



XL CILAMCE
IBERO-LATIN AMERICAN
CONGRESS ON
COMPUTATIONAL
METHODS IN
ENGINEERING

NOVEMBER
11-14, 2019

Praiamar Natal Hotel & Convention
Natal, RN-BRAZIL

ANÁLISE COMPARATIVA ANALÍTICA E NUMÉRICA DO ESTUDO DE PONTES

Ana Beatriz Rodrigues de Sousa

Berennicy Sousa Oliveira

Maercio Pereira Vasconcelos

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Sávio Torres Melo

anabeatriz.bia_@hotmail.com

berennicy.sousa.oliveira@hotmail.com

maercio2@gmail.com

rebekamanuela28@gmail.com

savio.melo@hotmail.com

CONSTRUFORT, 64053-360, Teresina-PI, Brasil.

Resumo: *As 6.612 pontes e viadutos no Brasil, avaliados em 13 bilhões de reais de acordo com o Tribunal de Contas da União (TCU), apresentam grande importância na nossa economia, pois com uma geografia bastante acidentada, estas chamadas Obras de Arte Especiais (OEA) são extremamente necessárias por proporcionar uma melhor funcionalidade das rodovias e ferrovias existentes no País, sem deixar de lado a segurança dos seus usuários. No Brasil, as pesquisas com relação às Pontes podem se referir a qualquer situação desde a sua superestrutura até a infraestrutura proporcionando estudos de casos ou abordagens numéricas. Esses estudos relacionados às pontes tornam-se fundamental devido a pouca referência normativa. Diante disso, este trabalho busca observar atentamente o estudo perante as normas de pontes, destacando, porém certas circunstâncias através do desenvolvimento em um meio numérico, podendo apresentar uma forma mais realista da situação, a fim de compreender o estudo e a essência de alterações mais frequentes nas normas para realizar comparações com intuito de observar a precisão perante os riscos de construção deste tipo de estrutura. Os resultados numéricos encontrados mostraram convergência com os obtidos analiticamente.*

Palavras-Chaves: *Pilares de Pontes, Normas, Método dos Elementos Finitos.*

1 INTRODUÇÃO

As obras de concreto armado prevalecem na construção civil mesmo com uma demanda para a utilização do concreto protendido e da estrutura metálica. A escolha do material sempre incide no menor custo técnico-econômico e nas condições de infra-estrutura, até que haja uma preferência relativa ao sistema estrutural ou aço de maior resistência.

Ponte é uma obra de arte que permite interligar ao mesmo nível de pontos não acessíveis separados por um curso d'água, quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via denomina-se viaduto, porém no caso do curso d'água ser de grandes dimensões a ponte precisa de uma parte extensa nomeada Viaduto de Acesso. Atualmente, os viadutos são muito comuns em grandes metrópoles, onde o intenso tráfego de veículos de grandes avenidas ou vias expressas não pode ser interrompido. Assim como os viadutos, os trechos estruturais das pontes podem ser divididas em três partes, de acordo com observado em Marchetti (2008). São elas:

- Superestrutura: localizados na porção superior de uma ponte, que são responsáveis pelo transporte horizontal das cargas e sua transmissão à mesoestrutura, absorvendo diretamente os esforços resultantes do tráfego rodoviário, ferroviário, ciclovitário ou pedonal. A superestrutura de uma ponte é, em geral, formada pelo tabuleiro, incluindo lajes e vigas.
- Mesoestrutura: localizados na porção média da estrutura de uma ponte, que são responsáveis pela transmissão dos esforços da superestrutura para a infraestrutura. A mesoestrutura de uma ponte é, em geral, formada pelos pilares, aparelhos de apoio e encontros, estando frequentemente sujeita a forças externas hidráulicas e eólicas relevantes.
- Infraestrutura: localizados na porção inferior da estrutura de uma ponte, que são responsáveis pela transmissão dos esforços da mesoestrutura para o solo. A infraestrutura de uma ponte é, em geral, formada pelos elementos de fundação, como sapatas ou estacas.

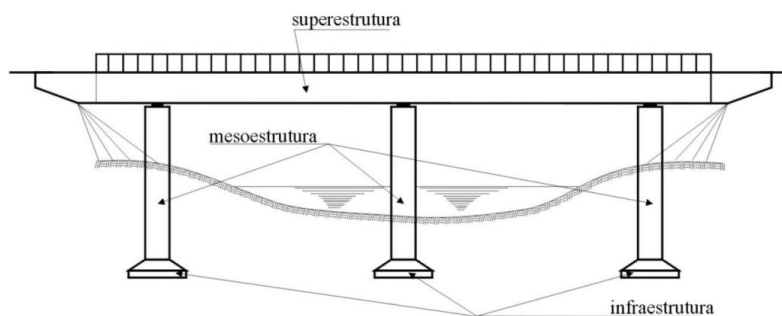


Figura 1. Elementos constituintes das pontes (Fonte: Vitório, 2002)

Existe mais uma denominação (Vitório, 2002) que recebe destaque quando se realiza uma construção, os Encontros. Considerados por alguns como constituintes da mesoestrutura, e por outros como fazendo parte da infraestrutura, são elementos de características extremamente variáveis, cuja função principal além de receberem as cargas provenientes da superestrutura, fazem a contenção dos aterros nas extremidades da ponte, recebendo, também, os empuxos horizontais causados por esses aterros e evitar sua transmissão aos demais elementos das pontes.

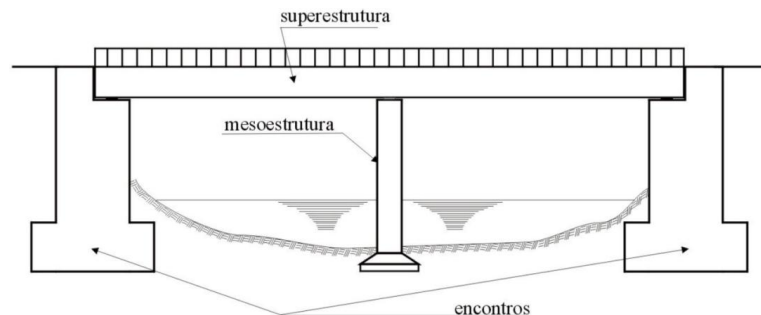


Figura 2. Ponte com encontros nas extremidade (Fonte: Vitório, 2002)

Os carregamentos que interagem na ponte são devidos à própria superestrutura que transfere os seus esforços a infraestrutura, carregamento variável dos veículos ou pedestres e ações externas a ponte como vento, água, empuxo de terra, entre outros. Analisar estas cargas a fim de realizar o dimensionamento da armadura transversal, longitudinal, de pele, dentre outras, determinando os seus respectivos coeficientes de segurança com o intuito de destacar o detalhamento final referente às longarinas, transversinas, pilares, guarda corpo, etc, tomando como base a norma ou algum *software* para a realização destes procedimentos de cálculo.

Para uma ponte ser projetada, são necessárias as características básicas de implantação, que vão desde a jurisdição (DNIT, DER, Prefeitura) a que a mesma pertence até o relatório de sondagem emitido por firma especializada, ou seja, necessita observar cinco requisitos principais a ser analisados para evitar futuros problemas, conforme Pfeil (1979) são as seguintes:

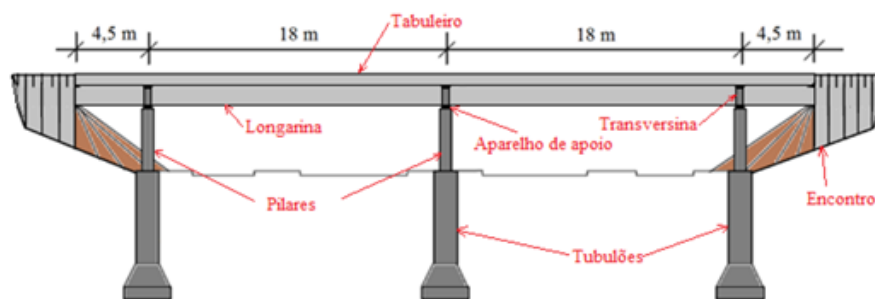
- Funcionalidade: Satisfazer de forma perfeita as exigências de tráfego, vazão, dentre outras;
- Segurança: Obter materiais constituintes solicitados por esforços que neles provoquem tensões menores que as admissíveis ou que possam provocar ruptura;
- Estética: Apresentar algo agradável e que se harmonize com o ambiente em que se situa;
- Durabilidade: Atender às exigências de uso durante certo período previsto;
- Economia: Realizar um estudo comparativo de várias soluções, escolhendo-se a mais econômica, desde que atenda os requisitos anteriores.

Levando em conta as quantidades de variáveis relacionadas ao processo de dimensionamento, dificilmente a melhor solução para o projeto será encontrada desta forma sem que seja feito um estudo detalhado da situação. Essas informações permitem ao engenheiro uma maior clareza no conhecimento tanto do conceito de cálculo estrutural como da análise de uma estrutura, pois quaisquer aspectos que envolva a ponte (dimensionamento, aparência, custo), devem ser levados em consideração durante a construção.

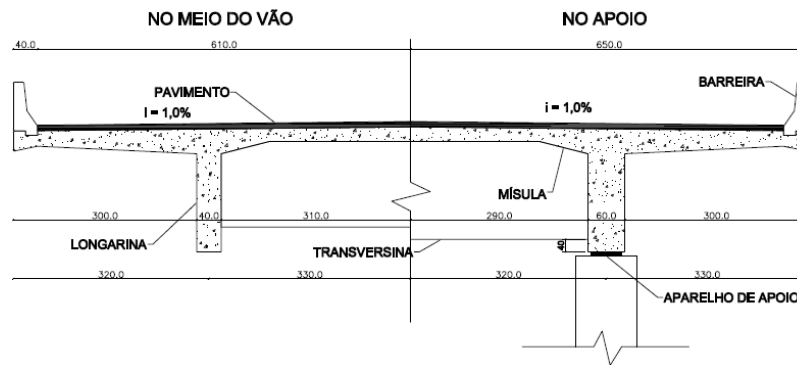
2 MODELO DA PONTE PROPOSTO

Este capítulo apresenta o modelo da ponte em concreto armado com longarinas retas de alma cheia especificando os pilares analisados na pesquisa. O estudo foi dividido em duas etapas: analítica e numérica. A etapa analítica é baseada em métodos propostos pela literatura enquanto a etapa numérica é baseada no MEF, através do *software* ABAQUS v6-14.

A ponte em estudo possui 45 m de comprimento divididos em dois tramos de 18 m e balanços nas extremidades de 4,5 m como ilustrado na Fig. 3a. A largura é de 13 m, obedecendo ao prescrito pelo manual do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT, 1996) e respeita as características da rodovia (DNIT, 1973), como a faixa de rolamento, com um capeamento asfáltico de 9 cm de espessura e inclinação de 1% na laje do tabuleiro (Fig. 3b).



(a) Vista Longitudinal e Elementos da Ponte



(b) Vista Transversal

Figura 3. Vistas da Ponte

3 ETAPA ANALÍTICA

As normas brasileiras são publicadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), onde estas elaboram especificações técnicas para todas as áreas do conhecimento tecnológico do país e representa o Brasil em instituições técnicas internacionais, como a ISO (International Standard Organization) e IEC (International Electrotechnical Commission), dentre outros (ABNT, 2006).

No ano de 1940 foi realizada a normalização das cargas em pontes com a criação da NB-1 que tratava do cálculo de estruturas de concreto armado (depois teve uma atualização em 1960 e atualmente é a NBR 6118/2014). Em seguida, surgiram outras normas que a complementariam, como foi a NB-6: Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias, publicada em 1943. Atualmente ao se realizar o estudo referente às normas brasileiras quando se trata do dimensionamento, principalmente de pontes em concreto armado, ocorre uma dificuldade, pois não foi publicada uma norma específica para realizar manuseio deste cálculo. Se utilizar um apanhado de normas publicadas pela ABNT, para basear nos procedimentos adequados, evitando problemas futuros durante a construção e execução dessas obras. A seguir algumas normas para estes cálculos e cuidados:

- **NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto:** Esta Norma estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais;
- **NBR 6122/10 – Projeto e execução de fundações:** Esta Norma estabelece os requisitos a serem observados no projeto e execução de fundações de todas as estruturas da engenharia civil;
- **NBR 6123/88 – Forças devido ao vento em Edificações:** Esta Norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações;
- **NBR 7187/2003 – Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido:** Esta Norma fixa os requisitos que devem ser obedecidos no projeto, na execução e no controle das pontes de concreto armado e de concreto protendido, excluídas aquelas em que se empregue concreto leve ou outros concretos especiais;
- **NBR 7188/2013 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras estruturas:** Esta Norma define os valores característicos básicos das cargas móveis rodoviárias de veículos sobre pneus e ações de pedestres, em projeto de pontes, viadutos, galerias, passarelas e edifícios garagem;
- **NBR 7190/97 – Projeto e Estruturas de Madeira:** Esta Norma fixa as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbres. Além das regras desta Norma, devem ser obedecidas as de outras normas especiais e a exigências peculiares a cada caso particular;
- **NBR 7191/82 – Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado:** Esta Norma fixa as condições especiais que devem ser observadas na execução de desenho técnica para obras

de concreto simples ou armado. As condições gerais e os significados nesta Norma são os fixados pela ABNT NBR 5984;

- **NBR 7480/07 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado:** Esta Norma estabelece os requisitos exigidos para encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço destinados a armaduras para estruturas de concreto armado, com ou sem revestimento superficial;
- **NBR 7482/08 – Fios de aço para estruturas de concreto protendido:** Esta Norma prescreve o método de ensaio de relaxação isotérmica de fios, barras e cordoalhas de aços destinados a armaduras de protensão, especificados de acordo com as ABNT NBR 7482 e ABNT NBR 7483;
- **NBR 7483/08 – Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido:** Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para fabricação, encomenda, fornecimento e recebimento de cordoalhas de aço de alta resistência de três e sete fios, destinadas a armadura de protensão;
- **NBR 8681/2003 – Ações e Segurança nas Estruturas:** Esta Norma fixa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas;
- **NBR 8800/2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios:** Esta Norma, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos para o projeto das estruturas de aço e das estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio de edificações cobertas pelas ABNT NBR 8800 e ABNT NBR 14762, conforme os requisitos de resistência ao fogo, prescritos pela ABNT NBR 14432 ou legislação brasileira vigente.
- **NBR 9062/06 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado:** Esta Norma estabelece os requisitos para o projeto, a execução e o controle de estruturas de concreto pré-moldado, armado ou protendido.

Diante das Normas mencionadas anteriormente e tomando como base para a realização dos cálculos o pilar da ponte, a fim de realizar a devida comparação com a etapa numérica, observam-se as seguintes análises:

Tabela 1. Resumo dos Carregamentos Verticais

Pilar		Carregamentos (kN)					
Dimensão da Seção Transversal (m)	Altura do Pilar (m)	Permanente	Móvel Máximo	Móvel Mínimo	Solicitação atuando na Seção do Pilar	Solicitações de Projeto Máxima	Solicitações de Projeto Mínima
1	13	1848,4	904,8	-127,8	2237,53	4377,87	2893,07

Tabela 2. Resumo dos Carregamentos Horizontais

Horizontais Longitudinais (kN)		Horizontais Transversais (kN)	
Frenagem/Aceleração	Vento Longitudinal	Vento Transversal	Força da Água
146,25	59,51	63	9,94

Tabela 3. Armadura nos Pilares

Seção do Pilar	Altura (m)	V	u1	h/d	tan0	u2	u,final	w	As
Quadrada	13	0,21	0,44	1,06	0,02	0,08	0,52	1	240,19

Com esses dados encontrados no dimensionamento dos pilares e trabalhando o modelo de Marchetti (2008) no qual apresenta a equação diferencial da linha elástica, pode-se observar que estes pilares apresentam um deslocamento de aproximadamente 45mm.

4 ETAPA NUMÉRICA

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma ferramenta numérica aplicada no desenvolvimento de procedimentos aproximados, através de equações diferenciais, que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, preservando as propriedades originais. Essas equações são resolvidas por modelos matemáticos, facilitando o sistema sob análise em diversos elementos, ou seja, maior precisão nos resultados ocorre quando menor for o tamanho e maior for o número de nós e elementos em uma determinada malha, que se deslocam com a aplicação do carregamento e podem fornecer respostas sobre o fenômeno analisado, para que sejam obtidos os resultados desejados (deslocamentos, tensões, esforços, campo magnético, fluxo pressão, etc.).

O pré-processador ABAQUS/CAE (Figura 4), consiste de uma interface gráfica que permite ao usuário uma rápida e eficiente definição da geometria do problema, atribuição das propriedades dos diferentes materiais, aplicação dos carregamentos e das condições de contorno do problema, seleção do número de etapas pretendidas na análise e, finalmente, geração da malha de elementos finitos correspondente ao corpo analisado. O software dispõe ainda do pós-processador ABAQUS/VIEWER que, operando sobre os arquivos de saída, possibilita, para interpretação dos resultados numéricos, procedimentos de visualização gráfica e de animação.

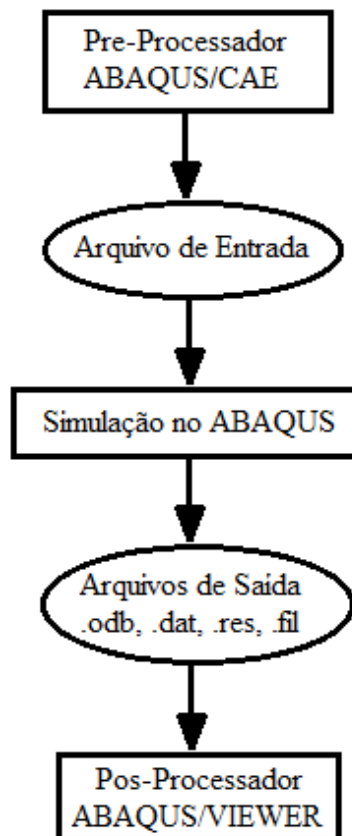


Figura 4. Diagrama para a Simulação com o Software ABAQUS (ABAQUS, 2010)

O *software* ABAQUS busca contemplar as etapas do projeto e simulação de elementos estruturais, no intuito de prever para tentar mitigar possíveis efeitos indesejáveis. Através do uso dos elementos finitos foi realizada uma modelagem dos pilares no qual se executou os procedimentos descritos na tabela a seguir:

Tabela 4. Procedimentos do ABAQUS

Ferramenta	Comando	Função	Ferramenta	Comando	Função
Geometria	PARTS	Cria partições definidas para a geometria do modelo de cada um dos elementos constituintes: o conjunto (pilar + fundação) e as armaduras (longitudinal e transversal)	Carregamento	LOAD MANAGER	Realizar o posicionamento dos carregamentos aos quais estes pilares estão submetidos, referentes ao carregamento vertical e horizontal. Vale salientar que o programa não apresenta a opção de trabalhar o carregamento resultante devendo então ser realizada a análise com cada componente da força horizontal (transversal e a longitudinal).
Materiais	PROPERTY	A fim de representar toda a base linear (ELASTICITY) e não linear (PLASTICITY)	Apoios	ELASTIC FOUNDATION	Representação das molas referentes ao modelo de Winkler, conforme especificada no modelo de Marchetti.
Armadura	ASSEMBLY	O posicionamento de cada barra longitudinal, bem como dos estribos e também para realizar o acoplamento entre o concreto e o aço.	Malha	MESH	A discretização foi feita com elementos sólidos tridimensionais do tipo C3D8 contendo oito nós e cada nó com três graus de liberdade translacionais. Já as armaduras foram modeladas com elementos de treliça T3D2 com dois nós apresentando três graus de liberdade por nó, todos de translação

Diante dos procedimentos executados anteriormente, com o comando *JOBS* pode-se observar que o deslocamento encontrado no *software* foi de 45mm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na execução de pontes, observa que a diante várias normas apresentadas, as que mais influenciam são apenas as duas correspondentes a pontes (NBR 7187 e 7188) juntamente com a de concreto armado (NBR 6118), provocando uma omissão em critérios de dimensionamento de pontes.

Essas normas servem para auxiliar nos critérios, que deixam outras inválidas perante a atualização de procedimentos. Entretanto, algumas que mesmo desatualizadas, podem ser úteis em certos dimensionamentos, como é o caso da NB-1. A norma promulgada em 2014 traz, em relação à de 1960, mudanças substanciais no que respeita ao cálculo de pilares, deformações em lajes e vigas, resistências mínimas e outras mais. No entanto, os princípios da resistência dos materiais, da estática e da hiperestática, os modelos de cálculo de seção de concreto sob diferentes estágios, o fundamento da determinação da segurança no cálculo de solicitações e resistências, não mudaram. Estas modificações abrangem especificações e aplicações do concreto, participação conjunta de profissionais de projeto, execução e controle, relação com o proprietário e estímulo a outras Normas de controle e execução, a seguir consta outras normas que se tornam interessante mesmo sendo desatualizadas:

- **NB 2/61 – Forças devido ao vento em Edificações:** Na falta de recomendações específicas para pontes, o projetista poderá adotar o procedimento indicado pela antiga norma NB-2/61 para composição de carregamentos horizontais transversais determinados experimentalmente em túneis de vento, como pode ser observado em pontes estaiadas;
- **NB 2/86 – Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido:** Com a publicação da NBR 7188/2013, algumas provisões desta norma, como o item 7, Ações a considerar, tornaram-se obsoletos. Constantemente faz referências à NBR 6118, de Projeto de Estruturas de Concreto;
- **NB 6/82 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras estruturas:** Esta norma aborda e especifica todas as cargas oriundas de veículos sobre pneus e pedestres que atuam em pontes;
- **NB 862/84 – Ações e Segurança nas Estruturas:** Define as ações como as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas.

Devido a algumas complicações existentes nas normas brasileiras, geralmente quando algum ponto não é coberto pela ABNT, muitos engenheiros recorrem a normas estrangeiras como a AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) ou o Eurocódigo, devido ao estímulo do conhecimento e desenvolvimento que estas apresentam.

Nos EUA, os projetos de pontes devem seguir a edição mais atual da AASHTO LRFD Bridge Design Specifications e STD Specifications, normas que descrevem padrões para o projeto, avaliação e recuperação de pontes rodoviárias, fundamentados em métodos semi-probabilístico de segurança das estruturas. A norma americana fomenta o desenvolvimento, operação e manutenção de uma rede integrada de transporte por todo o país, dos quais dita padrões técnicos internacionais no projeto e construções de estradas, pontes e obras relacionadas aos meios de transporte (AASHTO, 2014). No geral, esta norma é mais completa e aborda o projeto de pontes de maneira mais detalhada que as normas da ABNT, onde a norma americana apresenta uma porcentagem de aproximadamente 9,93% mais leve, sem comprometer a segurança da estrutura. (LEAL, 2015)

A maioria dos países europeus hoje utiliza os Eurocódigos Estruturais, que são documentos de referência destinados a comprovar a analogia das obras de engenharia civil relacionados à resistência mecânica, estabilidade e segurança em caso de incêndio. Por outro lado, estes têm como objetivo consagrar uma base comum para a elaboração e execução de obras de construção assim como disposições devidamente concebidas para a prestação de serviços de engenharia. Além das padronizações unificadas, cada país estabelece em seu anexo nacional alguns parâmetros que dependem da especificidade local. Deste modo, os Eurocódigos constituem uma evolução favorável e evidente, na medida em que complementam e aperfeiçoam a regulamentação nacional, para apresentar uma intensidade de sobrecarga tendencialmente superior, coeficientes de segurança menos conservativos e maior capacidade de otimização do dimensionamento das armaduras. (Eurocódigo, 2010)

Diante disso, as atualizações da ABNT e a mudança de normas deixam requisitos de análise restringidos relacionados ao cálculo estrutural de uma ponte, que seriam irrelevantes em alguns critérios de análise, porém são fundamentais para proporcionar um melhor dimensionamento e realizar a sustentação da abordagem na verificação de termos durante a pesquisa.

Os Métodos Analíticos Clássicos permitem o cálculo da resposta exata dos deslocamentos, deformações e tensões em todos os pontos de uma estrutura. Porém estas soluções exatas são somente conhecidas para alguns poucos casos, que fogem da maioria das aplicações práticas. (ALVES FILHO, 2000)

A análise de elementos finitos pode ser aplicada em diversas áreas da engenharia, como por exemplo, problemas acústicos, térmicos, eletromagnéticos e estruturais. No âmbito da Engenharia de Estruturas, o MEF tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a ações exteriores. Este tipo de cálculo tem a designação genérica de análise de estruturas e surge, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, barragens, etc. De acordo com Azevedo (2003) quando existe a necessidade de projetar uma estrutura, é habitual proceder-se a uma sucessão de análises e modificações das suas características, com o objetivo de se alcançar uma solução satisfatória, quer em termos econômicos, quer na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares.

A utilização do MEF em softwares cresce à medida que aperfeiçoam as análises os tipos e as gerações de malha de elementos, as técnicas de modelagem, os critérios de aceitação, erros e a apresentação dos resultados, favorecendo a utilização desta ferramenta. Várias indústrias e empresas dispõem destes softwares, pois a sua aplicação consiste em um poderoso recurso no desenvolvimento e avaliação de produtos e projetos, ou seja, realizar uma modelagem computacional.

A modelagem computacional é a área que trata da simulação de soluções para problemas científicos, analisando os fenômenos, desenvolvendo modelos matemáticos para sua descrição, e elaborando códigos computacionais para obtenção daquelas soluções, ou melhor, uma representação ou interpretação mais simplificada da realidade. A criação de modelos matemáticos com os seus devidos critérios (cargas, propriedades do material, condições de restrição e malha) obtêm resultados de tensão, deformação e deslocamento de uma estrutura que auxiliam na identificação da durabilidade do componente, pontos de concentração de tensão, comportamento da estrutura diante de um carregamento e ajuda no aprimoramento de peças durante a sua construção e avaliar o desempenho de produtos com a aplicação de critérios de resistência, rigidez ou fadiga.

A ideia de realizar uma representação tridimensional independente da forma da estrutura e do tipo de carregamento ao qual está sendo submetido (desde que seja cabível a um problema de engenharia), é de apresentar as suas várias utilidades. Existem diversas aplicações nas áreas das ciências exatas, biológicas e tecnológicas, como na física, nas engenharias civil, mecânica, elétrica, e outras, e

inclusive na biologia, ortodontia e medicina. Os estudos com o MEF na engenharia apresenta uma análise das estruturas, estudo das vibrações, transferência de calor, ondas eletromagnéticas, dentre outras, devido à sua grande aplicabilidade e eficiência, quando se deseja analisar cargas, tensões ou deslocamentos.

O manuseio deste cálculo automático deve ser cauteloso e bastante rigoroso, pois o desconhecimento dos seus fundamentos pode conduzir a resultados desastrosos na sua aplicação, como sucedeu no caso da perda da plataforma petrolífera Sleipner A, na Noruega, com um custo de cerca de 700 milhões de dólares, devido a uma falha de projeto (PEREIRA, 2005).

Há alguns programas comerciais de elementos finitos, dentre eles, o programa ABAQUS (figura 5a) que é utilizado neste trabalho para a modelagem computacional dos problemas. A análise no *software* dispõe uma vasta biblioteca de elementos possibilitando flexibilidade na modelagem de diferentes estruturas, todos os elementos são modelados no sistema global de coordenadas cartesiano (figura 5c) utilizam o conceito de massa concentrada em sua formulação, exceto elementos assimétricos.

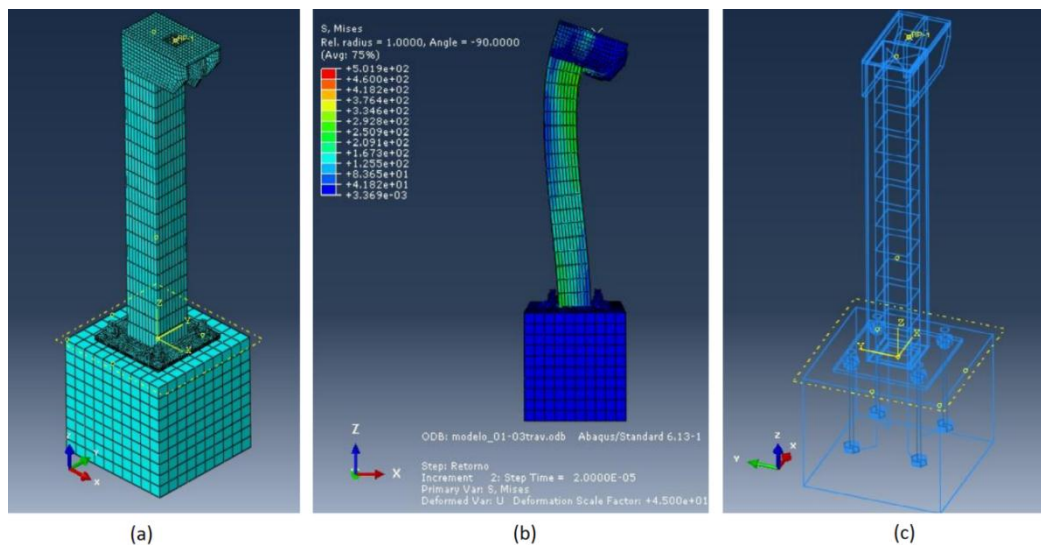


Figura 5. Esquema no ABAQUS

(a) vista geral, (b) deformação, (c) elementos no sistema cartesiano

Acredita-se que os modelos refinados construídos através do MEF forneçam resultados mais precisos do que os métodos analíticos, devido à grande quantidade de simplificações que existem nesses últimos. Espera-se que ao final, seja possível sintetizar como ocorre o comportamento dos pilares de pontes de concreto armado submetidos ao carregamento da norma brasileira e contribuir, dessa forma, para o desenvolvimento do estudo da análise estrutural no Brasil.

6 CONCLUSÃO

O fato das normas brasileiras referente ao estudo de pontes serem bastante dependentes de normas específicas torna-se preocupante de um ponto de vista geral, pelo fato de serem estruturas especiais, precisando de um cuidado primordial, principalmente neste tipo de estrutura onde não existe norma específica para realizar todo o procedimento de cálculo.

Observar este ponto de vista apresenta algumas incertezas principalmente durante o cálculo de estruturas que precisam de muitos cuidados, pois ambos os procedimentos estão corretos, porém existem casos em que todo cuidado se torna essencial. As normas servem como auxílio e devem ser seguidas em todas as possibilidades, não apenas pelo fato dela ser lei, mas também para mostrar explicações e justificativas diante dos responsáveis pela construção. Os métodos numéricos conduzem a soluções aproximadas de um modelo ou sistema exato, podendo ser fundamentais numa observação mais clara e realista da situação planejada. Diante disso, pode verificar que um auxilia o outro na questão de planejamento para agilizar todo e qualquer andamento de uma construção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Congresso XL CILAMCE 2019 pela oportunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES FILHO, A. *Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE*, Editora Érica, 2000;
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *Standard bridge design specifications*. Washington, D.C. 2014;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Conheça a ABNT*, 2006. Disponível em: www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt. Acessado em: 03/06/2019
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB 1/60 – Projeto de Estruturas de Concreto**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB 2/61 – Forças devido ao vento em Edificações**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB 2/86 – Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB 6/82 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras estruturas**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NB 862/84 – Ações e Segurança nas Estruturas**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122/10 – Projeto e execução de fundações**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123/88 – Forças devido ao vento em Edificações**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7187/2003 – Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7188/2013 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras estruturas**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190/97 – Projeto e Estruturas de Madeira**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7191/82 – Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7480/07 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado**, Rio de Janeiro;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7482/08 – Fios de aço para estruturas de concreto protendido**, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7483/08** – *Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido*, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8681/2003** – *Ações e Segurança nas Estruturas*, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800/2013** – *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*, Rio de Janeiro;

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9062/06** – *Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*, Rio de Janeiro;

AZEVEDO, A. F. M. *Método dos Elementos Finitos*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2003;

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais*, 1996;

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *Normas para Projeto de Estradas de Rodagem*, 1973;

EUROCODE N° 2, *Design of concrete structures – Part 1: general rules for buildings*. Brussels, CEN, 2010;

LEAL, C. E. F. *Formulação do Método dos Elementos Finitos para análise elástica linear de Placas Delgadas*. 2015. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015;

Marchetti, O. *Pontes de Concreto Armado*, São Paulo: Bluncher, 2008;

PEREIRA, O. J. B. A. *Introdução ao Método dos Elementos Finitos na Análise de Problemas Planos de Elasticidade*, Instituto Superior Técnico (IST) – Universidade de Lisboa, 2005;

PFEIL, W. *Pontes em Concreto Armado*, 1ª edição, Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979;

PFEIL, W. *Pontes em Concreto Armado*, 3ª edição, volume 2 - Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985;

Simulia. *ABAQUS 6.14 User Subroutines Reference Manual*. [S.1.], 2014;

VITÓRIO, J. A. P. *Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão*. Recife, CREA-PE, 2002.