

# **Manual de Estruturas Mistas**

## **Conceitos básicos para utilização no CYPECAD**

# Índice

1. Pilares	3
2. Vigas metálicas e mistas	5
• <i>Dimensionamento de vigas mistas</i>	7
3. Lajes Mistas	8
• <i>Dimensionamento de Lajes Mistas</i>	10
4. Cálculo da estrutura:	13

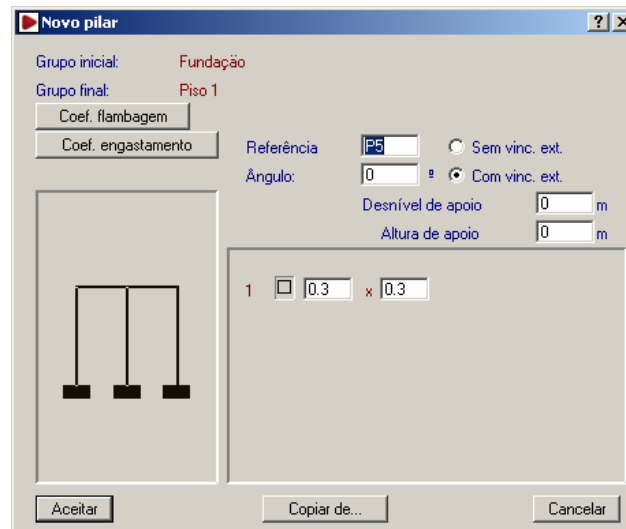
## Estruturas mistas

Com o CYPECAD é possível calcular estruturas mistas aço/concreto, utilizando pilares metálicos, vigas metálicas, vigas mistas e lajes mistas.

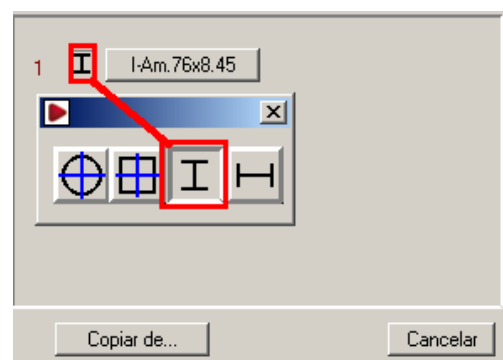
Os pilares e as vigas serão calculados e verificados pela norma selecionada (em nosso caso a NBR8800 ou a NBR 14762) enquanto as lajes mistas e vigas mistas serão sempre calculadas com o Eurocode 4.

### 1. Pilares

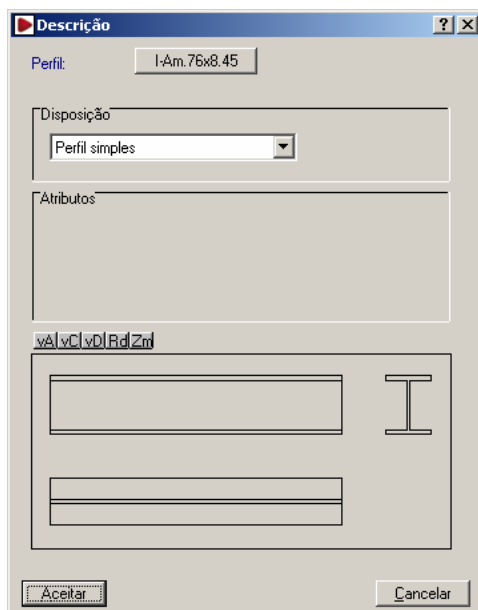
Para lançar pilares metálicos no CYPECAD primeiramente devemos estar na guia inferior **entrada de pilares**, em seguida acessar o menu superior **Introdução > Pilares, pilares-paredes e elementos de fundação > Novo pilar**. Nesta etapa estaremos visualizando a seguinte janela:



Agora vamos clicar sobre o ícone que representa o pilar ao lado do número 1 ao clicar temos 4 opções: a primeira representando pilares circulares, retangulares e por último colunas metálicas.

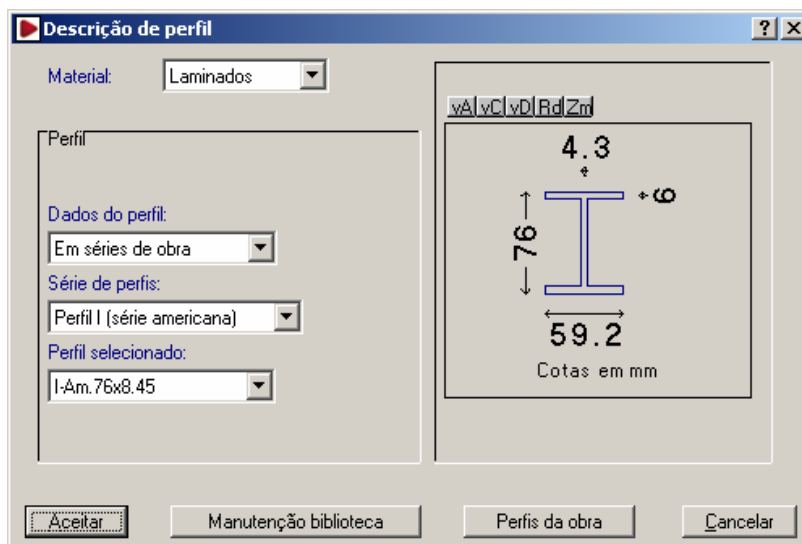


Ao clicar em uma das duas disposições veremos que a sessão do pilar desapareceu dando lugar ao nome do perfil metálico que está sendo utilizado, para selecionar o perfil clique sobre o nome do perfil. Será exibida a seguinte janela para **seleção do perfil**:



- Para trocar o perfil clique sobre o botão na área **Perfil**.
- Na área **Disposição** podemos definir como será introduzida esta coluna, ex: caixa dupla soldada, meio perfil etc.
- Na área **Atributos** podemos definir presilhas, cordões de solda, espaçamentos etc, lembrando que os atributos só estarão disponíveis quando uma das opções de **disposição** for habilitada.

Clicando sobre o botão **perfil** temos a seguinte janela:



Aqui temos uma série de dados que podem ser selecionados:

#### **Material:**

Permite selecionar o material dos perfis, laminados, soldados ou dobrados

#### **Dados do perfil:**

Existem duas opções:

- *em série de obra* :

Com esta opção selecionada temos uma biblioteca pré-definida onde é possível selecionar perfis já cadastrados.

- *editável*

Nesta opção é possível selecionar o tipo de perfil e definir suas dimensões e características.

#### **Série de perfis:**

Aqui podemos definir qual o tipo de perfil, I, W, U etc.

#### **Perfil selecionado:**

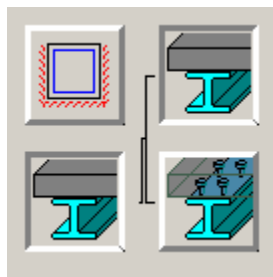
Aqui vamos selecionar o perfil da série que será utilizado.

Os botões **Manutenção da Biblioteca** e **Perfis da obra** servem exclusivamente para cadastrar novas bibliotecas e criar novas séries de perfis.

Pressione o botão **Aceitar** e realize o lançamento da coluna em sua obra.

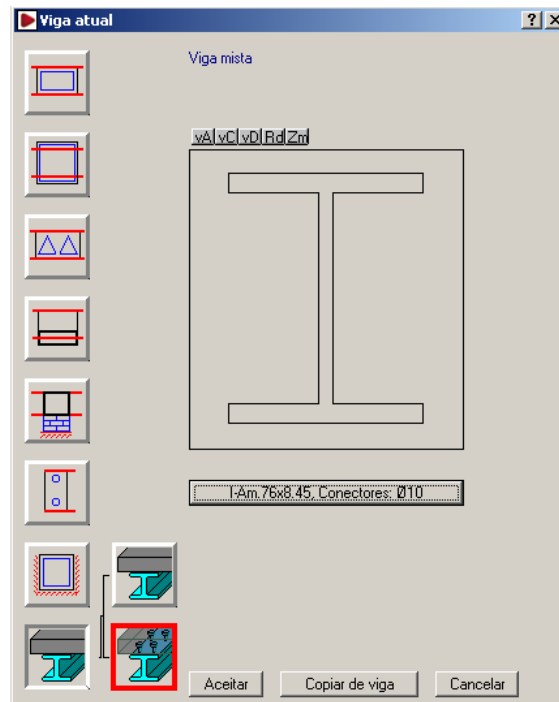
## **2. Vigas metálicas e mistas**

Para lançar as vigas vá a guia inferior **Entrada de pavimento** e ao menu superior **Vigas/Paredes > Entrar Viga** será exibida a janela de **Viga Atual**. Selecione a última família de vigas, esta família representa as vigas metálicas. Existem duas opções dentro desta família a primeira representando as vigas metálicas e a segunda as vigas mistas.



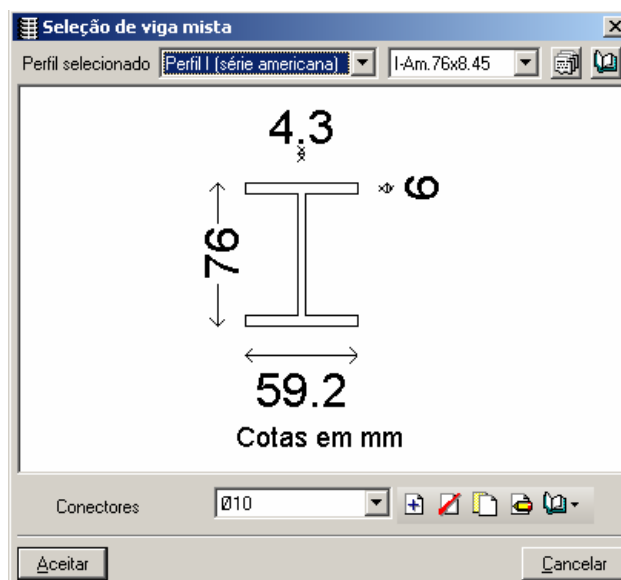
Clicando na primeira opção temos novamente o botão com o nome do perfil metálico que está sendo utilizado, ao clicar sobre este botão iremos retornar a mesma janela de pilares para **seleção do perfil**. Esta viga será calculada de acordo com a norma selecionada e o material utilizado (8800 ou 14762).

Clicando sobre a segunda opção **Vigas mistas** temos a seguinte janela:



Podemos utilizar perfis de aço (do tipo I) laminados ou soldados sob laje de concreto colaborante através da utilização de conectores.

Podemos ver novamente o botão de **seleção de perfil** mas com uma informação adicional, os conectores. Clicando sobre este botão temos a seguinte janela:



É possível selecionar o tipo de perfil I que será utilizado e seus conectores

Abaixo temos os conectores que podem ser cadastrados clicando-se no sinal de adição ao lado da bitola do conector. No cadastro teremos a seguinte janela:

**Criar - [Parafusos conectores para estrutura mista]**

Referência

Diagrama de um conector T com dimensões:

- $\varnothing_1$  (Diâmetro da cabeça)
- A (Espessura da cabeça)
- h (Comprimento total)
- $\varnothing_2$  (Diâmetro nominal)

Parâmetros de configuração:

Diâmetro da cabeça ( $\varnothing_1$ )	32.0	mm
Espessura da cabeça (A)	9.0	mm
Diâmetro nominal ( $\varnothing_2$ )	16.0	mm
Comprimento mín. (h)	65.0	mm
Tensão de ruptura	2400.0	kgf/cm²

Aceitar Cancelar

## Dimensionamento de vigas mistas

O cálculo e o dimensionamento das vigas mistas será realizado pelo **Eurocode 4: Projeto para estruturas mistas aço-concreto. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.**

O dimensionamento das vigas mistas é realizado de maneira que na zona de momentos negativos o perfil metálico resista a todos os esforços e na zona positiva resista à seção mista. Nos apoios de vigas mistas aplica-se um coeficiente de engastamento de 0.05 com o objetivo de reduzir os momentos negativos nos apoios e aumentar os positivos.

Quanto ao cálculo de flexão não é necessário indicar a largura do banzo de concreto colaborante tendo em vista que o programa já calcula este parâmetro.

- Em lajes maciças é definido como a largura eficaz definida no **Eurocode 4**
- Em lajes maciças inclinadas, nervuradas, lajes alveolares e lajes de vigotas será considerado como o mínimo entre a largura eficaz e a largura do banzo mais 10cm de cada lado (se não for uma viga de borda caso seja o programa calcula a largura do banzo mais 10 cm)

Para a verificação de seções para momentos positivos a largura eficaz é diferente da considerada para o cálculo de momentos negativos, por isso no editor de vigas o que aparece é a largura eficaz na zona de momentos negativos:



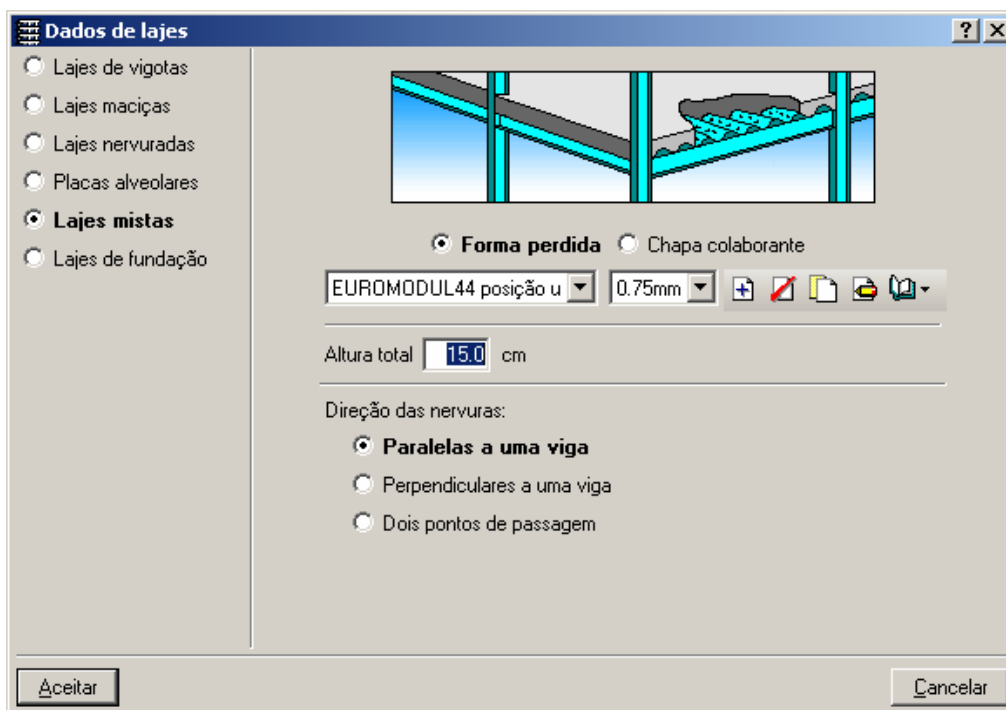
Caso seja necessário devem-se introduzir manualmente as armaduras nos apoios já que o programa ainda não realiza este dimensionamento.

O programa dimensiona também os conectores, verificando qual dos conectores cadastrados será utilizado.

### 3. Lajes Mistas

O CYPECAD trabalha também com o cálculo de lajes mistas steel deck. Para realizar o lançamento destes elementos deve-se acessar a guia inferior **Entrada de pavimentos** e acessar o menu superior **Lajes > Dados de Lajes > Introduzir Lajes** e seleccionar a opção **Lajes Mistas**.

Teremos a seguinte janela:



Nesta janela iremos definir todos os dados da chapa que será utilizada. Antes será importante entender alguns conceitos, o CYPECAD realiza duas etapas para o cálculo de lajes mistas:

- **Fase de construção:** Momento em que a laje está sendo construída.
- **Fase de utilização:** Momento em que a laje já está sendo utilizada.



As lajes mistas são compostas de uma laje e de uma chapa com nervuras que serve de apoio à primeira. Pode-se utilizar esta chapa de duas maneiras:

### Forma perdida:

Na *fase de construção* a chapa resiste ao seu peso próprio, ao peso do concreto fresco e às cargas de construção. Na *fase de utilização* é unicamente a laje de concreto armado que resiste aos esforços.

### Chapa colaborante (comportamento misto):

Na *fase de construção* a chapa resiste ao seu peso próprio, ao peso do concreto fresco e às cargas de construção. Na *fase de utilização* considera-se que a chapa se combina estruturalmente com o concreto endurecido, atuando como armadura a tração resistindo aos momentos positivos na laje acabada. A chapa é capaz de transmitir tensões na sua interface com o concreto sempre e quando houver um sistema mecânico proporcionado por deformações na chapa (saliências ou reentrâncias).

A próxima etapa será a seleção do fabricante (dependendo do tipo de forma) e a espessura da chapa. No final basta definir qual será a altura total da laje. Clicando-se no sinal de adição é possível cadastrar novas lajes, mas lembre-se que o cadastro para cada tipo de forma é **diferente**. A diferença crucial entre forma perdida e chapa colaborante é a presença do coeficiente m-k da chapa colaborante.

Abaixo segue uma janela de cadastro de uma **chapa colaborante**:

A janela de cadastro apresenta os seguintes campos e dados:

Edição de série - [Lajes mistas com chapa colaborante]			
Nome	HLM-60/220		
Descrição	HIASA - GRUPO GONVARRI		
Altura (1)	60 mm	Largura superior (2)	93 mm
Entre-eixos (3)	220 mm	Largura inferior (4)	60 mm
Largura painel (5)	880 mm	Limite elástico	2446 kgf/cm²

Tipo de emenda:

☐ Superior

☒ Inferior

Referência:

Referência	Espe- ssura	Peso superficial	Seção útil	Momento de inércia	Módulo de resistência	m	k
0.70mm	0.70 mm	7.21 kgf/m²	9.19 cm²/m	59.74 cm⁴/m	16.71 cm³/m	1034.72 kgf/cm²	0.459 kgf/cm²
0.80mm							
1.00mm							
1.20mm							

Botões: Aceitar, Cancelar

Nesta janela devem-se definir os principais dados geométricos como: altura espessura, entre-eixos etc, o tipo de emenda das chapas e ainda cadastrar os dados estruturais para **cada** espessura de chapa criada.

Os parâmetros são:

- Peso superficial
- Seção útil
- Momento de inércia
- Módulo de resistência
- Limite elástico
- m (\*)
- k (\*)

(\*) Estes valores representam o método m-k para avaliação da força cortante longitudinal última em lajes mistas de aço e concreto e devem ser obtidos com o fabricante do produto.

## Dimensionamento de Lajes Mistas

O cálculo e o dimensionamento serão realizados segundo o **Eurocode 4: Projeto para estruturas mistas aço-concreto. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.**

As lajes mistas são aplicáveis a projetos de estruturas nas quais as cargas impostas são predominantemente estáticas, incluindo edifícios industriais cujas lajes podem estar submetidas a cargas móveis.

Limita-se a altura total da laje mista, a espessura sobre as nervuras das chapas e a altura mínima dos parafusos ou pinos sobre as nervuras (no caso de vigas mistas).

A chapa pode apoiar-se sobre vigas metálicas, vigas mistas, vigas de concreto, muros etc. Sendo necessário um apoio mínimo que o programa atualmente não calcula.

O projeto de cálculo e dimensionamento realiza-se em duas fases como visto anteriormente:

### a) Em fase de construção

- Para o cálculo de resistência da chapa leva-se em conta o peso próprio da chapa, do concreto e das cargas de construção.
- Para o cálculo das flechas não se leva em conta às cargas de construção.
- Considera-se internamente um coeficiente de engastamento 0 das lajes com as vigas perimetrais (vigas isostáticas).
- Existe a opção para dimensionar a chapa no caso do não cumprimento de algum estado limite ou então calcular a separação entre os escoramentos sem dimensionar a chapa. Se no primeiro caso não for obtido um resultado válido, calcula-se o espaçamento entre as escoras.

### b) Em fase de utilização

- Na fase de utilização parte-se da chapa calculada na fase anterior.
- Como padrão o programa atribui as lajes um coeficiente de engastamento 0, para que a distribuição de cargas nas vigas onde se apóia a laje se realize de acordo com a largura de banda teórica e para evitar o aparecimento de momentos positivos em apoios intermediários. Isto só é possível como já se explicou atribuindo um coeficiente de engastamento de 0, independente da rigidez das vigas, ou pré-dimensionando corretamente as vigas. Realizado um primeiro cálculo e dimensionamento das vigas, o utilizador pode substituir o coeficiente de engastamento por outro (entre 0 e 1) e

repetir o cálculo. Se o utilizador atribuir um coeficiente de engastamento diferente de 0, podem ocorrer duas coisas:

1. Na fase anterior obteve-se uma laje sem escoramentos (autoportante), uma vez que se encontrou uma chapa que resiste aos esforços na fase de construção. Neste caso a laje deve ser calculada apenas com a carga adicional posterior à execução da laje, formada pelos revestimentos, paredes e pela sobrecarga uma vez que a chapa se encarrega de suportar a carga permanente da laje. A maneira que o programa leva em conta de forma aproximada somente estas cargas, é aplicando coeficientes de engastamento que são calculados e aplicados internamente para lajes com continuidade. De forma orientativa considera-se que o valor do coeficiente de engastamento atribuído às lajes depende da relação entre a carga permanente da laje e a carga total, supondo um estado de cargas uniforme. O valor do coeficiente de engastamento seria:  $\text{Coef. Engastamento} = \text{Coef. Engastamento do utilizador} \times (1 - (\text{carga permanente laje} / \text{carga total}))$ .
2. Na fase anterior obteve-se uma laje com escoramentos. Neste caso o programa considera na fase de utilização o total da carga = carga permanente + sobrecarga.
  - Existe a opção para dimensionar ou não a chapa. É possível optar por dimensionar a armadura positiva, mesmo que tenha selecionado a opção para dimensionar e não tenha se encontrado uma chapa na série que cumpra os esforços. Em ambos os casos se forem armadas para momentos positivos dispensa-se à colaboração da chapa.
  - Quando for necessário colocar armadura, será colocada pelo menos uma barra em cada nervura.

A resistência de uma laje mista deve ser suficiente para suportar as ações de cálculo e para assegurar que nenhum estado limite seja atingido, com base num dos seguintes modos de ruptura:

- **Seção crítica I. Flexão: resistência à flexão.** Esta seção pode ser crítica se houver uma conexão de corte completa na interface entre a chapa e o concreto.
- **Seção crítica II. Corte longitudinal: resistência ao corte longitudinal.** A carga máxima na laje é determinada pela resistência da conexão do corte. O momento último de resistência na Seção I não pode ser atingido. Esta situação é definida como conexão de corte parcial.
- **Seção crítica III. Corte vertical e punção: resistência ao corte vertical.** Esta seção só será crítica em casos especiais, por

exemplo, em lajes espessas de vão curto com cargas relativamente elevadas.

O valor do momento fletor resistente de qualquer seção determina-se pela teoria do momento resistente plástico de uma seção com conexão completa. No que se refere à área efetiva das chapas de aço, a largura das dobras e das reentrâncias das chapas deve ser desprezada, a não ser que se demonstre, por meio de ensaios, que a área útil é maior. O programa calcula o valor do momento resistente positivo de uma laje mista em função da posição da fibra neutra. Podendo estar acima da chapa ou dentro da mesma. Para o cálculo do corte longitudinal determina-se o valor de cálculo do esforço transversal, que é em função dos coeficientes 'm-k' fornecidos pelo fabricante da chapa.

Outros fatores devem ser levados em consideração:

- Determina-se o valor de cálculo do esforço transversal resistente da laje mista.
- Não se analisa o funcionamento perante cargas concentradas.
- Não se analisa a fissuração em regiões de momento fletor negativo.
- Para o cálculo de flechas aplica-se o **método de Branson**, dado que é conhecida tanto a armadura superior como a inferior (quer seja chapa, quer seja armadura positiva).
- Nas opções de cálculo do programa definem-se os coeficientes de flecha para a fase de construção e para a de utilização.

Com já se disse anteriormente, o programa verifica e dimensiona para que não se superem os limites de flecha definidos para a *fase de construção*, aumentando a espessura da chapa ou colocando escoramentos; mas na *fase de utilização* apenas se verifica a flecha, não se dimensiona a chapa, para que se cumpram os limites de flecha definidos para a *fase de utilização*, uma vez que o que pode solucionar este problema é um aumento da altura total da laje.

#### 4. Cálculo da estrutura:

Após pedir o cálculo da estrutura serão exibidas as seguintes mensagens relativas ao cálculo:

**Opções de dimensionamento**

**Pilares metálicos**

☐ Dimensionar perfis metálicos

☐ Utilizando perfis da série superiores ao atual

☒ Utilizando todos os perfis da série

**Vigas metálicas**

☐ Dimensionar perfis metálicos

☐ Utilizando perfis da série superiores ao atual

☒ Utilizando todos os perfis da série

**Vigas metálicas inclinadas**

☐ Dimensionar perfis metálicos

☐ Utilizando perfis da série superiores ao atual

☒ Utilizando todos os perfis da série

**Estruturas 3D integradas**

☐ Dimensionar

☐ Utilizando perfis da série superiores ao atual

☒ Utilizando todos os perfis da série

**Lajes mistas (em fase de construção)**

☒ Selecionar um perfil que permita que não se utilizem escoras na fase de construção

☐ Utilizando perfis da série superiores ao atual

☒ Utilizando todos os perfis da série

**Lajes mistas com chapa colaborante**

☐ Manter a chapa colocada e colocar barras de reforço para momentos positivos se esta não passar

☒ Dimensionar a espessura da chapa

☐ Utilizando perfis da série superiores ao atual

☒ Utilizando todos os perfis da série

☒ Se o perfil máximo não passa, colocar barras de reforço de momentos positivos

**Aceitar** **Cancelar**

##### **Pilares metálicos:**

Existem duas opções para dimensionamento:

- **Utilizando perfis da série superiores ao atual:**  
O programa irá dimensionar o perfil a partir do perfil escolhido, sendo este o mínimo ou seja, caso um perfil menor passe o programa irá manter o perfil definido pelo usuário.
- **Utilizando todos os perfis da série**  
O programa irá dimensionar os perfis da coluna utilizando todos os perfis da série independente do perfil selecionado pelo usuário.

##### **Vigas metálicas:**

Existem duas opções para dimensionamento:

- **Utilizando perfis da série superiores ao atual:**  
O programa irá dimensionar o perfil a partir do perfil escolhido, sendo este o mínimo ou seja, caso um perfil menor passe o programa irá manter o perfil definido pelo usuário.
- **Utilizando todos os perfis da série**  
O programa irá dimensionar os perfis da coluna utilizando todos os perfis da série independente do perfil selecionado pelo usuário.

**Lajes mistas: (em fase de construção)**

O importante desta etapa é a seleção do perfil, para que sejam utilizadas escoras ou não: **“Selecionar um perfil que não permita que se utilizem escoras na fase de construção”** caso não exista nenhum perfil, será introduzida a chapa lançada pelo usuário.

Existem duas opções para dimensionamento:

- **Utilizando perfis da série superiores ao atual:**

O programa irá dimensionar o perfil a partir do perfil escolhido, sendo este o mínimo ou seja, caso um perfil menor passe o programa irá manter o perfil definido pelo usuário.

- **Utilizando todos os perfis da série**

O programa irá dimensionar os perfis da coluna utilizando todos os perfis da série independente do perfil selecionado pelo usuário.

**Lajes mistas com chapa colaborante:**

Esta opção faz referência à segunda fase, a fase de utilização.

Aqui se pode escolher manter a chapa e introduzir armaduras positivas, ou dimensionar a chapa para evitar as armaduras positivas. Temos nesta opção as mesmas das séries referentes a vigas e pilares.