

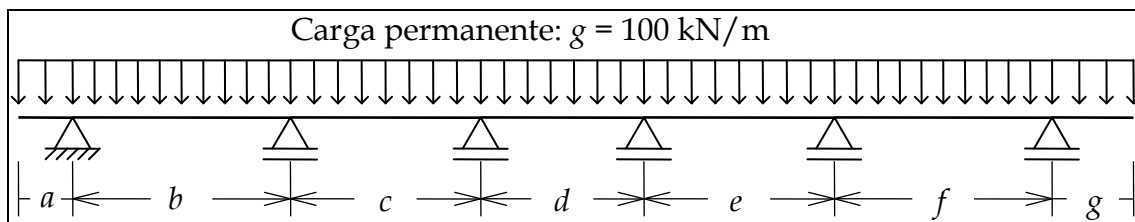
ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 2º Semestre - 2020

1ª questão do grau G3 (1,5 pontos) - carregamento móvel e linhas de influência

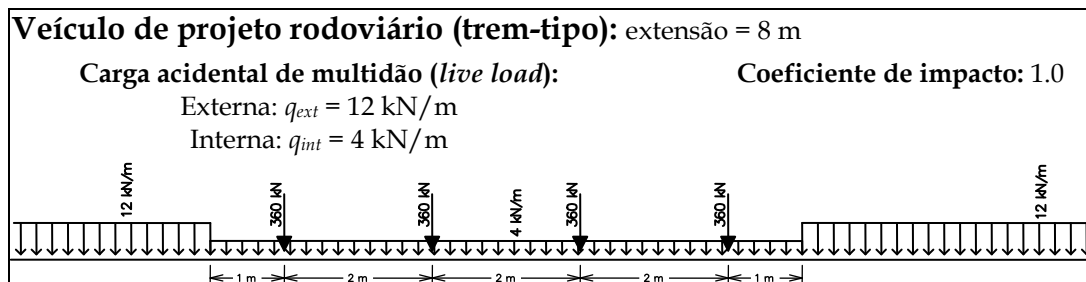
Aplicação: 23/11/2020 - Entrega: 30/11/2020

Utilizando o Ftool, determine envoltórias de mínimos e máximos de esforço cortante e momento fletor para o modelo estrutural da viga contínua com balanços de uma ponte mostrados abaixo. Cada aluno tem um conjunto de valores diferentes para os comprimentos dos vãos e balanços da viga. Veja valores para esses comprimentos (parâmetros a, b, c, d, e, f e g) na tabela na próxima página. Utilize o módulo de elasticidade do concreto. As seções transversais da viga e dos pilares da ponte estão mostradas abaixo. A ponte está solicitada por uma carga permanente uniformemente distribuída (g) e por um carregamento móvel, que é o veículo de projeto (trem-tipo) com quatro cargas concentradas e cargas acidentais de multidão uniformemente distribuídas, q_{int} e q_{ext} , conforme indicado. As envoltórias devem ser traçadas para o efeito combinado da carga permanente e do veículo de projeto. Os valores das envoltórias devem ser mostradas com um passo de visualização de 2 metros, isto é, os valores devem ser mostrados em seções dos elementos estruturais da ponte a cada 2 metros.

O trabalho consiste em escrever um relatório descrevendo, com figuras, os procedimentos para determinação das envoltórias. A nota do trabalho vai ser baseada no conteúdo e na qualidade de apresentação do relatório. No relatório deve constar uma memória de cálculo para a verificação dos valores mínimos e máximos calculados para as envoltórias de esforço cortante e de momento fletor na seção central do terceiro vão da viga da ponte (vão com comprimento d). As linhas de influência nesta seção devem ser desenhadas e devem ser indicadas as posições do carregamento móvel que determinam os valores mínimos e máximos de esforço cortante e momento fletor para esta seção. As áreas das linhas de influência, nos seus trechos positivos e negativos, devem ser calculadas com base nas ordenadas da linha de influência usando a regra dos trapézios.



Parâmetros da seção transversal										
Viga (T-shape)		<table border="1"> <tr> <td>d:</td> <td>1.20 m</td> </tr> <tr> <td>b:</td> <td>1.00 m</td> </tr> <tr> <td>tw:</td> <td>0.40 m</td> </tr> <tr> <td>tf:</td> <td>0.40 m</td> </tr> </table>	d:	1.20 m	b:	1.00 m	tw:	0.40 m	tf:	0.40 m
d:	1.20 m									
b:	1.00 m									
tw:	0.40 m									
tf:	0.40 m									



Na *homepage* da disciplina tem disponível um roteiro para criação de um modelo de ponte com trem-tipo, e visualização de posições críticas do trem-tipo ao longo de linhas de influência e de envoltórias de esforços internos: http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool400roteirotremtipo.pdf.

Atenção: o modelo estrutural do roteiro é diferente do modelo da viga contínua com balanços desta questão.

Sugestão de opções de configuração no Ftool:

Unidades: kN-m

Número de casas decimais para distâncias: 0 (nenhuma casa decimal)

Número de casas decimais para forças: 1

Número de casas decimais para momentos: 1

Número de casas decimais para cargas distribuídas: 0 (nenhuma casa decimal)

Número de casas decimais para dimensões de seção transversal (em metros): 2

Tamanho do passo (*Step*) de visualização: 2 m

Opção de desenho de valores de resultados (*Display/Result Values*): ativa.

Opção de desenho de valores de resultados em passos (*Display/Step Values*): ativa.

Opção de desenho transversal de valores de resultados (*Display/Transversal Values*): ativa.

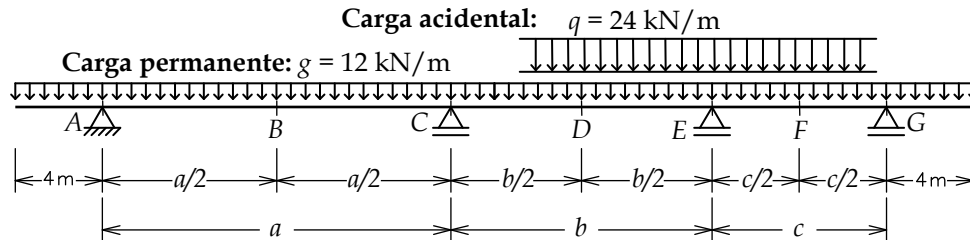
Opção de desenho de sinais de momentos fletores (*Display/Bending Moment Signs*): ativa.

Dimensões dos vãos [m]							
Matrícula	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
1511292	4	16	14	12	14	16	6
1511561	4	14	16	12	14	16	6
1512423	4	16	12	16	12	16	6
1512618	4	16	16	12	12	16	6
1520208	4	16	14	12	16	14	6
1521066	6	16	14	12	14	16	4
1611768	6	14	16	12	14	16	4
1612011	6	16	14	16	14	16	4
1612648	6	16	12	16	12	16	4
1612752	6	16	14	12	16	14	4
1621373	4	12	14	16	14	16	6
1712112	4	14	14	12	16	16	6
1712989	4	16	16	12	14	14	6
1810339	4	16	14	16	14	12	6
1810501	4	16	14	12	14	16	6
1810989	6	12	14	16	14	16	4
1811351	6	14	14	12	16	16	4
1812121	6	16	16	12	14	14	4
1920621	6	16	12	16	16	12	4

ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 2º Semestre - 2020

2ª questão do grau G3 (4,0 pontos) - Aplicação: 02/12/2020 - Entrega: 14/12/2020

Considere a viga abaixo com carga permanente (g) e carga acidental (q) uniformemente distribuídas mostradas. Cada aluno tem um conjunto de valores para os parâmetros de comprimento (a , b , e c). Consulte pelo número de matrícula os dados do seu modelo na tabela fornecida. Adote para toda a viga um módulo de elasticidade do material $E = 2 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ e uma seção transversal retangular com base 0.30 m e altura 0.60 m.



Matrícula	a [m]	b [m]	c [m]
1511292	20	16	20
1511561	20	16	16
1512423	20	16	12
1512618	20	16	8
1520208	16	12	4
1521066	16	12	20
1611768	16	12	16
1612011	16	12	12
1612648	12	8	8
1612752	12	8	4
1621373	12	8	20
1712112	12	8	16
1712989	8	4	12
1810339	8	4	8
1810501	8	4	4
1810989	8	4	20
1811351	4	20	16
1812121	4	20	12
1920621	4	20	8

Pede-se:

Item (a) (0,5 ponto)

Utilizando o Ftool trace as linhas de influência de momentos fletores para as seções A , B , C , D , E , F e G indicadas. Os valores das linhas de influência devem ser indicados com um passo (*Step*) de 2 m. Utilize 4 casas decimais para os valores das linhas de influência. Sugestão: para não acavalar os valores das linhas de influência, selecione a opção *Transversal Values* do menu *Display*.

Item (b) (1,0 ponto)

Crie um carregamento que possibilite o cálculo dos valores de todas as linhas de influência do item (a) na seção D . Mostre no diagrama de momentos fletores para esse carregamento onde estão esses valores, identificando-os por: valor da LIM_A em D , valor da LIM_B em D , valor da LIM_C em D , valor da LIM_D em D , valor da LIM_E em D , valor da LIM_F em D , e valor da LIM_G em D . Utilize 4 casas decimais para os valores dos momentos fletores.

Item (c) (0,5 ponto)

Com base nas linhas de influência traçadas no item (a), defina os carregamentos que devem atuar na viga de forma a minimizar e maximizar os momentos fletores nas seções indicadas. Indique, para cada carregamento, os trechos onde atuam somente a carga permanente e os trechos onde atuam a carga permanente junto com a carga acidental.

Item (d) (2,0 pontos)

Com base nas linhas de influência traçadas no item (a) e nos carregamentos definidos no item (c), calcule as envoltórias de mínimos e máximos de momentos fletores. As áreas dos trechos negativos e positivos das linhas de influência devem ser calculadas pela regra dos trapézios com um passo (*Step*) de 2 m. A unidade para os valores dos momentos fletores nas envoltórias deve ser $[\text{kNm}]$ e devem ser mostrados com duas casas decimais. Mostre as envoltórias determinadas pelo Ftool e compare com as envoltórias calculadas utilizando a regra dos trapézios.

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM EDÍFÍCIO DE CONCRETO ARMADO

ESTUDO DE CASO

1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DE PROJETO

Objetiva-se realizar a elaboração do projeto estrutural de um edifício de uso comercial (**Figura 1**), em concreto armado, com altura de 20 m e um total de oito níveis, compreendendo o térreo, quatro pavimentos tipo, cobertura, telhado e reservatório (**Figura 2**). O empreendimento será localizado entre a Rua do Rezende e a Rua do Lavradio, na cidade do Rio de Janeiro, possuindo uma área construída de 1.356,05 m² com uma taxa de ocupação de 46%, dimensões externas totais de 59 m x 36 m e perímetro construído de 210,01 m, conforme o detalhe da planta de situação apresentado na **Figura 3**.

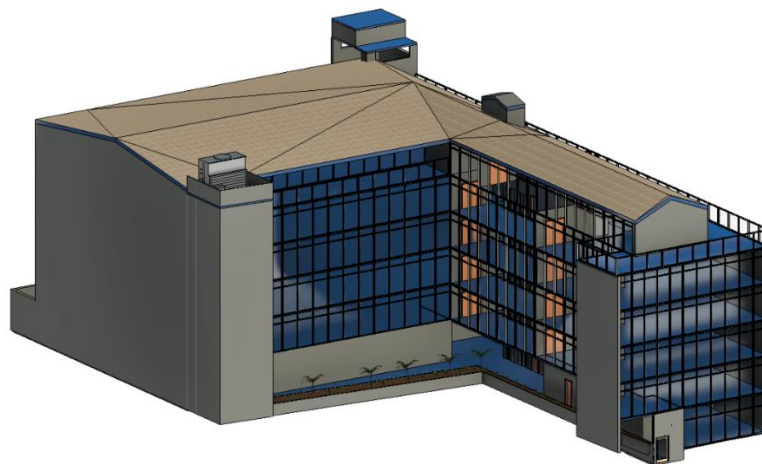


Figura 1 - Vista tridimensional do modelo arquitetônico

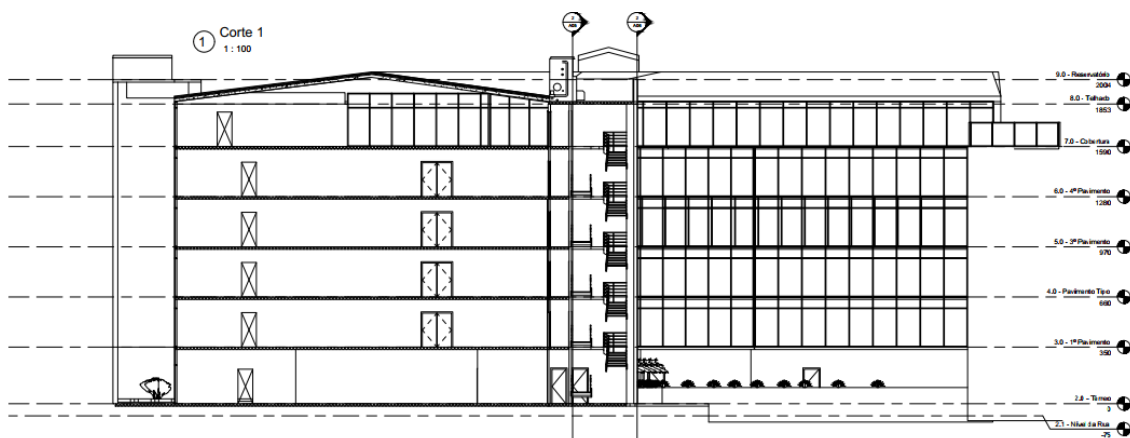


Figura 2 – Corte longitudinal do modelo arquitetônico

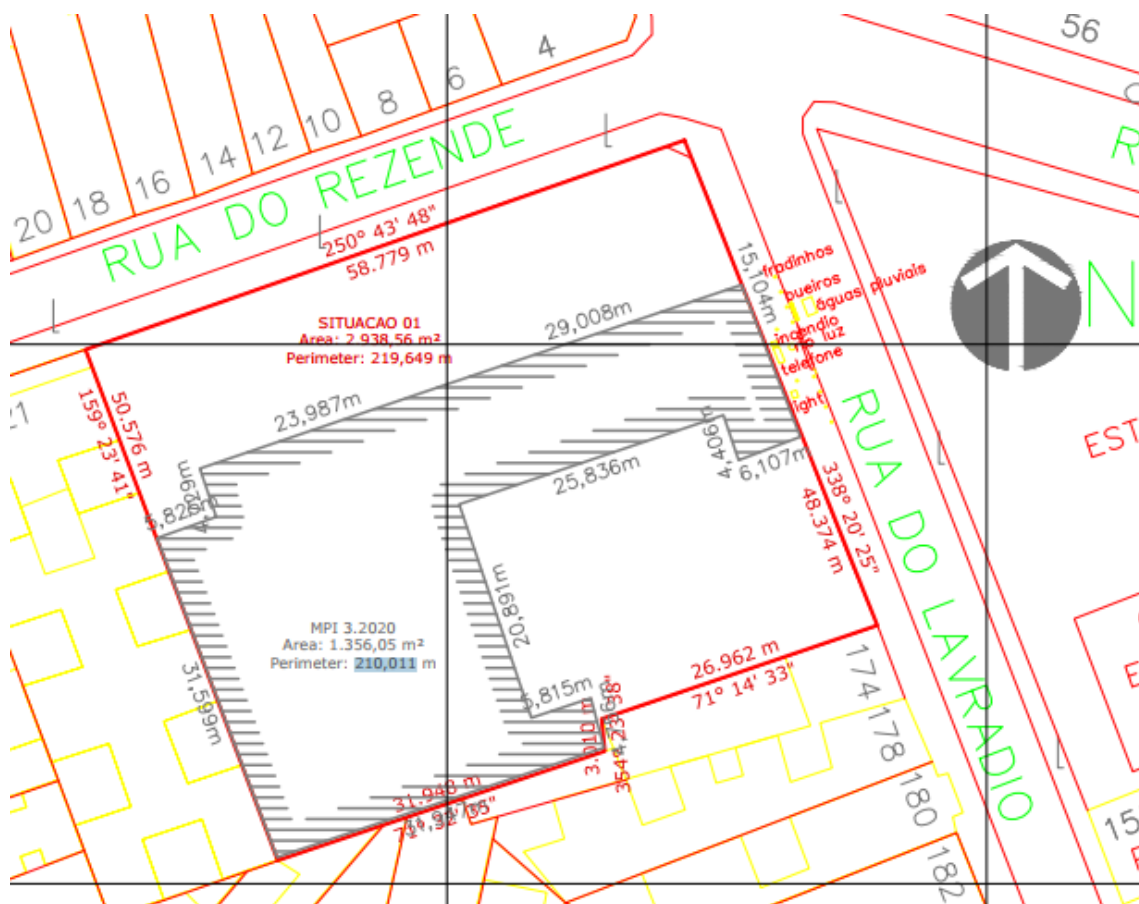


Figura 3 – Detalhe da planta de situação

Os arquivos arquitetônicos necessários para o desenvolvimento do projeto estrutural, nomeadamente, as plantas baixas, cortes (longitudinal e transversal), fachadas, plantas de cobertura e de situação se encontram disponíveis no grupo de trabalho “**ENG1204-20.2-MPI**” no Microsoft Teams:

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3ad9d6ad069d564f16819cd4d12506f0e7%40thread.tacv2/conversations?groupId=5f62e0ad-cd96-4e78-8a54-f54d9bc92ec8&tenantId=5894b841-8b59-454b-8a26-648e79cf1997>

Quanto à implementação computacional do projeto, os modelos estruturais e analíticos serão desenvolvidos com o auxílio dos programas Autodesk Revit e Robot, respectivamente. Deve-se ressaltar que os elementos estruturais a serem utilizados para compor a superestrutura do edifício serão divididos em três categorias: **lajes maciças** (estrutura terciária), **vigas** (estrutura secundária) e **pilares** (estrutura primária).

Conforme pode ser observado na **Figura 4**, prevê-se uma junta de dilatação transversalmente ao edifício. Isso significa que, sob o ponto de vista da análise estrutural, não há transmissão de esforços entre os dois lados separados por esta junta, o que implica que cada lado do edifício pode ser avaliado estruturalmente de forma independente. Nestes termos, cada grupo de trabalho ficará responsável por uma parte do edifício (**Figura 4**).

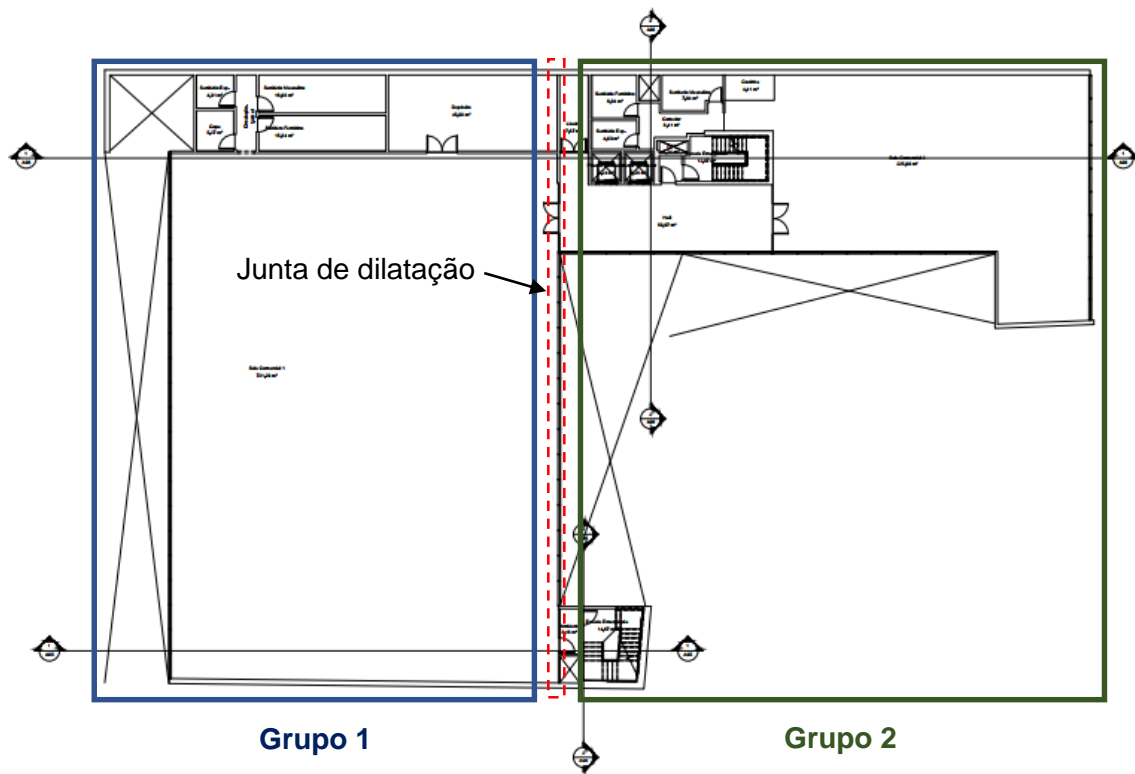


Figura 4 – Planta arquitetônica do pavimento tipo

2 ATRIBUIÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO ESTRUTURAL

Levando-se em conta as boas práticas de projeto, recomenda-se que este seja elaborado com base nas etapas sequenciais apresentadas na **Tabela 1**. Ressalta-se que para efeito do presente MPI, concomitantemente à disciplina de Análise Estrutural II, serão abordadas as etapas de 1 até 7. Na sequência do projeto, a etapa 8 será tratada em detalhes nos cursos de Concreto Armado I e II.

Tabela 1 – Etapas sequenciais do projeto estrutural

Etapa	Descrição	Disciplina de apoio
1	Concepção estrutural	Análise de Estruturas II e Concreto Armado I
2	Pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares / Estimativa de cargas	
3	Modelagem estrutural no software Revit	Análise de Estruturas II
4	Definição do modelo analítico no software Robot	
5	Levantamento de cargas (NBR 6120) / Combinações de carregamento (NBR 8681)	
6	Avaliação dos esforços estruturais no Robot	
7	Entrega final do anteprojeto de formas	
8	Dimensionamento dos elementos estruturais e detalhamento	Concreto Armado I e II

As atribuições de cada etapa estão descritas abaixo juntamente com as observações pertinentes:

- **ETAPA 1 – Concepção estrutural**
 - Posição dos pilares
 - Posição de vigas e pórticos
 - Posição das lajes
 - Simbologia da planta de formas

Observações:

O arranjo estrutural (lançamento dos pilares, vigas e lajes) deverá ser feito de maneira que se obtenha o melhor ajuste ao projeto de arquitetônico, considerando, simultaneamente, aspectos econômicos, facilidade construtiva e o comportamento global da edificação. Para tanto, o lançamento estrutural deve seguir diretrizes básicas provenientes da prática de projeto, por exemplo, através de critérios que determinam a distância entre os eixos dos pilares (vãos das vigas principais) e os vãos das lajes. Geralmente, quando há pavimento tipo, é usual começar o lançamento por ele.

Outro critério importante é que os elementos estruturais não devem ser dispostos aleatoriamente, mas sim, – sempre que possível – posicionados de maneira que sejam formados pórticos com a união de vigas e pilares nas duas direções. Este procedimento confere rigidez global ao edifício de modo que possa melhor resistir às ações verticais e horizontais (vento).

Antes de iniciar o lançamento estrutural, os grupos de trabalho devem seguir as orientações do **prof. Daniel Cardoso** (Estruturas de Concreto Armado I – ENG1218) através dos seguintes vídeos disponibilizados no grupo “**ENG1204-20.2-MPI**”: “*Oficina 1 - Lançamento e pré-dimensionamento dos pilares.mp4*” e “*Oficina 2 - Lançamento e pré-dimensionamento de vigas e lajes.mp4*”. Entretanto, cada grupo de trabalho tem autonomia para definir o próprio arranjo estrutural.

Informações complementares a este tema podem ser obtidas pelo arquivo “*Arranjo estrutural Climaco.pdf*”.

¹CLÍMACO, J.C.T DE S. Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier; Brasília, DF: Ed. UnB, 2016.

- **ETAPA 2 – Pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares / Estimativa de cargas**
 - Definição das seções transversais dos pilares, das vigas (largura e altura) e altura das lajes

Observações:

Após o esboço inicial do lançamento estrutural, devem-se definir as dimensões dos elementos estruturais. Esta etapa não é desconectada da primeira porque algumas premissas podem modificar o arranjo estrutural inicial. Esta abordagem é igualmente feita nos vídeos “*Oficina 1 - Lançamento e pré-dimensionamento dos pilares.mp4*” e “*Oficina 2 - Lançamento e pré-dimensionamento de vigas e lajes.mp4*”.

Atenção: Caso o grupo não tenha conhecimento prévio do software Revit, não é obrigatório o seu uso durante as etapas 1 e 2. Estas poderão ser realizadas através de outros softwares (por exemplo, o Autocad) ou à mão.

- **ETAPA 3 – Modelagem estrutural no software Revit**
 - Lançamento da planta de formas do pavimento tipo
 - Verificação de interferências com a arquitetura do térreo
 - Lançamento da cobertura
 - Definição do sistema estrutural global do edifício

Observações:

Uma vez que as etapas 1 e 2 estejam concluídas, os grupos de trabalho poderão começar a modelagem estrutural no Revit. Deve-se iniciar pelo pavimento tipo e, em seguida, lançar os níveis abaixo e acima dele. É importante que as possíveis interferências entre o sistema estrutural e a arquitetura sejam verificadas nessa etapa. Finalmente, a coerência do edifício completo deve ser avaliada antes da definição do modelo analítico no Robot.

- **ETAPA 4 – Definição do modelo analítico no software Robot**
 - Exportação da superestrutura definida no Revit para o programa Robot.
 - Compatibilização das posições reais dos elementos estruturais em relação aos centroides das seções das vigas e colunas (*offset* transversal).
 - Verificação da superposição de segmentos de elementos estruturais nos encontros de vigas e colunas (*Offset* longitudinal). Pede-se a definição do modelo com e sem a consideração do *offset* longitudinal com fins de comparação.

Observações:

Uma vez concluído o modelo analítico no Robot, é recomendado que se proceda à verificação da consistência estrutural conferindo a conectividade de todos os elementos estruturais antes de proceder ao levantamento de cargas. Uma forma de verificação pode ser feita através da rodada de uma análise do modelo sem carregamento com a finalidade que o programa possa acusar possíveis defeitos de modelamento. Para a comparação do modelo com e sem *offset* longitudinal deverão ser definidos dois arquivos independentes no Robot, um para cada caso. Para ambos os casos, e de forma independente, serão aplicadas as cargas e combinações da etapa 5 e serão feitas as análises dos esforços e deslocamentos da etapa 6. Obviamente, a etapa 7 permanecerá única.

- **ETAPA 5 – Levantamento de cargas (NBR 6120) / Combinações de carregamento (NBR 8681)**
 - Cálculo e aplicação das cargas permanentes.
 - Determinação das sobrecargas de serviço e definição de no mínimo 5 casos de distribuição das cargas de serviço que sejam consideradas como mais desfavoráveis. O primeiro caso será determinado considerando que toda a área útil da edificação está em serviço.
 - Determinação das cargas de vento e definição de no mínimo quatro possíveis casos de aplicação da carga de vento.

- Determinação das combinações dos casos de carga para obtenção das envoltórias de esforços.

Observações:

No presente projeto as lajes não serão consideradas como parte do sistema estrutural, sendo necessária a determinação da carga permanente devido às lajes seguindo as diretrizes da norma **NBR 6120**. A definição dos casos de aplicação de cargas de serviço e cargas de vento deve ser feita sob a consideração de obter o resultado mais desfavorável para a estrutura (obtenção dos maiores valores de esforços internos). Como consulta sugerem-se os livros 'Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação'- CLÍMACO, J.C.T DE S., e 'Informática aplicada a estruturas de concreto armado'-ALIO KIMURA.

- **ETAPA 6 – Avaliação dos esforços estruturais e deslocamentos no Robot**
 - Determinação das envoltórias de esforços internos.
 - Determinação das solicitações (esforços internos) máximos para cada elemento tipo. Verificação do momento máximo recomendado nos elementos de viga para que esta não tenha falha sobre-armada (quando concreto em compressão falha antes que a armadura tracionada). O detalhe deste critério é fornecido nos documentos anexos do projeto.
 - Verificação dos deslocamentos máximos em relação aos limites sugeridos tabela 13.3 da norma NBR 6118.
 - Avaliação comparativa dos resultados obtidos com e sem consideração do offset longitudinal com respeito a esforços e deslocamentos máximos.

Observações:

Nesta etapa a apresentação de resultados deve ser feita facilitando a identificação dos esforços máximos na estrutura. Para tal, além da distribuição tridimensional dos esforços internos, sugere-se a apresentação de vistas frontais dos pórticos principais e secundários. As verificações de valores limites, tem como objetivo a realização de uma avaliação crítica dos esforços e deslocamentos obtidos assim como mostrar claramente a influência da consideração do offset longitudinal no cálculo dos esforços e deslocamentos máximos. É importante salientar que as verificações finais são feitas uma vez concluídas as etapas de dimensionamento final e cálculo dos reforços metálicos nos elementos estruturais. Tais etapas não são parte do escopo da presente disciplina.

- **ETAPA 7 – Entrega final do anteprojeto de formas**
 - Verificação da posição e dimensões finais do sistema estrutural no Revit.
 - Preparação do anteprojeto de formas (Plantas de forma).
 - Redação do relatório final.

Observações:

A verificação da posição final dos elementos estruturais deve levar em conta a compatibilização do projeto estrutural com o projeto arquitetônico e o modelo analítico determinado no Robot. A preparação das plantas deve ser feita seguindo as referências que serão proporcionadas no decorrer do projeto. O relatório final estará composto pela apresentação final do projeto (preferentemente em arquivo '.ppt'), o qual deve incluir os elementos mais ressaltantes de cada etapa do projeto. **O relatório deverá ser entregue até as 23:59h do dia 6 de dezembro de 2020**, primeiro dia das apresentações finais.

3 CRONOGRAMA DE MARCOS DO PROJETO

Os grupos de trabalho deverão apresentar as tarefas realizadas em cada etapa do projeto estrutural nas datas estipuladas conforme o cronograma apresentado na Error! Reference source not found..

Tabela 2 – Cronograma8 (Proposta)

Etapa	Data de entrega (apresentação)	Grupo	Tempo por apresentação
1, 2 e 3	21/10/2020	Todos os grupos	12 min
4 e 5	9/11/2020	Todos os grupos	12 min
6	25/11/2020	Todos os grupos	12 min
7 e Apresentação final (Entrega do arquivo no dia 6/12)	7/12/2020	1,2 e 3	25 min
7 e Apresentação final (Entrega do arquivo no dia 6/12)	9/12/2020	4, 5 e 6	25 min