 e V3, caso 3

#### 4.3.1.1 DADOS GERAIS

Vão teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2,5 m

Sistema de construção ... Viga não escorada / interação completa

Laje ... Maciça com fck = 25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0,10 m

Largura efetiva (b) = 0,68 m

Itr = 23882746 mm4 ... Inércia da seção transformada

W = 1.7 N/mm ... Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.3.1.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x13

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Altura do perfil (d) = 148 mm

Momento de Inércia do perfil (Ia) = 635cm4

Conectores (LxC) = STB 80x19 mm

#### 4.3.1.3 AÇÕES

PP Viga = 13 kgf/m / Laje de Concreto = 250 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² /Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.3.1.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 2959.22 kgf.m / MSdo = 2010 kgf.m / VSd = 2367.38 kgf

#### 4.3.1.5 DIAGRAMAS

**Cortante: $VSd^1$ = 1608 kgf e $VSd^2$ = 2367,38 kgf**

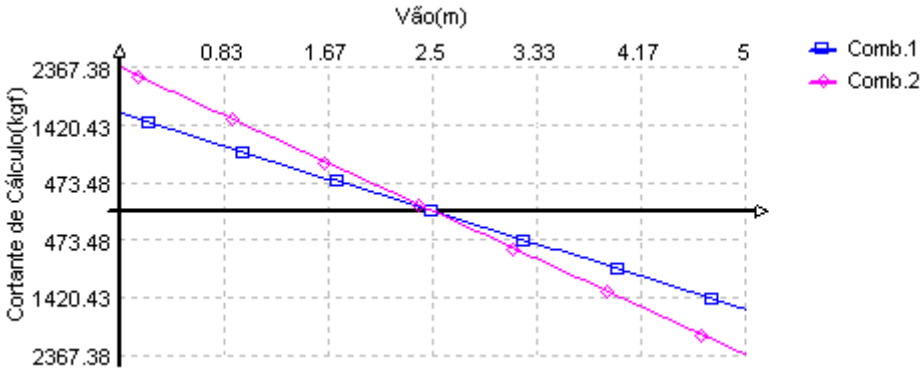



Fig 42: DEC V1, Caso 3

**Momento Fletor: $Md^1$ = 2010 kgf.m em 2,50 m e $Md^2$ = 2959,22 kgf.m em 2,50 m**

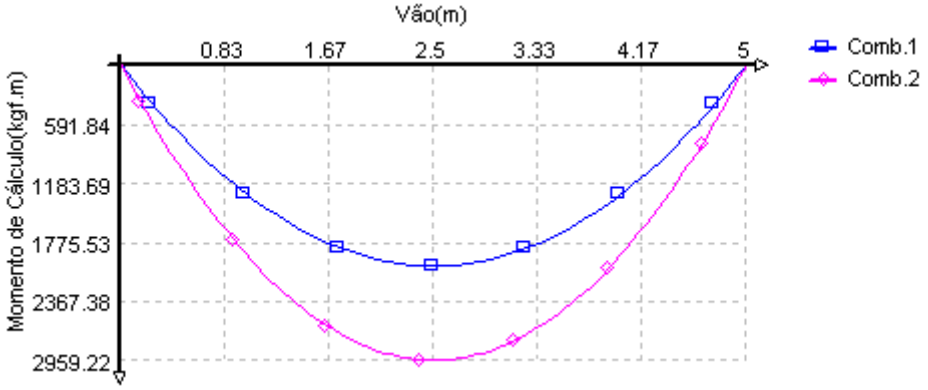



Fig 43: DMF V1, Caso 3

**Deslocamentos:** CF = 20 mm; δT = 6,61 mm; δ1 = 20,86 mm; δ2 = 5,75 mm

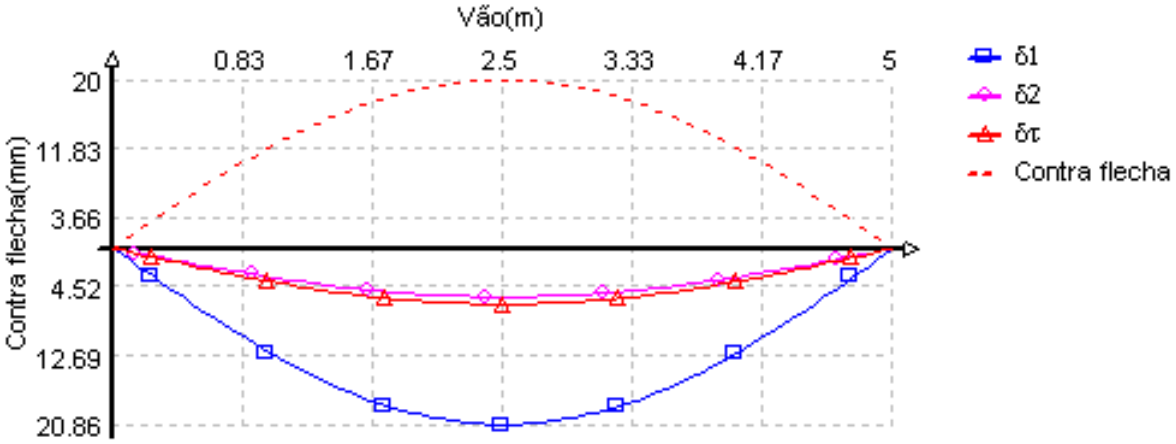



Fig 44: Deslocamentos V1, Caso 3

### 4.3.1.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$$\frac{h}{t_w} = 32.14$$ Esbeltez da viga.

$$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90.53$$ Esbeltez limite da viga.

$$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$ A viga não é esbelta

### 4.3.1.7 AVALIAÇÃO DA LNP

Rcd = 130754.44 kgf  Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 54311.97 kgf  Força de plastificação do perfil de aço ( tração);

**a = 0,04 m < tc = 0,10 m**

### 4.3.1.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 32.14  Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22  Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76  Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 6.36E-4 m2  Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0{,}60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 13173.48 kgf  Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 13173.48 kgf  Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1{,}10}$ = 11975.89 kgf  Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ **= 0.2 ≤ 1.0  OK!**

### 4.3.1.9 NUMERO DE CONECTORES

Conector: STB 80x19

Acs = 2.84 cm² ... Área da seção transversal dos conectores.

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 MPa ... Módulo de elasticidade do concreto.

$q_{Rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1{,}25}$ = 8719.99 kgf

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 7  Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 384.62 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 14

**Distribuição: 1 linha com 14 conectores**

### 4.3.1.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 800 mm

384.62 mm <= 800 mm **OK!**

$e_{mín} = 6 \cdot \phi$ = 114 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

**384.62 mm >= 19 mm** OK!

### 4.3.1.11 FREQUÊNCIA DA VIGA

**f = 10,46 Hz**

### 4.3.1.12 CONSUMO DE AÇO

Viga ..... 13 kgf/m

Conectores (14) ..... 2 kgf

**Total ..... 67 kgf**

### 4.3.2 Viga V2 intermediária

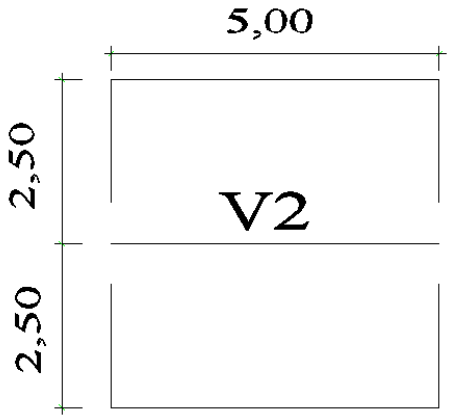



fig.45: V2, caso 3

#### 4.3.2.1 DADOS GERAIS

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção... Viga não escorada / Interação Completa

Laje ... Maciça com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc) ... 0.1 m

Largura efetiva (b) ... 1.25 m

Itr = 49698868 mm4 ... Inércia da seção transformada

W = 3.13 N/mm ... Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.3.2.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x24

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Altura do perfil (d) = 160 mm

Momento de inércia do perfil (Ia) = 1384 cm4

Conectores (LxC) = STB 80x19 mm

#### 4.3.2.3 AÇÕES

PP Viga = 24 kgf/m / Laje de Concreto = 250 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.3.2.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 5909.69 kgf.m / MSdo = 4011.25 kgf.m / VSd = 4727.75 kgf

### 4.3.2.5 DIAGRAMAS

Cortante: **$VSd^1$ = 3209 kgf e $VSd^2$ = 4727,75 kgf**

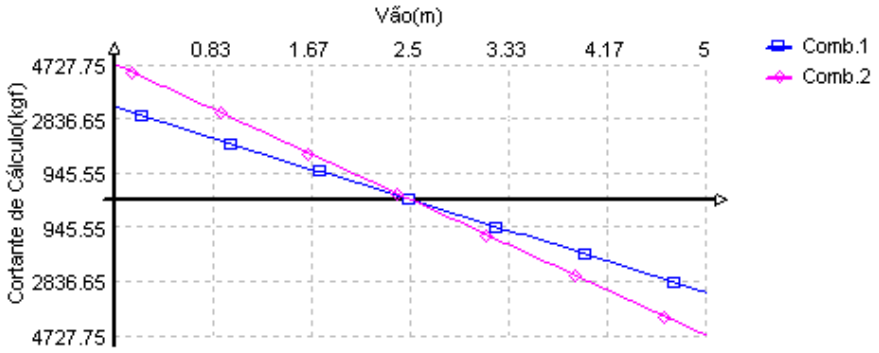



fig 46:DEC v2, caso 3

**Momento Fletor: $Md^1$ =** 4011,25 kgf.m em 2,50 m e $Md^2$ = 5909,69 kgf.m em 2,50 m

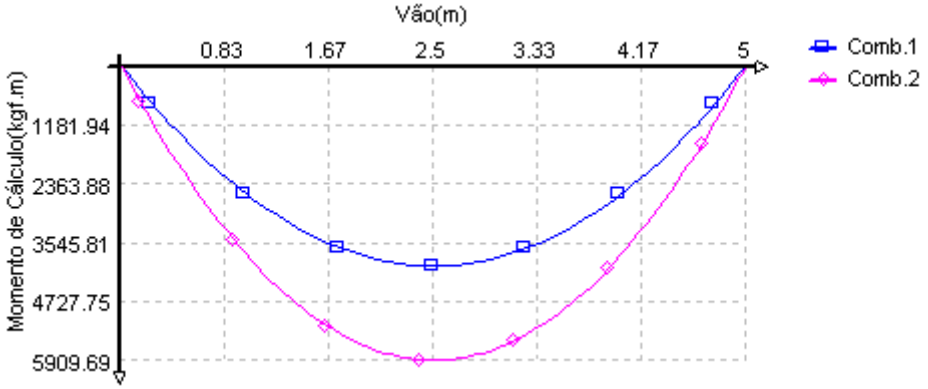



fig 47: DMF V2, caso 3

**Deslocamentos:** CF = 20 mm; $\delta_T$ = 4,61 mm; $\delta_1$ = 19,08 mm; $\delta_2$ = 5,53 mm

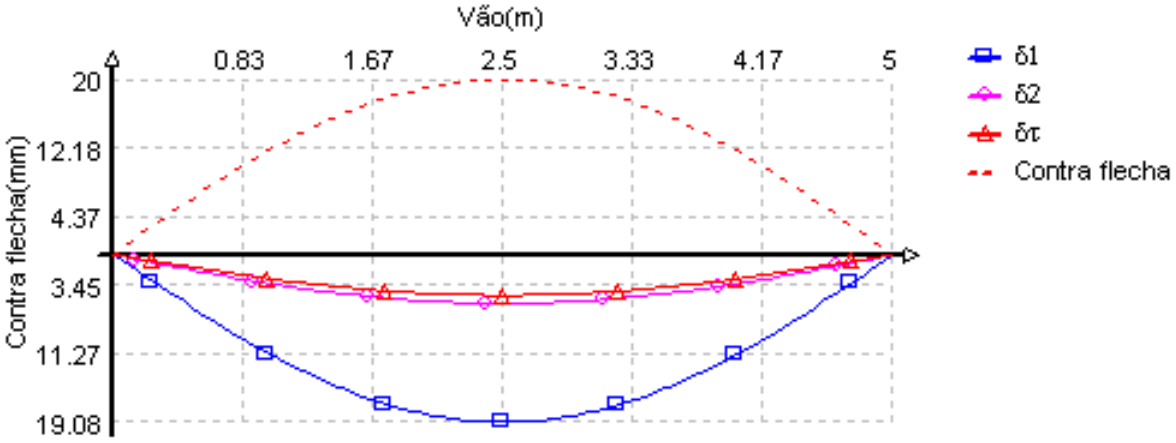



Fig 48: deslocamentos V2, caso 3

### 4.3.2.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 21.12 Esbeltez da viga.

$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.3.2.7 AVALIAÇÃO DA LNP

Rcd = 240357.42 kgf Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 104232.78 kgf Força de plastificação do perfil de aço (tração);

**a = 0,04 m < tc = 0,10 m**

### 4.3.2.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 21.12 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 1060 mm2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 21859.2 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 21859.2 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1,10}$ = 19872 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0.24 ≤ 1.0 **OK!**

**4.3.2.9 NUMERO DE CONECTORES**

Conector: STB 80x19

Acs = 2.84 cm2 Área da seção transversal dos conectores.

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 MPa Módulo de elasticidade do concreto.

$q_{Rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1,25}$ = 8665.45 kgf

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 13 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 200 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 26

**Distribuição: 1 linha com 26 conectores**

**4.3.2.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS**

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 800 mm

200 mm <= 800 mm **OK!**

$e_{mín} = 6 \cdot \phi$ = 114 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

200 mm >= 19 mm **OK!**

#### 4.3.2.11 FREQUÊNCIA DA VIGA

**11,13 Hz**

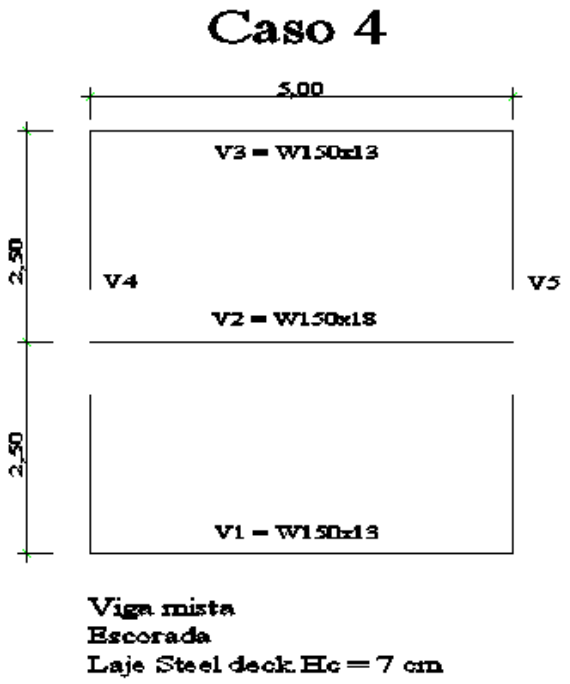
#### 4.3.2.12 CONSUMO DE AÇO

Viga ..... 24 kgf/m

Conectores (26) ..... 3 kgf

**Total ..... 123 kgf**

## 4.4 Quarto caso: Laje Steel deck escorada




Nesta laje é utilizada forma de aço incorporada fornecida pela METFORM, a MF-50 (fig. 40) utilizada com nervuras transversais ao perfil com altura de concreto sobre topo da nervura (hc) de 7 cm, altura escolhida por ter peso próximo a dos modelos de laje maciça.

Aqui no quarto caso apenas o perfil é escorado, uma vez que a forma suporta o carregamento para os vãos dimensionados, segundo fabricante.

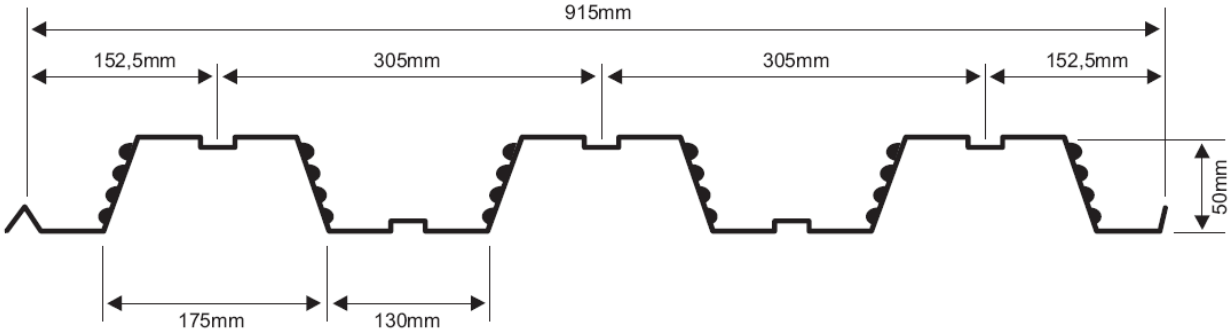



fig. 50: seção da forma MF-50

### 4.4.1 Vigas V1 e V3 de extremidade

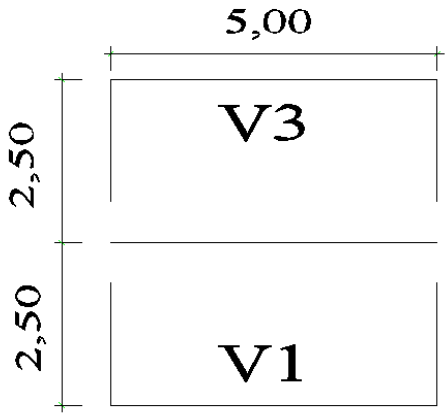



fig. 51: V1 e V3, caso 4

#### 4.4.1.1 DADOS GERAIS

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção... Viga escorada / Interação Completa

Laje... Steel-deck com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc) ... 0.07 m

Largura efetiva (b) ... 0.68 m

Itr = 28824348 mm4 ... Inércia da seção transformada

W = 1.62 N/mm ... Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.4.1.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x13,0

Limite de escoamento (fy) = 345Mpa

Altura do perfil (d) = 148 mm

Momento de inércia do perfil (Ia) = 635 cm4

Conectores (LxC) = STB 105x19 mm

#### 4.4.1.3 AÇÕES

PP Viga = 13 kgf/m / Laje de Concreto = 238.7 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.4.1.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 2897.42 kgf.m / VSd = 2317.94 kgf

#### 4.4.1.5 DIAGRAMAS

**Cortante:** VSd = 2317,94 kgf

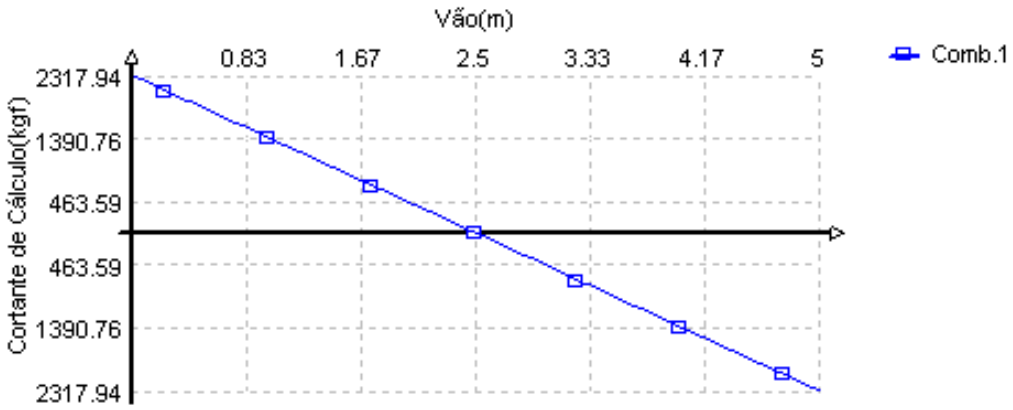



fig. 52: DEC V1, caso 4

**Momento Fletor:** Md = 2897,42 kgf.m em 2,50 m

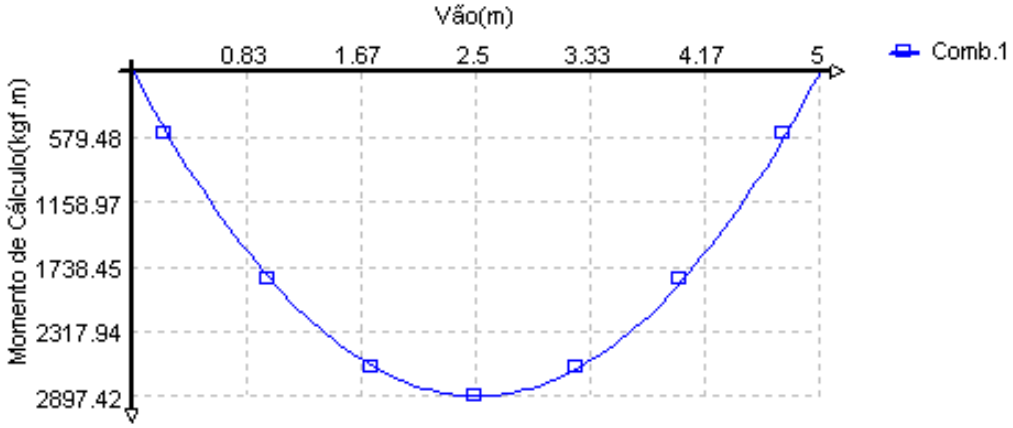



fig. 53: DMF V1, caso 4

**Deslocamentos:** CF = 0 mm; $\delta_T$ = 9,16 mm; $\delta_1$ = 0 mm; $\delta_2$ = 9,16 mm

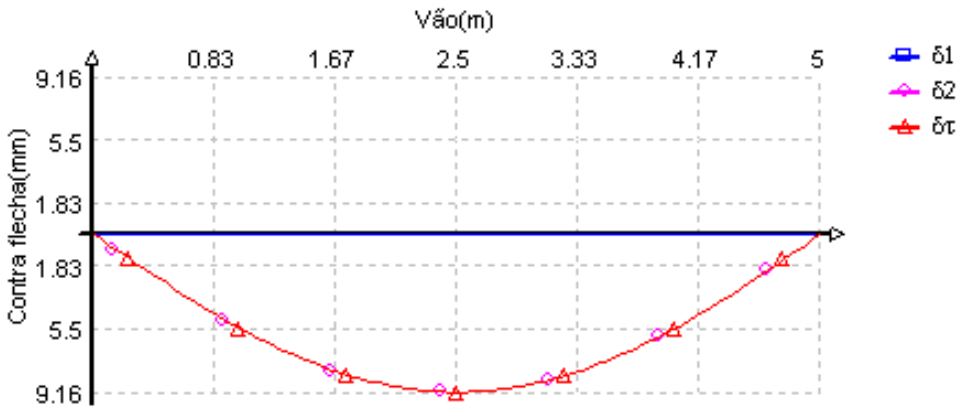



fig. 54: deslocamentos V!, caso 4

### 4.4.1.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 32.14 Esbeltez da viga.

$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.4.1.7 AVALIAÇÃO DA LNP

Rcd = 91053,73 kgf Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 54311,97 kgf Força de plastificação do perfil de aço ( tração);

**a = 0,04 < hc = 0,07 m**

### 4.4.1.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 32.14 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 6.36E-4 m2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0{,}60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 13173.48 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 13173.48 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1{,}10}$ = 11975.89 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0.19 $\leq$ 1.0 **OK!**

### 4.4.1.9 NUMERO DE CONECTORES

Conector: STB 105x19

Acs = 2.84 cm2

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 Mpa

Cred = 1

$q_{Rd} = C_{red} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1{,}25}$ = 8719.99 kgf

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 7 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 305 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 14 mais 2 conectores extra

**Distribuição: 1 linha com 14 conectores**

### 4.4.1.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 560 mm

305 mm <= 560 mm **OK!**

$e_{mín} = 4 \cdot \phi$ = 76 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

305 mm >= 19 mm **OK!**

### 4.4.1.11 FREQUÊNCIA DA VIGA

**f = 11,79 Hz**

### 4.4.1.12 CONSUMO DE AÇO

Viga ..... 13 kgf/m

Conectores (14) ..... 2 kgf

**Total ..... 67 kgf**

### 4.4.2 Viga V2 intermediária

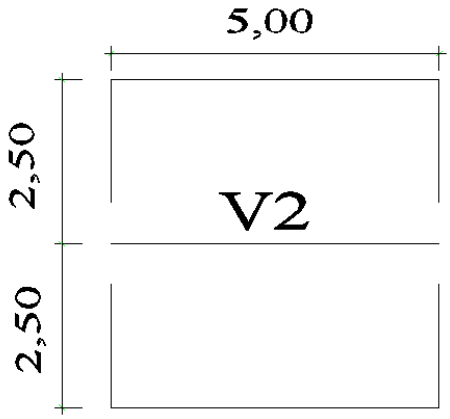



fig. 55: V2, caso 4

#### 4.4.2.1 DADOS GERAIS

Vão Teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2.5 m

Sistema de construção ... Viga escorada / Interação Completa

Laje ... Steel-deck com fck=25 MPa

Espessura da laje (hc)... 0.07 m

Largura efetiva (b) ... 1.25 m

Itr = 46444528 mm4 Inércia da seção transformada

W = 2.97 N/mm Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.4.2.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x18,0

Limite de escoamento (fy) = 345MPa

Área (A) = 23,4 cm²

Altura do perfil (d) = 153 mm

Momento de Inércia do perfil (Ia) = 939 cm4

Conectores (LxC) = STB 105x19 mm

#### 4.4.2.3 AÇÕES

PP Viga = 18 kgf/m / Laje de Concreto = 238,7 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

### 4.4.2.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 5759,84 kgf.m / VSd = 4607,88 kgf

### 4.4.2.5 DIAGRAMAS

**Cortante:** VSd = 4607,88 kgf

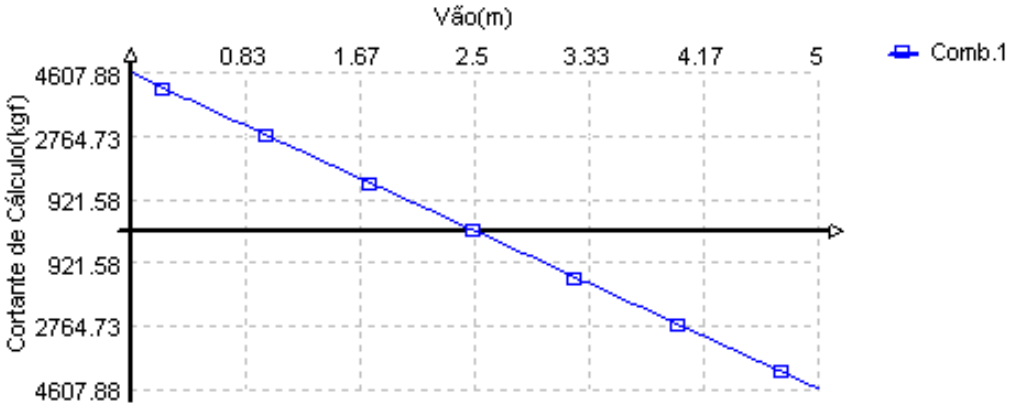



fig. 56: DEC V2, caso 4

**Momento Fletor:** Md = 5759,84 kgf.m em 2,50 m

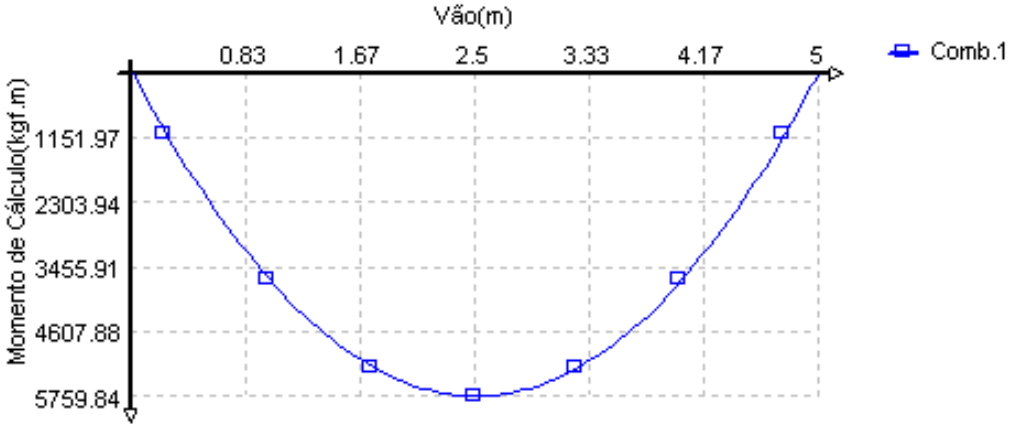



fig. 57: DMF V2, caso 4

**Deslocamentos: CF = 0 mm; δT = 11,3 mm; δ1 = 0 mm; δ2 = 11,3 mm**

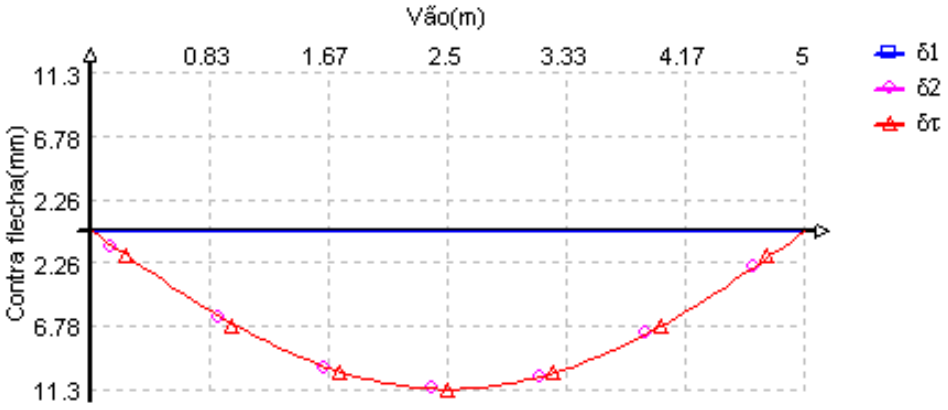



fig. 58: deslocamentos V2, caso 4

### 4.4.2.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 23.93 Esbeltez da viga.

$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.4.2.7 AVALIAÇÃO DA LNP

Rcd = 167378.17 kgf Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 77743.68 kgf Força de plastificação do perfil de aço ( tração);

**a = 0,03 < hc = 0,07 m**

### 4.4.2.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 23.93 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 887 mm2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0{,}60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 18369.18 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 18369.18 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1{,}10}$ = 16699.26 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0.28 $\leq$ 1.0 **OK!**

### 4.4.2.9 NUMERO DE CONECTORES

Conector: STB 105x19

Acs = 2.84 cm2 Área da seção transversal dos conectores.

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 Mpa

$q_{Rd} = C_{red} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1{,}25}$ = 8695.21 kgf

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 9 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 305 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 18 mais 14 conectores extra

**Distribuição: 2 linhas com 16 conectores por linha**

**4.4.2.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS**

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 560 mm

305 mm <= 560 mm **OK!**

$e_{mín} = 4 \cdot \phi$ = 76 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

**305 mm >= 19 mm** OK!

**4.4.2.11 FREQUÊNCIA DA VIGA**

f = 11,04 Hz

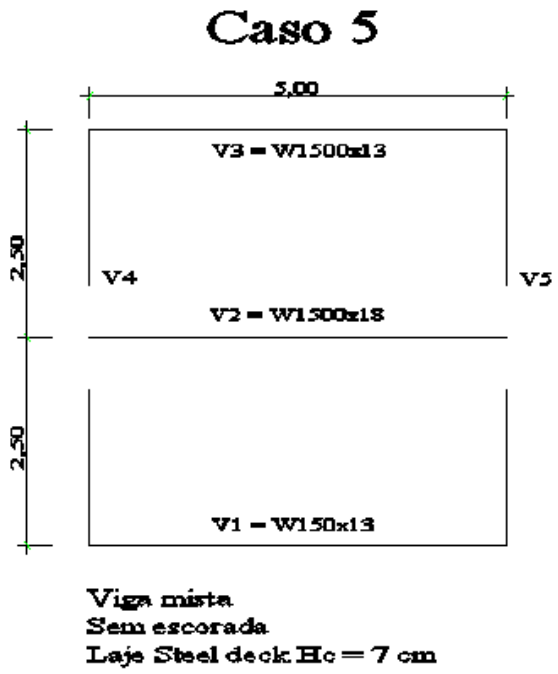
**4.4.2.12 CONSUMO DE AÇO**

Viga ..... 18 kgf/m

Conectores (18) ..... 3 kgf

**Total ..... 93 kgf**

## 4.5 Quinto caso: Laje Steel deck sem escora




Como no quarto caso, laje com forma de aço incorporada do tipo steel deck MF-50, porém aqui sem escoramento da viga.

### 4.5.1 Vigas V1 e V3 de extremidade

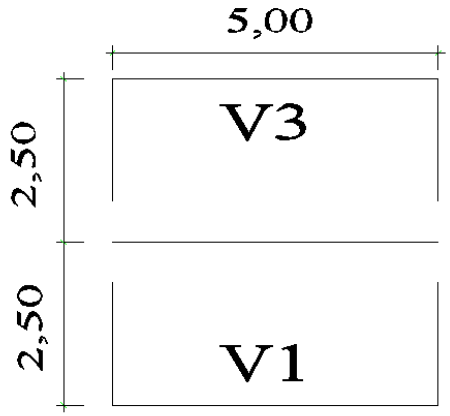



fig. 60: V1 e V3, caso 5

#### 4.5.1.1 DADOS GERAIS

Vão teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2,5 m

Sistema de construção ... Viga não escorada / interação completa

Laje ... Steel deck com fck = 25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0,07 m

Largura efetiva (b) = 0,68 m

Itr = 28824348 mm4 ... Inércia da seção transformada

W = 1.62 N/mm ... Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.5.1.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x13

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Área (A) = 16,6 cm²

Altura do perfil (d) = 148 mm

Momento de Inércia do perfil (Ia) = 635cm4

Conectores (LxC) = STB 105x19 mm

#### 4.5.1.3AÇÕES

PP Viga = 13 kgf/m / Laje de Concreto = 238.7 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.5.1.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 2897.42 kgf.m / MSdo = 1948.2 kgf.m / VSd = 2317.94 kgf

### 4.5.1.5 DIAGRAMAS

Cortante: **$VSd^1$ = 1558,56 kgf e $VSd^2$ = 2317,94 kgf**

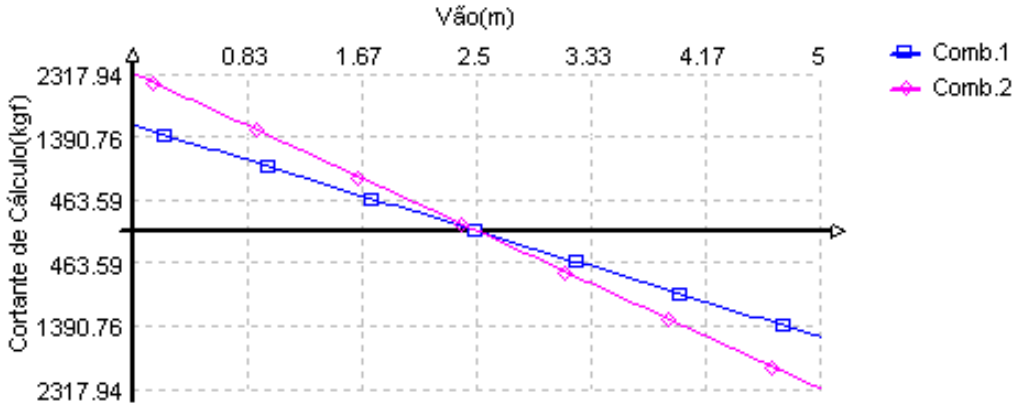



Fig 61: DEC V1, Caso 5

**Momento Fletor:** $Md^1$ = 1948,2 kgf.m em 2,50 m e $Md^2$ = 2897,42 kgf.m em 2,50 m

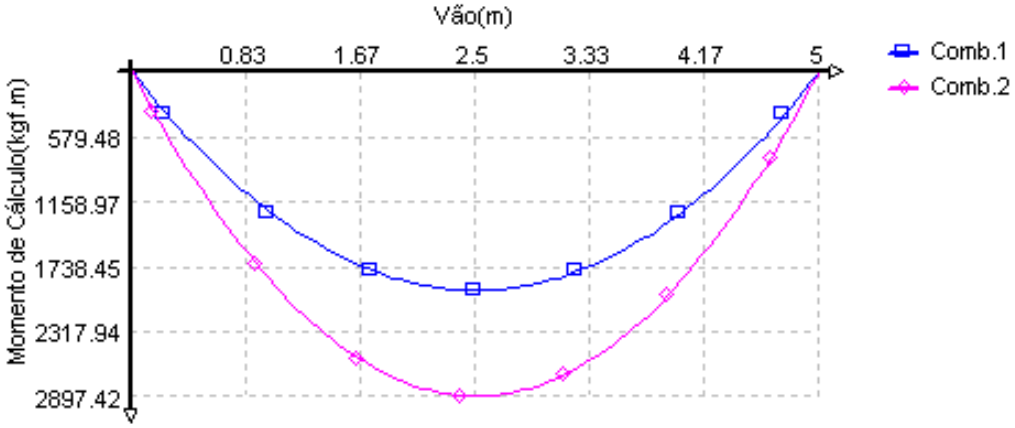



Fig 62: DMF V1, Caso 5

**Deslocamentos:** CF = 20 mm; $\delta_T$ = 4,72 mm; $\delta_1$ = 19,95 mm; $\delta_2$ = 4,76 mm

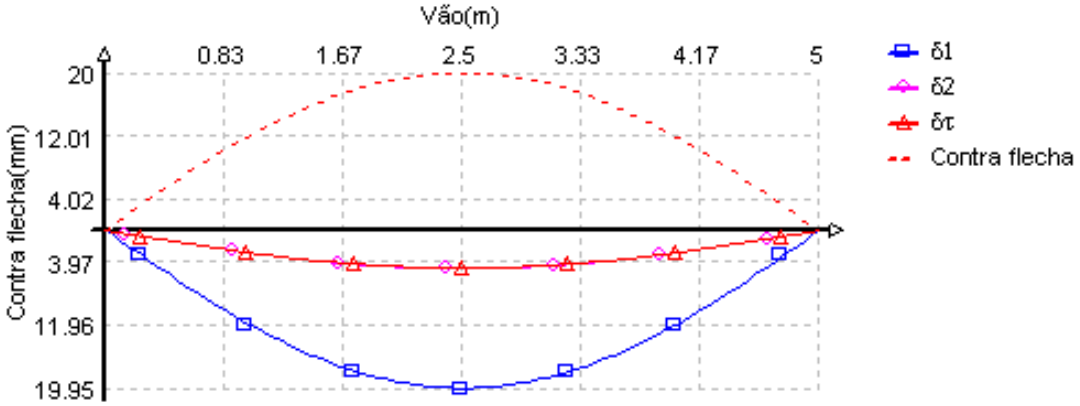



Fig 63: Deslocamentos V1, Caso 5

### 4.5.1.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 32.14 Esbeltez da viga.

$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.5.1.7 AVALIAÇÃO DA LNP

Rcd = 91053.73 kgf kgf Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 54311.97 kgf kgf Força de plastificação do perfil de aço ( tração);

**a = 0,04 m < tc = 0,10 m**

### 4.5.1.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 32.14 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 6.36E-4 m2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0{,}60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 13173.48 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 13173.48 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1{,}10}$ = 11975.89 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0.19 $\leq$ 1.0 **OK!**

**4.5.1.9 NUMERO DE CONECTORES**

Conector: STB 105x19

Acs = 2.84 cm² ... Área da seção transversal dos conectores.

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 MPa ... Módulo de elasticidade do concreto.

$q_{Rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1{,}25}$ = 8719.99 kgf

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 7 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 305 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 14

**Distribuição: 1 linha com 14 conectores**

#### 4.5.1.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 560 mm

305 mm <= 560 mm **OK!**

$e_{mín} = 4 \cdot \phi$ = 76 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

305 mm >= 19 mm **OK!**

#### 4.5.1.11 FREQUÊNCIA DA VIGA

f = 11,79 Hz

#### 4.5.1.12 CONSUMO DE AÇO

Viga ..... 13 kgf/m

Conectores (14) ..... 2 kgf

**Total ..... 67 kgf**

### 4.5.2 Viga V2 intermediária

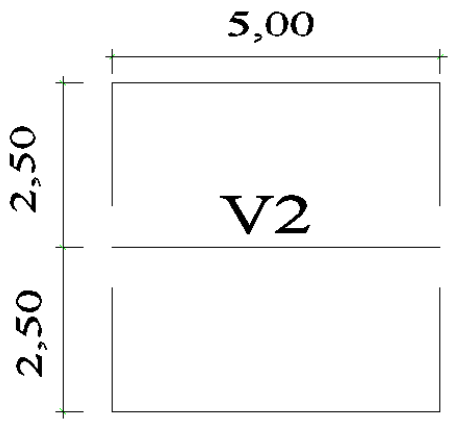



fig. 64: V2, caso 5

#### 4.5.2.1 DADOS GERAIS

Vão teórico (L) = 5 m

Intervigas = 2,5 m

Sistema de construção ... Viga não escorada / interação completa

Laje ... Steel deck com fck = 25 MPa

Espessura da laje (hc) = 0,07 m

Largura efetiva (b) = 1,25 m

Itr = 46444528 mm4 Inércia da seção transformada

W = 2.97 N/mm Peso da laje de concreto sob a largura efetiva

#### 4.5.2.2 DADOS PERFIL

Açominas (mm.kg/m) = W150x18

Limite de escoamento (fy) = 345 MPa

Área (A) = 23,4 cm4

Altura do perfil (d) = 153 mm

Momento de Inércia do perfil (Ia) = 939cm4

Conectores (LxC) = STB 105x19 mm

#### 4.5.2.3 AÇÕES

PP Viga = 18 kgf/m / Laje de Concreto = 238,7 kgf/m² / Piso = 80 kgf/m²

Forro = 40 kgf/m² / Sobrecarga = 150 kgf/m² / Parede = 0 kgf/m

#### 4.5.2.4 SOLICITAÇÕES DE CÁLCULO

MSd = 5759,84 kgf.m / MSdo = 3861,4 kgf.m / VSd = 4607,88 kgf

### 4.5.2.5 DIAGRAMAS

**Cortante:** $VSd^1$ = 3089,13 kgf e $VSd^2$ = 4607,88 kgf

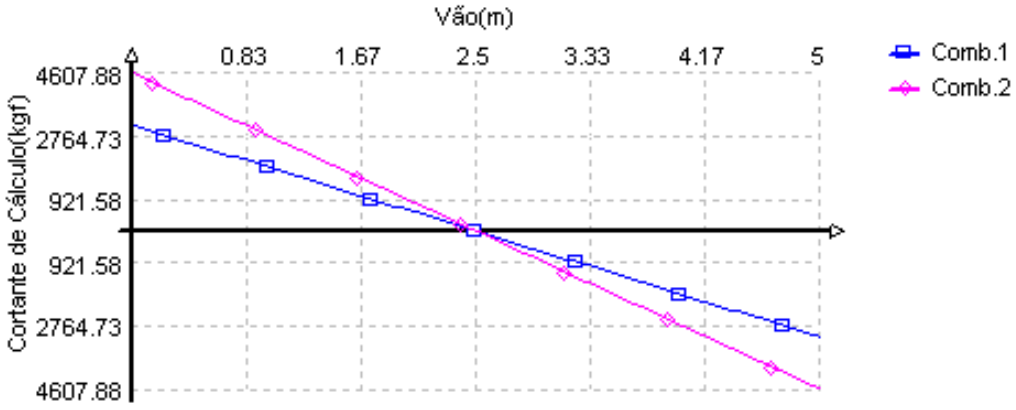



Fig 65: DEC V2, Caso 5

**Momento Fletor:** $Md^1$ = 3861,41 kgf.m em 2,50 m e $Md^2$ = 5759,84 kgf.m em 2,50 m

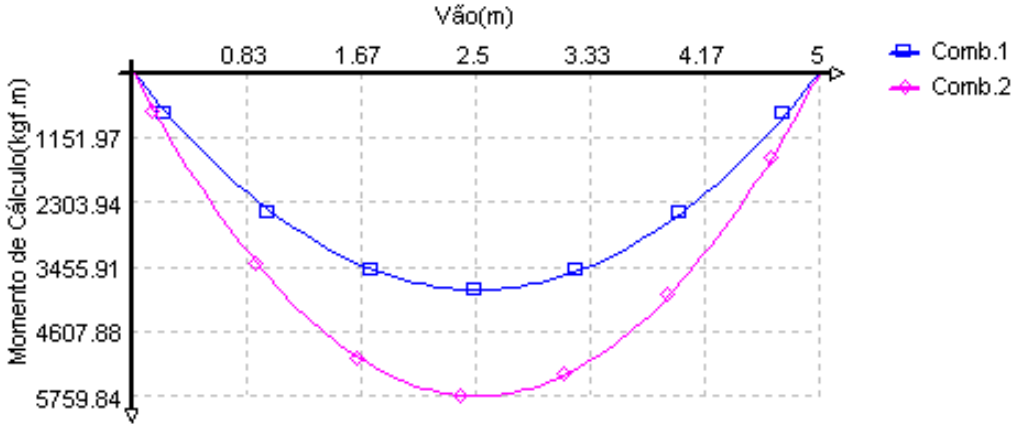



Fig 66: DMF V2, Caso 5

**Deslocamentos:** CF = 20 mm; $\delta_T$ = 12,55 mm; $\delta_1$ = 26,64 mm; $\delta_2$ = 5,91 mm

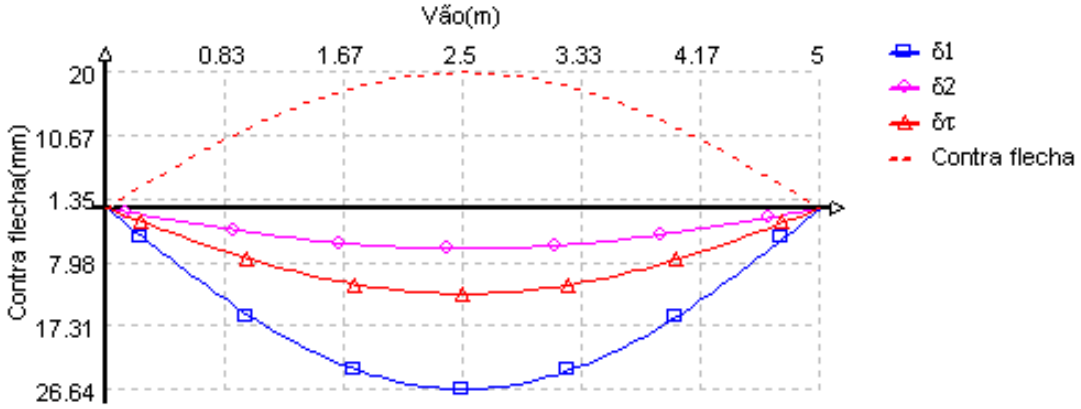



Fig 67: Deslocamentos V2, Caso 5

### 4.5.2.6 VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ

$\frac{h}{t_w}$ = 23.93 Esbeltez da viga.

$3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ = 90.53 Esbeltez limite da viga.

$\frac{h}{t_w} \leq 3{,}76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ A viga não é esbelta.

### 4.5.2.7 AVALIAÇÃO DA LNP

Rcd = 167378.17 kgf Força de plastificação da laje de concreto (compressão);

Rtd = 77743.68 kgf Força de plastificação do perfil de aço ( tração);

**a = 0,03 m < tc = 0,10 m**

### 4.5.2.8 VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE

$\lambda$ = 23.93 Parâmetro de esbeltez.

$\lambda_p$ = 59.22 Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação.

$\lambda_r$ = 73.76 Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

Aw = 8.87E-4 m2 Área efetiva de cisalhamento.

$V_{pl} = 0{,}60 \cdot A_w \cdot f_y$ = 18369.18 kgf Força cortante correspondente à plastificação.

$V_{Rk} = V_{pl}$ = 18369.18 kgf Força cortante resistente característica.

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1{,}10}$ = 16699.26 kgf Força cortante resistente de cálculo.

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}$ = 0.28 $\leq$ 1.0 **OK!**

### 4.5.2.9 NUMERO DE CONECTORES

Conector: STB 105x19

Acs = 2.84 cm2 Área da seção transversal dos conectores.

$E_c = 0.85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ = 23800 MPa Módulo de elasticidade do concreto.

Cred = 1 Coeficiente de redução.

$$q_{Rd} = C_{red} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot K_{c,\theta} \cdot E_c}}{1,25} = 8695.21 \text{ kgf}$$

$\frac{T_d}{q_{Rd}}$ = 9 Número de conectores para metade do vão

Distância interconectores = 305 mm

Número total de conectores ao longo do vão: 18 mais 14 conectores extra

**Distribuição: 2 linhas com 16 conectores por linha**

### 4.5.2.10 VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS

$e_{máx} = 8 \cdot t_c$ = 560 mm

305 mm <= 560 mm **OK!**

$e_{mín} = 4 \cdot \phi$ = 76 mm

$e_{mín} = b_f$ = 19 mm

305 mm >= 19 mm OK!

### 4.5.2.11 FREQUÊNCIA DA VIGA

f = 11,04 Hz

### 4.5.2.12 CONSUMO DE AÇO

Viga ..... 18 kgf/m

Conectores (18) ..... 3 kgf

**Total ..... 93 kgf**

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para as cinco estruturas mistas de placa e viga apresentadas anteriormente, segue a análise dos resultados de consumo de aço, freqüência de vibração da viga e deslocamentos.

| CASO | Sistema construtivo | Laje (cm) | VIGA | Bitola Perfil mm x kg/m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Viga Isolada | Maciça hc = 10 | Extremidade (V1 e V3) | W200 X 26,6 |
| | | | Intermediária (V2) | W200 X 31,3 |
| 2 | Ação Mista escorada | Maciça hc = 10 | Extremidade (V1 e V3) | W150 X 13 |
| | | | Intermediária (V2) | W150 X 18 |
| 3 | Ação Mista sem escora | Maciça hc = 10 | Extremidade (V1 e V3) | W150 X 13 |
| | | | Intermediária (V2) | W150 X 24 |
| 4 | Ação Mista escorada | Steel deck hc = 7 | Extremidade (V1 e V3) | W150 X 13 |
| | | | Intermediária (V2) | W150 X 18 |
| 5 | Ação Mista sem escora | Steel deck hc = 7 | Extremidade (V1 e V3) | W150 X 13 |
| | | | Intermediária (V2) | W150 X 18 |

tabela 6: descrição dos casos e suas vigas

Na tabela 7 são apresentados os resultados das vigas e observando os gráficos de deslocamento, freqüência e consumo de aço, é possível traçar um comparativo do desempenho de cada caso em particular.

## Resultados das vigas

| CASO | VIGA | Bitola Perfil mm x kg/m | Hz | mm | Consumo de Aço (kg) | | | **total** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Perfil | Conec | Total | |
| 1 | Extr | W200 X 26,6 | 5,78 | 9,51 | 134,00 | - | 134,00 | **426** |
| | Int | W200 X 31,3 | 4,80 | 13,78 | 158,00 | - | 158,00 | |
| 2 | Extr | W150 X 13 | 10,46 | 11,30 | 65,00 | 2,00 | 67,00 | **226** |
| | Int | W150 X 18 | 9,77 | 14,00 | 90,00 | 2,00 | 92,00 | |
| 3 | Extr | W150 X 13 | 10,46 | 6,61 | 65,00 | 2,00 | 67,00 | **257** |
| | Int | W150 X 24 | 11,13 | 4,61 | 120,00 | 3,00 | 123,00 | |
| 4 | Extr | W150 X 13 | 11,79 | 9,16 | 65,00 | 2,00 | 67,00 | **227** |
| | Int | W150 X 18 | 11,04 | 11,30 | 90,00 | 3,00 | 93,00 | |
| 5 | Extr | W150 X 13 | 11,79 | 4,72 | 65,00 | 2,00 | 67,00 | **227** |
| | Int | W150 X 18 | 11,04 | 12,55 | 90,00 | 3,00 | 93,00 | |

tabela 7: Resultados das vigas

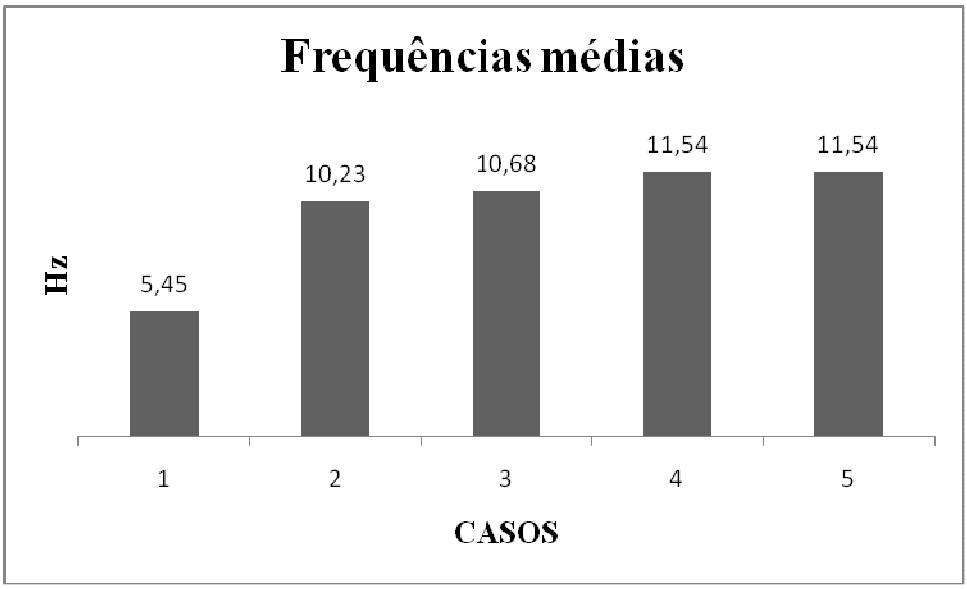



Fig. 68: Frequências médias das vigas

Na figura acima são apresentadas as frequências médias das vigas em cada caso, resultando na média das vigas (V1, V2, V3).

O valor mínimo aceitável para observação das prescrições da NBR 8800 de 2008, é de 4Hz, que foi atendido na verificação para dimencionamento de cada caso, observa se que no caso 1 fica próximo da tolerância.

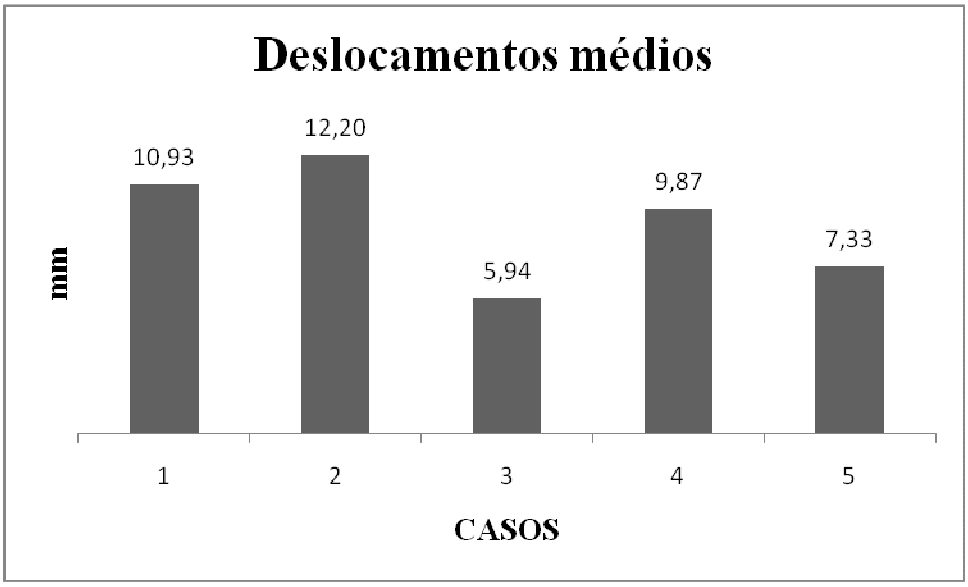



Fig. 69: Deslocamentos médios das vigas

Observando a figura 54 é possível identificar que nos casos 3 e 5 os deslocamentos totais foram inferiores aos demais casos, inclusive o caso 1, onde a viga tem ação isolada. Este resultado é devida a utilização de contra flecha de 20 mm (0,4% vão) nas cituações onde o perfil não foi escorado. E resultou no dimensionamento dos mesmos perfis para os casos 5 e 4 e outros muito próximos nos casos 2 e 3 (construção escorada e sem escora).

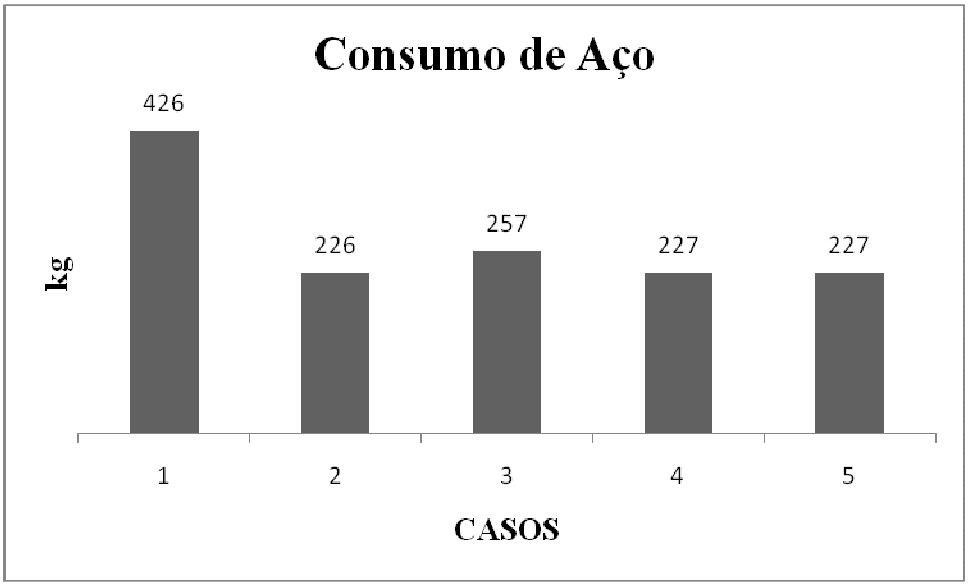



Fig. 70: consumo de aço

Ao observar a figura acima fica claro o desempenho econômico dos casos (2, 3, 4 e 5) que foram dimensionados para ação mista do perfil laminado com a laje de concreto em relação ao caso (1) onde as vigas isoladas suportam as reações da laje. Os valores representam o consumo total de aço nas vigas para toda estrutura proposta, 5 m de vão livre e 3 vigas (V1, V2 e V3).

# 6 CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de compreender as características de estruturas mistas, especificamente a interação de placa (laje) mista e de concreto convencional e vigas mistas utilizando de conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça (Stud bolts).

Foram adotadas espessuras para os dois tipos de laje com a finalidade de carregar o mais próximo possível cada caso cumprindo especificações normativas e orientações de fabricantes.

No caso 1 (viga isolada), onde a interação nula foi adotada, portanto ação da viga isolada em relação à laje, foram obtidos os piores resultados comparativamente aos demais casos (ação mista). Nas construções que utilizam de vigas em perfil metálico, a viga isolada é a mais abrangente.

Para os casos 2, 3, 4 e 5, onde a partir da utilização de conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça, a viga mista constituída pelo perfil metálico mais uma parcela colaborante da laje obtiveram resultados melhores para os parâmetros analisados (freqüência, deslocamentos e consumo de aço).

No caso específico dos deslocamentos, comparando os casos de vigas escoradas (2 e 4) e não escoradas (3 e 5) só foi possível a equivalência de perfis utilizados pela utilização de contra fecha de 20 mm nos casos sem escoramento.

Quanto ao parâmetro freqüência de vibração das vigas, comparando a média das freqüências das vigas de ação mista com a da viga isolada, há um acréscimo de aproximadamente 50% nas vigas mistas. Lembrando que a freqüência mínima indicada na NBR 8800 é de 4Hz e apesar das vigas de ação mista economizarem aço, obtiveram desempenho superior.

O consumo de aço comparando o caso 1 à média dos demais é observada uma economia de aproximadamente 45%, sendo o aço um insumo de grande peso no orçamento e sua economia um dos maiores desafios dos projetistas, fica bem clara a importância da utilização de vigas mistas para eficiência econômica de um projeto.

Uma sugestão para complementar este estudo, ou mesmo para um próximo, é a modelagem de subestruturas mistas de placa (laje) treliçada com preenchimento de EPS e de blocos cerâmicos (tavelas) ambas engastadas sobre vigas em perfis metálicos, assim como as modeladas neste trabalho. Outra sugestão de trabalho é a da utilização de conectores de cisalhamento do tipo U, já que estes não foram utilizados por não serem usuais em estruturas

compostas por formas metálicas do tipo Steel Deck, apesar de mais acessível por não necessitar de pistola para fixação. Mas principalmente a utilização de vãos maiores, próximos a dez metros, usuais em estruturas de grandes obras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AMERICAN WELDING SOCIETY - **"Structural Welding Code – Steel – ANSI/AWS D1.1-92"** - American Welding Society, Miami, Flórida - 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 (NB 66): **Informação e documentação: referência**s - elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953 - **Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323: **Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - procedimentos.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Cargas para o calculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

COSTA, Maria A. G. S. et al. **Ambiente pedagógico interativo sobre o comportamento e o dimensionamento de vigas mistas aço concreto.** XXXIV COBENGE, Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.

DE NARDIN, Silvana *et al*. **Detalhes de ligação entre pilares mistos preenchidos e vigas de aço.** Revista Construção Metálica, São Paulo, 2007.

FALKURY, Ricardo H. *et al*. **Cálculo de Vigas Mistas de Edifícios Segundo a NBR 8800/86.** XVIII Seminário Nacional de estudantes de Engenharia. Salvador-BA, 1997.

FALKURY, Ricardo H. **A atual norma de projeto de estrutura de aço a mistas, a ABNT NBR 8800: 2008.** Congresso Latino Americano da Construção Metálica. São Paulo, 2008.

FONTES, F. F.; PINHEIRO L. M.; BITTENCOURT, T. **Conceitos de análise estrutural.** Concreto ensino, pesquisa e realizações, Geraldo C. Isaias (editor), IBRACON, 2005, São Paulo, p. 109-140.

MALITE, M. **Análise do comportamento estrutural de vigas mistas aço concreto constituídas por perfis de chapa dobrada**. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1993.

TRISTÃO, Gustavo A. **Comportamento de conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise da resposta numérica**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2002.

Eurocode 4 – Env 1994-1-1:1992. Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels: European Committee for Standardization, 1992.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MATA, L. A. C. **Elementos das Estruturas Mistas Aço-Concreto**, Belo Horizonte: Editora O Lutador, 2001.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas Mistas.** Vol I. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

# ANEXOS

## ANEXO A

### Aços especificados por Normas Brasileiras para uso estrutural

| ABNT NBR 7007 | | | ABNT NBR 6648 | | | ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral** | | | **Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural** | | | **Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono para uso estrutural** | | |
| Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa | Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa | Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa |
| MR 250 | 250 | 400-560 | CG-26 | 255 | 410 | CF-26 | 260/260 | 400/410 |
| AR 350 | 350 | 450 | CG-28 | 275 | 440 | CF-28 | 280/280 | 440/440 |
| AR 350 COR | 350 | 485 | | | | CF-30 | ---/300 | ---/490 |
| AR 415 | 415 | 520 | | | | | | |

| ABNT NBR 5000 | | | ABNT NBR 5004 | | | ABNT NBR 5008 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica** | | | **Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica** | | | **Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural** | | |
| Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa | Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa | Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa |
| G-30 | 300 | 415 | F-32/Q-32 | 310 | 410 | CGR 400 | 250 | 380 |
| G-35 | 345 | 450 | F-35/Q-35 | 340 | 450 | CGR 500 e CGR 500A | 370 | 490 |
| G-42 | 415 | 520 | Q-40 | 380 | 480 | | | |
| G-45 | 450 | 550 | Q-42 | 410 | 520 | | | |
| | | | Q-45 | 450 | 550 | | | |

| ABNT NBR 5920/ABNT NBR 5921 | | | ABNT NBR 8261 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural** | | | **Perfil tubular, de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular ou retangular para usos estruturais** | | | | |
| Denominação | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa | Denominação | Seção circular | | Seções quadrada e retangular | |
| | | | | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa | $f_y$ MPa | $f_u$ MPa |
| CFR 400 | ---/250 | ---/380 | B | 290 | 400 | 317 | 400 |
| CFR 500 | 310/370 | 450/490 | C | 317 | 427 | 345 | 427 |

[a] Para limitações de espessura, ver norma correspondente.

**ANEXO B**

| Tabela de Equivalências de Normas | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **ASTM** | **EN** | **JIS** | **NBR** | **MERCOSUL** |
| A36 | EN 10025 | JIS-G3101 | NBR 6648<br>6650/7007 | NM-00131 |
| A572 gr 50 | EN 10025 | JIS-G3101 | NBR 5000<br>5004/7007 | NM-00101<br>NM-00102 |
| A709 gr36 | EN 10155 | JIS-G3114 | NBR 5008<br>5921 | NM-00103 |
| A709 gr50 | .... | JIS-G3114 | NBR 5008<br>5921 | NM-00103 |
| A709 gr70 | .... | JIS-G3114 | | .... |
| A588/A606 | EN 10155 | JIS-G3114 | NBR 5008<br>5920/5921/7007 | NM-00103 |

## ANEXO C

| MF-50 consumo de concreto - armadura em tela soldada | | | | |
|---|---|---|---|---|
| altura da laje | Consumo de concreto | Tipo de armadura de retração e fissuração | | |
| (mm) | ($m^3/m^2$) | Denominação | Composição | Peso ($kg/m^2$) |
| 100 | 0,075 | Q-75 | ϕ3,8xϕ3,8 - 150x150 | 1,21 |
| 110 | 0,085 | Q-75 | ϕ3,8xϕ3,8 - 150x150 | 1,21 |
| 120 | 0,095 | Q-75 | ϕ3,8xϕ3,8 - 150x150 | 1,21 |
| 130 | 0,105 | Q-92 | ϕ4,2xϕ4,2 - 150x150 | 1,48 |
| 140 | 0,115 | Q-92 | ϕ4,2xϕ4,2 - 150x150 | 1,48 |
| 150 | 0,125 | Q-113 | ϕ3,8xϕ3,8 - 100x100 | 1,80 |
| 160 | 0,135 | Q-113 | ϕ4,2xϕ4,2 - 100x100 | 1,80 |
| 170 | 0,145 | Q-138 | ϕ3,8xϕ3,8 - 100x100 | 2,20 |

Fonte: Catálogo METFORM MF-50

## ANEXO D

### Deslocamentos Máximos

| Descrição | $\delta$ [1] |
|---|---|
| - Travessas de fechamento | $L/180$ [2] |
| | $L/120$ [3] [4] |
| - Terças de cobertura [7] | $L/180$ [5] |
| | $L/120$ [6] |
| - Vigas de cobertura [7] | $L/250$ [8] |
| - Vigas de piso | $L/350$ [8] |
| - Vigas que suportam pilares | $L/500$ [8] |

Fonte NBR 8800, 2008

## ANEXO E

## Valores dos coeficientes de ponderação das ações

| Combinações | Ações permanentes ($\gamma_g$) [a c] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições *in loco* | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

| | Ações variáveis ($\gamma_q$) [a d] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Efeito da temperatura [b] | Ação do vento | Ações truncadas [e] | Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação |
| Normais | 1,20 | 1,40 | 1,20 | 1,50 |
| Especiais ou de construção | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 1,30 |
| Excepcionais | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

[a] Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

[b] O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

[c] Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m$^2$, ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

[d] Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m$^2$, ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

[e] Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

fonte NBR 8800, 2008

## ANEXO F

**Valores dos fatores de combinação ψo e de redução ψ1 e ψ2 para as ações variáveis**

| Ações | | $\gamma_{f2}$ [a] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $\psi_0$ | $\psi_1$ [d] | $\psi_2$ [e] |
| Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação | Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas [b)] | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| | Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas [c] | 0,7 | 0,6 | 0,4 |
| | Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1) | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| Vento | Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral | 0,6 | 0,3 | 0 |
| Temperatura | Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local | 0,6 | 0,5 | 0,3 |
| Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos | Passarelas de pedestres | 0,6 | 0,4 | 0,3 |
| | Vigas de rolamento de pontes rolantes | 1,0 | 0,8 | 0,5 |
| | Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes | 0,7 | 0,6 | 0,4 |

[a] Ver alínea c) de 4.7.5.3.
[b] Edificações residenciais de acesso restrito.
[c] Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.
[d] Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar $\psi_1$ igual a 1,0.
[e] Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para $\psi_2$ o valor zero.

fonte NBR 8800, 2008

## ANEXO G

| Designação ASTM | Denominação da especificação |
|---|---|
| A 36/A 36M | Aço Estrutural |
| A 131/A 131 M | Aço Estrutural para navios |
| A 242/A 242 M | Aço estrutural de Alta resistência e Baixa Liga |
| A 283/A 283 M | Chapas, formas e barras de aço carbono de baixa e média resistência |
| A 284/A 284 M | Chapas de aço carbono - silício de baixa e média resistência para partes de máquinas e construção em geral |
| A 307 | Parafusos e pinos de aço carbono |
| A 325 | Parafusos estruturais com tratamento térmico |
| A 328/A 328 M | Chapas - perfis interconectáveis |
| A 441/A 443 M | Aço manganês vanádio de alta resistência e baixa liga |
| A 449 | Parafusos de cabeça sextavada e pinos de aço tratado termicamente |
| A 500 | Tubos estruturais de aço carbono conformados a frio |
| A 501 | Tubos estruturais de aço carbono conformados a quente |
| A 514/A 514 M | Chapas de aço liga de alta tensão de alta resistência, temperado e revenido, adequado para soldagem |
| A 529/A 529 M | Aço estrutural com escoamento mínimo de 42 000 psi (290 MPa) (espessura máxima 12.7 mm) |
| A 572/A 572 M | Aço Nióbio - Vanádio de alta resistência e baixa liga com qualidade estrutural |
| A 573/A 573 M | Chapas de aço carbono estrutural de tenacidade melhorada |
| A 588/A 588 M | Aços de alta resistência e baixa liga com escoamento mínimo de 50 ksi (345 MPa) (até 4" de espessura) |
| A 606 | Chapas e tiras de aço de alta resistência e baixa liga, laminados a frio ou a quente com resistência à corrosão atmosférica melhorada |
| A 615/A615M | Barras de aço lisas e ranhuradas para reforço de concreto |
| A 616 | Barras de aço para trilho, lisas e ranhuradas para reforço de concreto |
| A 617 | Barras de aço para eixo, lisas e ranhuradas para reforço de concreto |
| A 618 | Tubos estruturais de aço de alta resistência e baixa liga conformados a quente |
| A 633/A 633 M | Aço estrutural de alta resistência e baixa liga normalizado |
| A 656/A 656 M | Chapa de aço de alta resistência e baixa liga, laminada a quente com deformabilidade melhorada |
| A 678/A 678 M | Chapas de aço carbono temperadas e revenidas para aplicações estruturais |
| A 690/A 690 M | Chapas- perfis interconectáveis e perfis H de aço de alta resistência e baixa liga para uso em ambientes marítimos |
| A 699 | Placas, formas estruturais e barras de aço manganês molibdênio-nióbio de baixo carbono. |
| A 709 | Aço estrutural para pontes |
| A710/A710 M | Aço envelhecível Ni-Cu-Cr-Mo-Nb, Ni-Cu-Nb e Ni-Cu-Mn-Mo-Nb de baixo carbono. |
| A 769 | Formas de aço soldadas por resistência elétrica |
| A 786/A 786 M | Chapas laminadas de aço para piso |
| A 808/A 808 M | Aço carbono, manganês , nióbio, vanádio de alta resistência e baixa liga de qualidade estrutural, com tenacidade ao entalhe melhorada |
| A 827 | Chapas, Aço carbono , para forjamento e aplicações similares |
| A 829 | Chapas, Aço liga, qualidade estrutural |
| A 830 | Chapa aço carbono, qualidade estrutural |
| A 847 | Tubos estruturais de aço de alta resistência e baixa liga conformados a frio |
| A 852 | Aço estrutural de alta resistência temperado e revenido para construções soldadas ou parafusadas de pontes e edifícios com resistência à corrosão melhorada |
| A 992/A 992M | Formas estruturais para edificações, pontes e outros usos |
| A1011/A1011M | Chapas e tiras laminadas a quente, de aço carbono etrutural, aço de alta resistência e baixa liga com ductilidade melhorada. |