

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO ANALISANDO A RIGIDEZ DO ENGASTAMENTO ENTRE VIGAS E PILARES E UTILIZANDO DIFERENTES CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.

Paula Deolindo Apolinário (1), Daiane dos Santos da Silva (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) *paulaapolinari@gmail.com*, (2) *dss.engcivil@gmail.com*

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso é caracterizado pela avaliação do comportamento de uma estrutura de concreto armado analisando a rigidez do engastamento entre vigas e pilares e utilizando diferentes classes de agressividade ambiental. A estrutura em estudo é constituída de oito pavimentos, sendo um pavimento térreo e garagem, e sete pavimentos tipo. Na sua concepção estrutural as vigas e pilares são de concreto armado, a laje do reservatório é do tipo maciça, e as demais pré-moldadas com vigotas. Os cálculos de fundação não foram considerados neste estudo. Para o dimensionamento da estrutura foi utilizado o *software* de cálculo estrutural Cypecad (2012). Todo o dimensionado foi realizado conforme dos procedimentos da NBR 6118 (2003) e pelas normas complementares. Após o cálculo e verificações dos erros de uma estrutura denominada como modelo, foram criadas dezesseis estruturas modificando a rigidez do engastamento (100%, 80%, 50% e 20%) e as classes de agressividade ambiental (I, II, III e VI). Foram adotadas quatro vigas e quatro pilares das estruturas para análise dos resultados. Como esperado, foi possível constatar em sua maioria que mesmo modificando a resistência do concreto, ou seja, a classe de agressividade ambiental, as estruturas com maior rigidez foram as que obtiveram menores deformações.

Palavras-Chave: Concreto Armado. Engastamento. Classe de Agressividade Ambiental. Deformações.

1. INTRODUÇÃO

Paralelo ao surgimento de novas tecnologias e sistemas construtivos, o concreto armado se mantém um aliado fiel para execução e reforma de edificações. Isso se deve ao princípio básico, segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2012), de que as peças ao combinarem o concreto e o aço, em uma única peça, proporcionam que essas tenham os esforços de tração absorvidos pelo seu componente metálico e os esforços de compressão pelo compósito.

Desta forma, um sistema estrutural é definido pelo conjunto de elementos estruturais, que são as lajes, vigas, pilares e fundações, que são projetados de

modo a receber e transmitir os esforços solicitados sem causar deformações excessivas e danos a estrutura global.

As lajes são submetidas a carregamentos resultantes do seu peso próprio aliado aos revestimentos e as cargas acidentais. Depois de recebidas pelas lajes, ou dispostas diretamente sobre, as cargas são transferidas as vigas, que são elementos horizontais, que podem estar apoiadas diretamente sobre os pilares, sobre outras vigas ou ainda sustentadas por uma das suas extremidades. Posterior a transferência dos esforços, sejam aqueles diretos como paredes ou através de lajes, as vigas lançam suas solicitações para os pilares. Esse componente da estrutura tem como função a transmissão das cargas até o solo, onde encontraram o último dos elementos em concreto armado da estrutura, a fundação.

A partir da compreensão da sequência seguida pelos esforços, o dimensionamento dos elementos deve ser efetuado. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2012, p. 41), “a finalidade do cálculo estrutural é garantir, com segurança adequada, que a estrutura mantenha certas características que possibilitem a utilização satisfatória da construção, durante sua vida útil, para finalidades para as quais foi concebida”. Desta forma, o dimensionamento deve ser balizado por normas técnicas que definem parâmetros mínimos e máximos que podemos adotar.

Com considerada relevância na durabilidade da estrutura de concreto quando observada a resistência às intempéries ambientais, tem-se a definição da classe de agressividade do local. Para tal, a utilização da Tabela 1 é necessária.

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental.

CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	AGRESSIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO GERAL DO TIPO DE AMBIENTE PARA EFEITO DE PROJETO	RISCO DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

Fonte: NBR 6118.

Outro ponto importante a ser considerado quanto ao comportamento das edificações são os vínculos. Estas ligações têm por finalidade restringir um ou mais graus de

liberdade. Segundo Recco (2007, p. 47), em um sistema estrutural quando uma viga se encontra com os apoios rotulados, ou seja, vínculos de rotações livres e deslocamentos impedidos, ao ser submetido a um carregamento, ocorre uma deformação na viga, aumentando o momento fletor positivo, exigindo assim uma maior área de aço na zona tracionada. Por sua vez, com rotações e deslocamentos restringidos, a ligação entre vigas e pilares considera-se engastados, e ao ser submetido a um carregamento, os vínculos nos apoios, impedem a rotação ocasionada pela flexão da viga gerando momentos fletores resistentes, que neste caso são negativos. Estes momentos negativos geram esforços de flexão nos pilares. No processo de cálculo deste trabalho, todas as ligações entre os elementos estruturais (vigas e pilares) são consideradas rígidas, transmitindo momentos fletores.

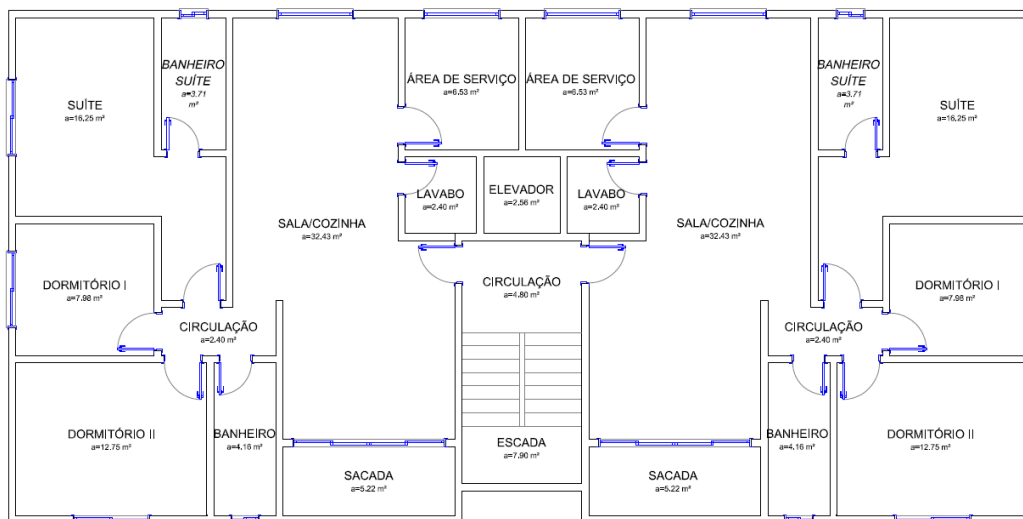
Diante do exposto o presente trabalho tem o intuito de avaliar o comportamento de uma estrutura de concreto armado quanto à interação entre a rigidez de engastamento vigas/pilares utilizando diferentes classes de agressividade ambiental, e assim, verificar qual configuração proporcionará melhor desempenho, conforme informações dispostas na NBR 6118 (2003).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA

A implantação da estrutura em estudo foi concebida a partir do projeto arquitetônico de um edifício residencial multifamiliar, constituído de oito pavimentos (sendo térreo e sete tipos), onde cada pavimento tipo apresenta dois apartamentos, conforme Figura 1, e o térreo é utilizado para hall e garagem. A construção possui área total construída de 1.983,56 m², possui altura piso a piso igual a 2,80 m. As paredes por sua vez, possuem espessuras de 15 cm, sendo compostas por tijolos cerâmicos, e o reservatório superior de água será de fibra com capacidade para 10.000 litros.

Figura 1 – Planta baixa pavimento tipo (7x).



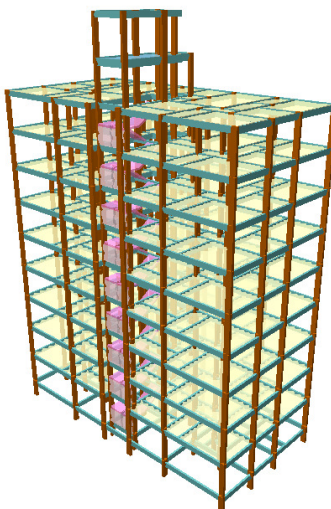
Fonte: Do Autor, 2014.

2.2 SOFTWARE DE CÁLCULO

Para a realização deste trabalho, utilizou-se *software* Cypecad (2012) aplicado ao cálculo de edificações de concreto armado, com um ou mais pavimentos. Os esforços nos elementos são possíveis de serem obtidos através de uma análise via pórtico espacial e também através do processo de pavimentos isolados, sendo que, cada elemento pode ser dimensionado e detalhado. O software atende aos requisitos das normas e foi configurado para a NBR 6118 (2003).

A Figura 2 mostra como ficou a estrutura modelo após seu lançamento no *software*.

Figura 2 – Estrutura modelo



Fonte: Do Autor, 2014.

2.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Inicialmente foram adotadas as dimensões dos elementos estruturais para realização do cálculo. Nos pilares foi adotada uma dimensão de 20x40 cm, valor o qual seria alterado caso necessário. As vigas que dão suporte ao reservatório definiram-se por seção transversal de 15x50 cm e as demais 15x40 cm. Para as lajes pré-moldadas foi adotada espessura de 12 cm (7 cm de enchimento e 5 cm da capa de concreto) e para as maciças iguais a 15 cm. Utilizou-se essas dimensões para poder atender a todos os cobrimentos de cada classe de agressividade ambiental.

2.3.1 Ações

De acordo com o item 11.2.1 da NBR 6118 (2003), na análise estrutural deve ser considerada a influencia de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em exame, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço. As ações a considerar são classificadas como permanentes, que são as ações que apareceram constantes durante toda a vida útil da estrutura; e as variáveis, que são cargas que acidentais previstas para o uso da edificação, pela ação do vento e da água.

Para a determinação do peso próprio das vigas e pilares, o *software* estabelece o volume a partir das dimensões indicadas pelo usuário e multiplica por 25 kN/m³, que é o peso específico do concreto armado determinado pela norma NBR 6118 (2003). Em lajes maciças será a altura multiplicada pela densidade do concreto, e no caso de lajes de vigotas, multiplica-se o valor do peso por metro quadrado, pela distância entre eixos, dando uma carga linear aplicada a cada vigota. Este peso por metro quadrado nas lajes de vigotas depende da configuração e do tipo de vigotas e enchimentos adotados.

Quanto às ações permanentes diretas e variáveis que necessitavam serem inseridas, foram baseadas conforme norma NBR 6120 (2000) – Cargas para o cálculo de estruturas de Edificações:

- Revestimento (carga superficial em lajes): espessura de concreto (0,05m) multiplicados pelo peso específico de 24 kN/m³, totalizando um valor de 0,96 kN/m², no qual foi adotado 1,00 kN/m²;
- Paredes (cargas lineares aplicadas sobre a viga): espessura de 0,15m x altura da parede x peso específico de 13 kN/m²;

- Escada: as cargas provenientes do peso da escada foram calculadas manualmente e inseridos como carga linear nas vigas de apoio;
- Telhado (carga superficial em lajes): 0,5 kN/m²;
- Reservatório: com o peso do reservatório de 10.000 litros, foi adotado 10 kN/m²;
- Cobertura e laje de cobertura do reservatório: 1,0 kN/m²;
- Banheiros, corredores, sacadas e áreas de serviço: 2,0 kN/m²;
- Demais cômodos: 1,5 kN/m².

As ações variáveis diretas do vento foram inseridas no *software* baseando-se na norma NBR 6123 (2013) – Forças devidas ao vento em edificações.

2.3.2 Classes de Agressividade Ambiental

Foram adotados valores para a resistência do concreto e cobrimento, de acordo com os requisitos mínimos permitidos pela NBR 6118 (2003), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência do concreto e cobrimento de acordo com as classes de agressividade ambiental

Classes de Agressividade	Classes do Concreto	Cobrimento (mm)	
		Laje	Viga/Pilar
I	C20	20	25
II	C25	25	30
III	C30	35	40
IV	C40	45	50

Fonte: Do Autor, 2014.

2.3.4 Vínculos

Para o estudo da rigidez do engastamento foram considerados quatro faixas de coeficientes entre vigas e pilares. Os valores foram 1.00 (que indica rigidez de 100%), 0.80 (80%), 0.50 (50%) e 0.20 (20%).

2.3.5 Procedimento de Cálculo

Após a estrutura modelo ser lançada no *software* com as informações citadas na Tabela 2 e os requisitos mínimos solicitados na norma NBR 6118 (2003), foi dado início aos cálculos. Os cálculos de fundação não foram considerados neste trabalho. Como referência, utilizou-se essa estrutura inicialmente calculada como parâmetro para as outras, denominada de E0.

No termino dos cálculos, o *software* apresenta um relatório de cálculo, onde apresenta os erros encontrados no dimensionamento. Foi possível observar que problemas como esforços por punção ou cortante, localizadas no piso do reservatório, porém essas informações não foram consideradas, pois esses esforços ocorrem principalmente quando existem encontros os elementos lineares (pilares) com os planos (lajes), fato no qual não se enquadra neste trabalho.

Numa segunda etapa, após a verificação dos erros, foram criadas e nomeadas as estruturas que serviriam de análise, modificando apenas os coeficientes de engastamento e as classes de agressividade ambiental, conforme citado anteriormente. Essas estruturas se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 – Estruturas a serem analisadas

Estrutura	Coefficiente de Engastamento	Classe de Agressividade Ambiental	Estrutura	Coefficiente de Engastamento	Classe de Agressividade Ambiental
E1	1.0	I	E9	0.5	I
E2	1.0	II	E10	0.5	II
E3	1.0	III	E11	0.5	III
E4	1.0	IV	E12	0.5	IV
E5	0.8	I	E13	0.2	I
E6	0.8	II	E14	0.2	II
E7	0.8	III	E15	0.2	III
E8	0.8	IV	E16	0.2	IV

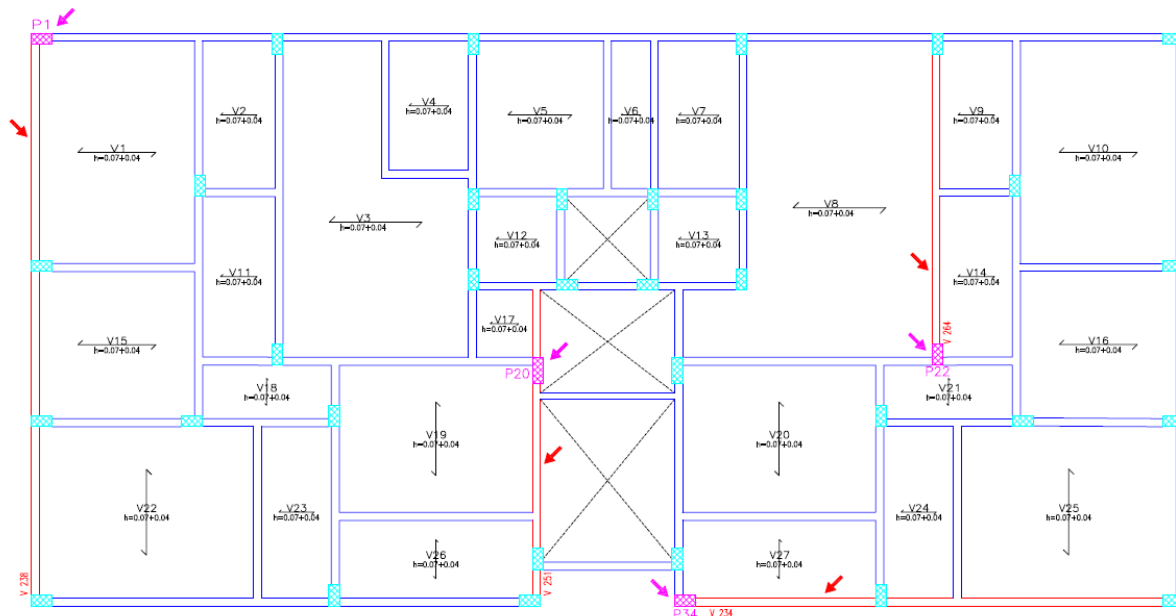
Fonte: Do Autor, 2014.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado na Tabela 3, ao todo são dezesseis estruturas calculadas. Para a análise dos resultados foram adotadas quatro vigas e quatro pilares conforme indicado na Figura 3.

Como critério de escolha das vigas e pilares adotados para análise, a princípio para os pilares foram um de cada tipo: canto, extremidade e intermediário. Como intermediário não havia no projeto, foi adotado o pilar que recebia as cargas do reservatório. E quanto às vigas as escolhas foram das que vinham de encontro com os pilares e aquelas que poderiam apresentar diferentes tipos (bi-apoiadas e em balanço), e diferentes condições de contorno.

Figura 3 – Vigas e Pilares analisados

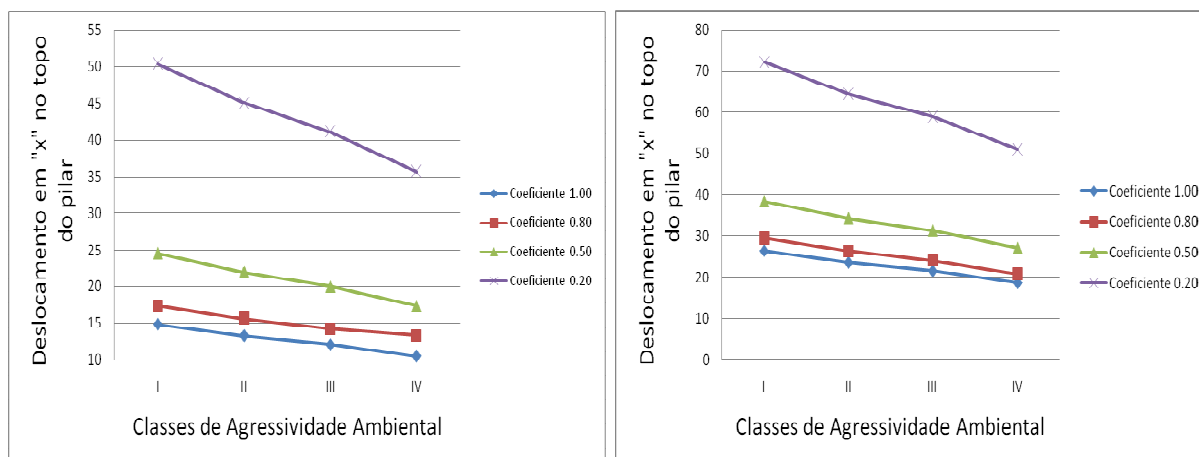


Fonte: Do Autor, 2014.

3.1 Análises dos deslocamentos nos pilares

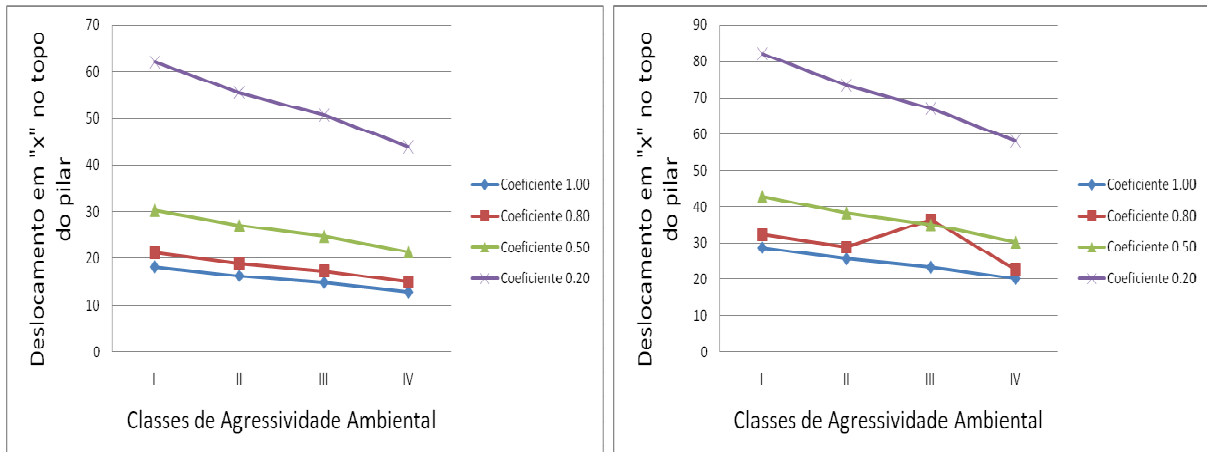
As Figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam o comparativos dos deslocamentos horizontais em “x” e em “y” ocorridos nos pilares em estudo (P1, P20, P22 e P34) conforme mencionado anteriormente.

Figura 4 – Deslocamentos horizontais (mm) no topo do pilar P1



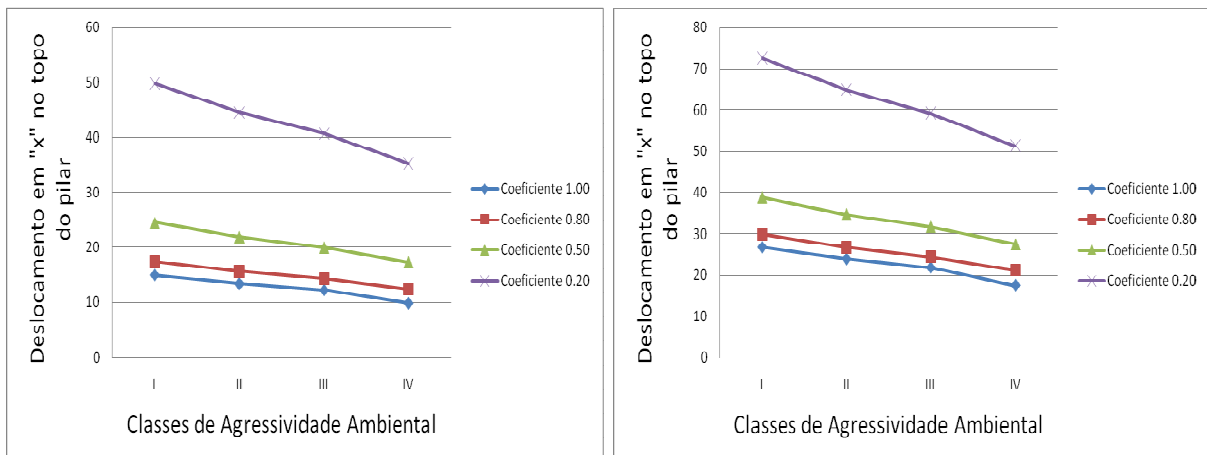
Fonte: Do Autor, 2014.

Figura 5 – Deslocamentos horizontais (mm) no topo do pilar P20



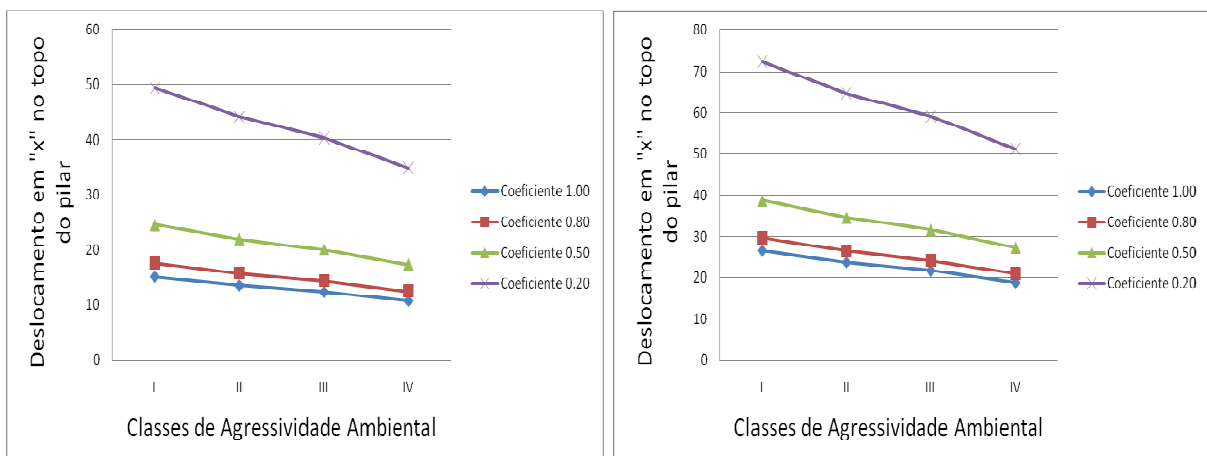
Fonte: Do Autor, 2014.

Figura 6 – Deslocamentos horizontais (mm) no topo do pilar P22



Fonte: Do Autor, 2014.

Figura 7 – Deslocamentos horizontais (mm) no topo do pilar P34



Fonte: Do Autor, 2014.

Diante dos resultados apresentados, observou-se que com a redução da rigidez do engastamento, as estruturas se tornaram mais deslocáveis, porém esse deslocamento diminuiu com o aumento da resistência do concreto, ou seja, mudança na classe de agressividade ambiental. Observa-se também a linearidade que os deslocamentos seguem, com exceção do P20 (Figura 5), onde o deslocamento em “y” do coeficiente 0.8 apresenta-se maior que do 0.5, porém essa pequena diferença foi desprezada.

Com base nos valores obtidos, pode-se verificar a diferença nos deslocamentos horizontais em “x” dos pilares. Utilizando do coeficiente 1.0 como referência, observou-se um acréscimo de aproximadamente 24%, 75% e 256%, com relação aos coeficientes 0.8, 0.5 e 0.2, respectivamente. Já nos deslocamentos horizontais em “y” as diferenças dos valores em relação ao coeficiente 1.00 são de 99%, 160% e 375%, respectivamente.

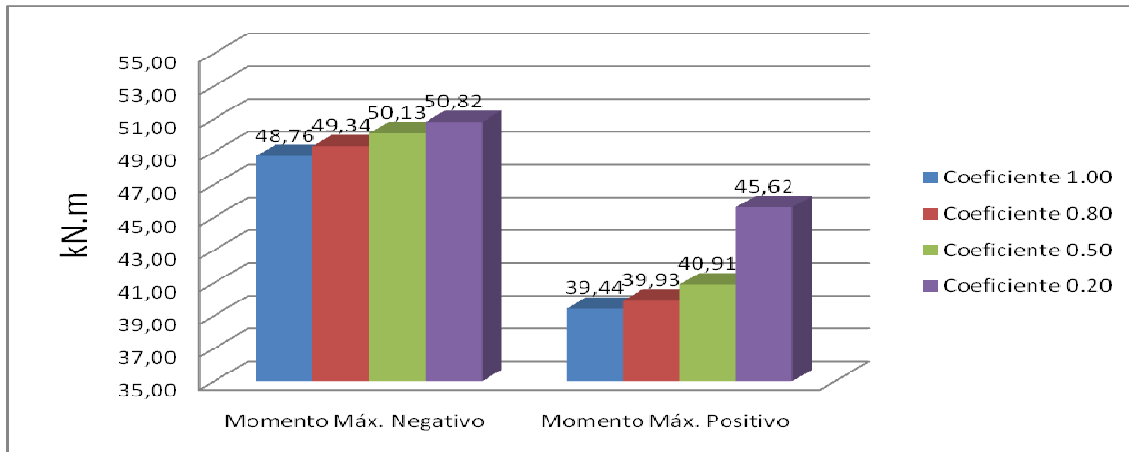
Nota-se também que os deslocamentos em “y” apresentam uma maior variação que em “x”, isso ocorre pelo fato da estrutura em estudo ser mais esbelta na direção “y”.

3.2 Análises dos momentos fletores negativos e positivos

As Figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam o comparativo dos momentos fletores máximos negativos e positivos ocorridos nas vigas em estudo (V234, V238, V251 e V264) conforme mencionado anteriormente.

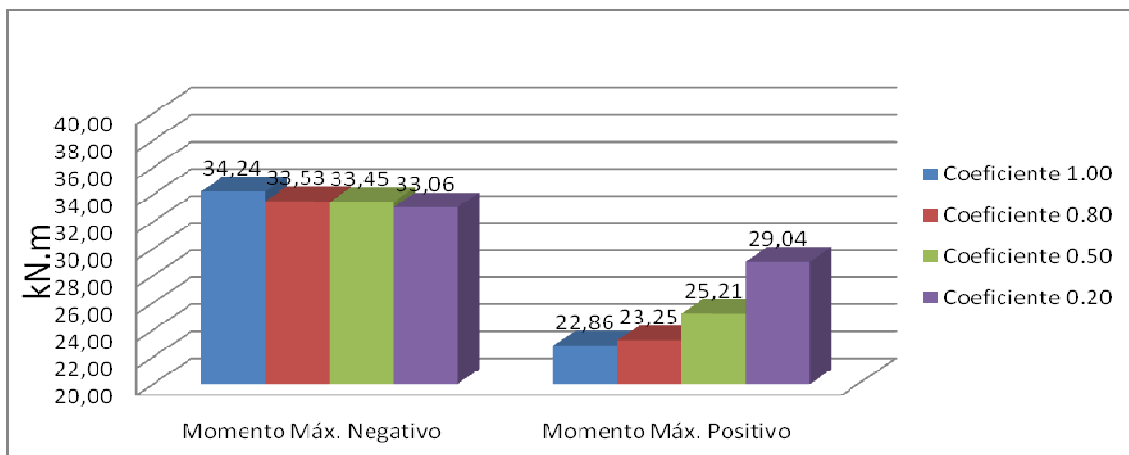
Os resultados dos momentos fletores das estruturas que tem o mesmo coeficiente de engastamento e são diferentes apenas na classe de agressividade ambiental, se mostraram iguais, pelo fato das estruturas terem as mesmas dimensões e carregamentos, por isso, a apresentação de apenas um momento por coeficiente.

Figura 8 – Momento máximo negativo e positivo V234



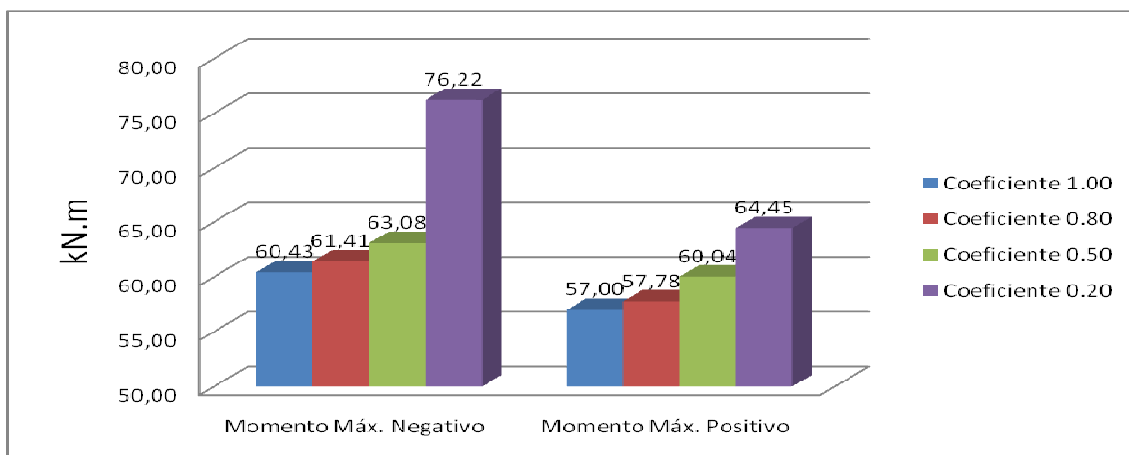
Fonte: Do Autor, 2014.

Figura 9 – Momento máximo negativo e positivo V238



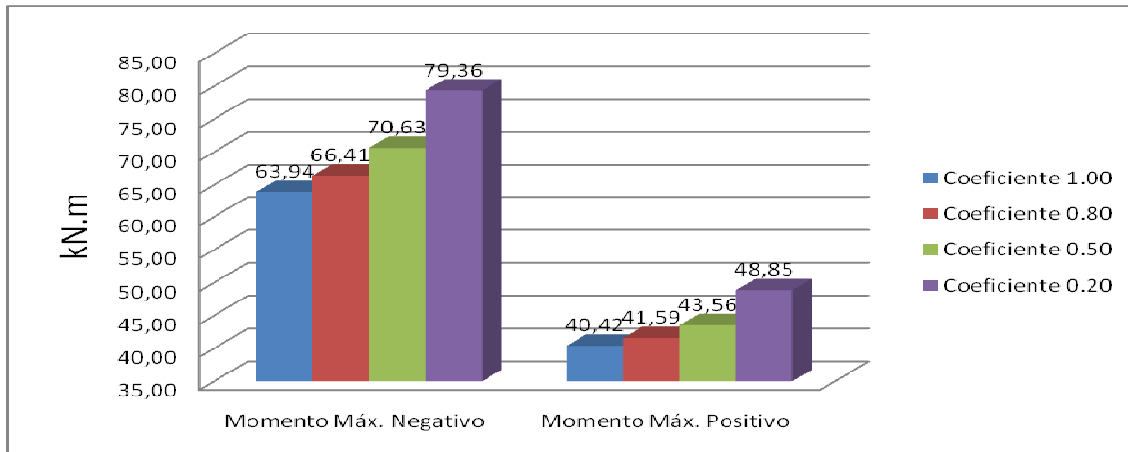
Fonte: Do Autor, 2014.

Figura 10 – Momento máximo negativo e positivo V251



Fonte: Do Autor, 2014.

Figura 11 – Momento máximo negativo e positivo V264



Fonte: Do Autor, 2014.

Observando a Figura 9, percebe-se que conforme se reduz a rigidez do engastamento, aumenta os momentos fletores positivos e diminui os negativos, ou seja, diminui os esforços por flexão nos pilares e aumenta os esforços no vão das vigas.

Porem, nos resultados obtidos nas Figuras 8, 10 e 11 respectivamente, observa-se um aumento tanto nos momentos positivos como nos negativos. Esse fato pode ser explicado devido às condições de contorno de cada viga ser diferente. As condições de contorno estão diretamente relacionadas às inclinações e deflexões nos apoios de todas as vigas, ou seja, quanto menor a rigidez do engastamento no apoio, maiores deformações a viga irá sofrer.

3.2.1 Análise Estatística

Conforme se pode perceber, os valores de momentos positivos e negativos obtidos em cada viga mostraram-se muito semelhantes, com isso, realizou-se uma análise estatística ANOVA (Análise de Variância), para comparar os resultados apresentados em cada coeficiente. A tabela 4 apresenta a análise realizada na viga V234 para o momento positivo pelo *software* Microsoft Office Excel®.

Tabela 4 – Anova fator único para momento positivo da viga V234

RESUMO				
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Coeficiente 1.00	2	90,546	45,273	24,260
Coeficiente 0.80	2	90,844	45,422	30,767
Coeficiente 0.50	2	91,529	45,765	38,099

Coeficiente 0.20 2 93,876 46,938 30,076

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3,414	3,000	1,138	0,037	0,989	6,591
Dentro dos grupos	123,202	4,000	30,800			
Total	126,616	7,000				

Fonte: Do Autor, 2014.

Para os resultados serem significativamente diferentes, o valor obtido no F (em verde) deveria ser maior que o do F crítico (em amarelo), portanto, os resultados se mostraram iguais estatisticamente.

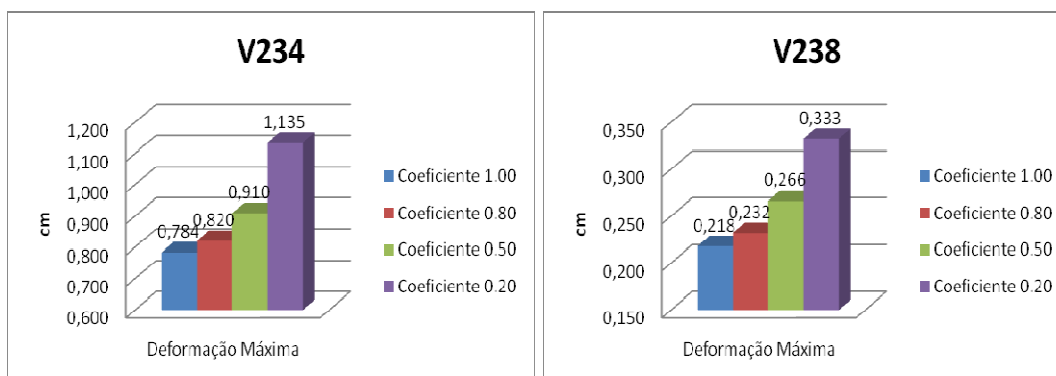
Nas demais vigas, as análises se mostraram semelhantes, com exceção da viga V238 que esses valores, tanto para momentos fletores positivos e quanto para os negativos, se mostraram estaticamente diferentes, ou seja, eles possuem diferença entre si.

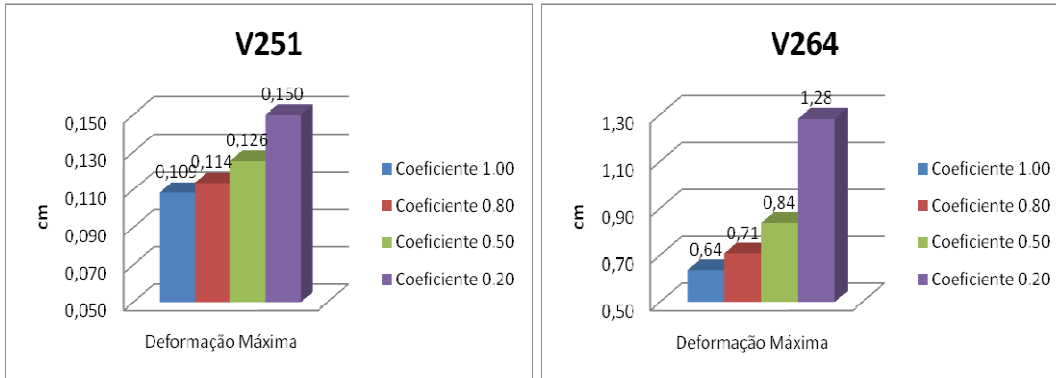
3.2 Análises das flechas máximas

As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam o comparativo das flechas máximas ocorridas nas vigas em estudo (V234, V238, V251 e V264), conforme mencionado anteriormente.

Os resultados das flechas máximas que possuem o mesmo coeficiente de engastamento e são diferentes apenas na classe de agressividade ambiental, se mostraram muito próximos, por isso, a apresentação de apenas uma flecha máxima por coeficiente.

Figuras 12, 13, 14 e 15 – Flechas máximas





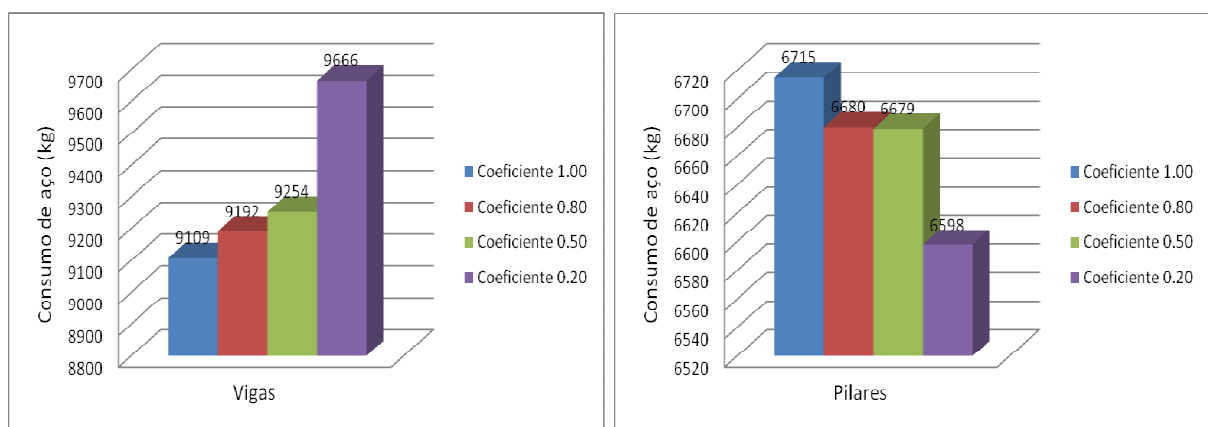
Fonte: Do Autor, 2014.

Assim como nos resultados dos momentos fletores positivos obtidos no decorrer do trabalho, observou-se na verificação da flecha máxima, que conforme se reduz a rigidez do engastamento, os valores dos momentos fletores positivos aumentam e consequentemente acontece o mesmo com as flechas, porém nenhuma delas ultrapassou o deslocamento máximo permitido pela norma ($L/250$).

3.4 Análises referentes ao consumo de aço entre vigas e pilares

A Figura 16 apresenta o comparativo do consumo de aço entre vigas e pilares conforme se reduz a rigidez do engastamento para as estruturas com classe de agressividade III. As demais classes de agressividade ambiental também apresentaram consumos semelhantes.

Figura 16 – Consumo de aço (kg) entre vigas e pilares para as estruturas com classe de agressividade III



Fonte: Do Autor, 2014.

Como pode ser observado à medida que se reduz a rigidez do engastamento aumenta o consumo de aço nas vigas e diminui nos pilares.

4. CONCLUSÕES

Com os dados/resultados obtidos após as análises estabelecidas para o presente trabalho, pode-se concluir:

- 1) Diante de todas as análises mencionadas no decorrer do trabalho, foi possível constatar que em sua maioria, mesmo modificando a resistência do concreto, as estruturas com menor rigidez obterão maiores deformações, isso se dá pelo fato que quando se reduz o engastamento, torna a estrutura mais deslocável;
- 2) Como esperado, as estruturas que tiveram um melhor comportamento estrutural foram as com coeficientes maiores, contudo ainda se faz necessário uma análise aprofundada para que os erros nela encontrados sejam solucionados, como uma verificação precisa nos detalhamentos da armadura, pois durante o estudo esses detalhes não foram analisados, visto que esse não era o objetivo geral da pesquisa;
- 3) Analisando no ponto de vista das classes de agressividade ambiental, pode ser indicado que para as classes com agressividade aonde o risco da estrutura é grande (classes III e IV), em que o tipo de ambiente é marinho, onde esta mais propicia a ações de vento e intempéries, seja considerado utilizar uma maior rigidez do engastamento para que a estrutura não tenha deformações excessivas;
- 4) Nenhum software computacional, por mais sofisticado que seja, é capaz de substituir totalmente as considerações, o trabalho e a análise do engenheiro. A utilização do *software* deve ser somente como ferramenta de auxílio do usuário;
- 5) Pesquisas semelhantes a esta, apresentaram comportamento da estrutura quanto às configurações adotadas similares ao que foi encontrado, como pode ser verificado na pesquisa de Recco (2007), conforme citado no decorrer do trabalho;
- 6) O trabalho desenvolvido teve como princípio uma análise estrutural entre as estruturas em estudo, porém se sugere a pesquisas posteriores, seguindo a mesma linha de pesquisa, a verificação do impacto gerado no custo quando alternado coeficientes de engastamento entre os elementos de concreto armado e a classe de agressividade, com o aproveitamento da pesquisa e conclusões obtidas.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1**: Laje pré-fabricada - Requisitos, Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2004.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 3ª Ed. São Carlos: Ufscar, 2012.

RECCO, Rafael Pescador. **Avaliação do Custo e do Comportamento de uma Estrutura de Concreto Armado Analisando a Rigidez do Engastamento entre Vigas/Pilares e Utilizando Diferentes Valores de Resistência a Compressão**. 2007. 133 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MULTIPLUS. **CYPECAD Curso Prático Interativo**. 2012.