



ESTUDO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS UTILIZANDO MODELOS COMPUTACIONAIS COM FORMULAÇÃO EM ELEMENTOS FINITOS

Osmar Alexandre do Amaral Neto – osmaralexandre22@hotmail.com

Universidade de Fortaleza, graduando em Engenharia Civil
Avenida Washington Soares, 1321
60811-905 – Fortaleza – Ceará

Felipe Alves Bacelar – felipealvesbacelar@gmail.com

Universidade de Fortaleza, graduando em Engenharia Civil
Avenida Washington Soares, 1321
60811-905 – Fortaleza – Ceará

Ítalo Linhares Salomão – italosalomao@unifor.com.br

Docente da Universidade de Fortaleza
Avenida Washington Soares, 1321
60811-905 – Fortaleza – Ceará

Resumo: *O presente artigo tem por objetivo explorar a implementação de modelos computacionais com formulação em elementos finitos e analisar os resultados da aplicação dos mesmos nas disciplinas de resistência dos materiais. Para tal análise foram efetuados questionários tanto antes como depois da aplicação da metodologia descrita neste artigo, de forma a obter o nível de satisfação dos alunos com a disciplina, o grau de aprendizagem, interesse na metodologia aplicada e um comparativo entre a capacidade de percepção do comportamento estrutural de peças sujeitas a algumas solicitações. O estudo abordado torna possível observar os benefícios na implementação desta metodologia em sala de aula, unindo as aulas ministradas pelos professores a prática por meio do uso de novas tecnologias de aprendizagem, fazendo com que o aluno entenda realmente como a peça se comporta quando submetida às solicitações estudadas na teoria.*

Palavras-chave: Modelos computacionais, Resistência dos materiais, Elementos finitos, Ensino-aprendizagem.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as novas tecnologias, juntamente com o aumento exponencial da informação, fazem surgir um novo paradigma na educação, modificando em alguns aspectos o papel do professor em sala de aula (MERCADO, 2002).

Seguindo a mesma linha de pensamento, Conceição e Gonçalves (2004) afirmam que profissionais da educação vêm encontrando muita dificuldade em aliar a tecnologia



computacional com o ensino, de forma a utilizar tal tecnologia para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem.

Para uma geração nascida em meio a toda essa tecnologia, torna-se um desperdício não utilizá-la, uma vez que as mídias produzidas podem ser rapidamente compartilhadas. Embora o uso inadequado da tecnologia possa afetar os alunos negativamente, quando utilizada com um objetivo específico, pode ser uma forte ferramenta no processo de ensino-aprendizagem (PEREIRA, 2016).

A chegada dos computadores e da internet nos últimos anos, tem afetado de forma bastante positiva quando se trata do processo de ensino-aprendizagem, pois o acesso à informação se tornou mais eficiente. Além disso, muitas empresas têm investido bastante no desenvolvimento de *softwares*, o que auxiliou ainda mais o corpo discente de universidades no aprendizado de algumas disciplinas.

Os *softwares* de elementos finitos são uma ferramenta muito importante na confecção de projetos estruturais, utilizados por diversos profissionais da área e muitas vezes deixados de lado pelas universidades.

Segundo Vaz (2011), o método dos elementos finitos (MEF) surgiu em meados dos anos cinquenta do século XX. O método, Segundo Soriano (2003), consiste em uma subdivisão do domínio de uma estrutura em partes menores de dimensões limitadas chamadas de elementos finitos, onde cada elemento deve ser ligado a outro por meios de nós ou pontos nodais, formando assim uma estrutura denominada malha.

Estudando os relatórios do ENADE apresentados pelo INEP, chegou-se a conclusão que os alunos da universidade de fortaleza (UNIFOR) possuíam bastante dificuldade nas questões que envolviam os conceitos de resistência dos materiais, quando se trata de analisar o comportamento estrutural de determinada peça ou estrutura.

Poucas universidades possuem, na grade curricular de engenharias, disciplinas que envolvam de forma direta os conceitos do método dos elementos finitos. Pensando nisso e nos resultados apresentados pelo relatório do INEP, com relação aos alunos da UNIFOR, optou-se por realizar um estudo com quatro turmas da disciplina de resistência dos materiais 2 da Universidade de Fortaleza, com o objetivo de encontrar uma forma de melhorar a capacidade de percepção de certos comportamentos estruturais.

2. METODOLOGIA

Foi escolhido para realização deste estudo, o método de abordagem hipotético-dedutivo, buscando a construção de conjecturas baseadas nas hipóteses, analisando os alunos através de questionários; e o método de procedimento estatístico e descritivo, fazendo uma análise dos procedimentos técnicos utilizados (MARCONI & LAKATOS, 2011).

Primeiramente foi realizada uma pesquisa, de caráter quantitativo, para analisar o nível de satisfação dos alunos com relação à disciplina de resistência dos materiais 2 e o interesse dos mesmos na metodologia aplicada, para isso, foi realizado um questionário na plataforma Google Forms, em que a primeira etapa deste foi composta por quatro perguntas.

Em seguida foi solicitado aos alunos que respondessem a segunda etapa do questionário, a qual tinha como objetivo medir os conhecimentos dos alunos na disciplina, tal como na análise do comportamento de estruturas.

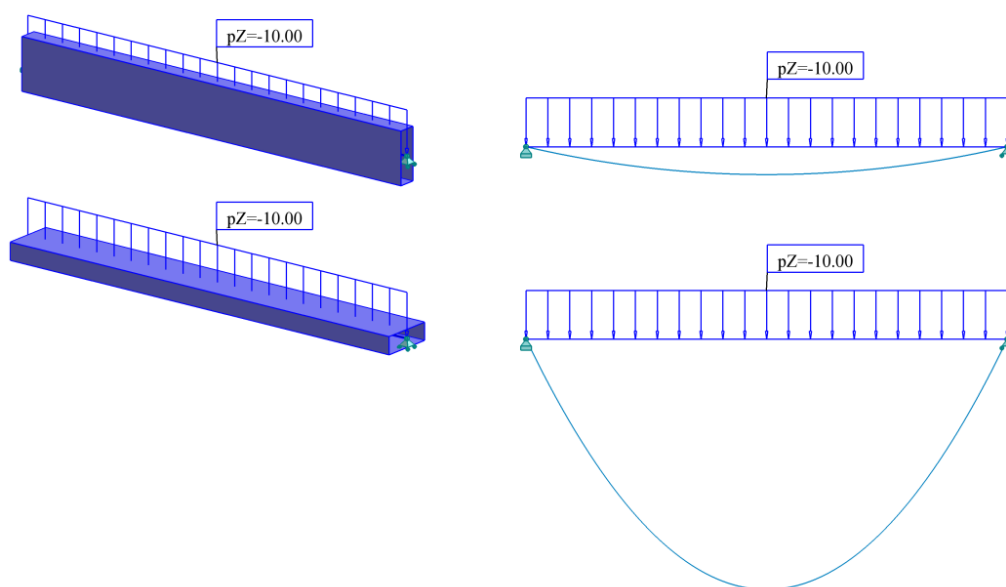
Após o primeiro questionário, foi possível aplicar a metodologia empregada neste artigo, a qual consistiu na aplicação de um mini curso onde foi utilizado o programa *Robot Structural Analysis* da Autodesk, o qual adota como premissa o método dos elementos finitos, de forma a realizar modelagens referentes a alguns conteúdos estudados na disciplina de resistência dos materiais. Dentre os assuntos abordados nas modelagens estão: energia de deformação e



transformação de tensão, sendo ambos os assuntos essenciais para uma análise de comportamento estrutural (deformação e distribuição de tensão).

O primeiro modelo consistiu em fazer uma análise dos parâmetros de rigidez de uma viga bi apoiada com uma determinada carga distribuída, de forma a simular um carregamento devido à alvenaria, como apresentado na figura 1. Tais parâmetros tem efeito direto na deformação da peça, pois em uma comparação de vigas com mesmo carregamento estático, são eles que definem o quanto a peça deformará, permitindo que engenheiros estruturais ajustem tais parâmetros de forma a manter as deformações da peça dentro dos limites definidos por norma.

Figura 1: Modelagem de barras bi apoiadas com inercias diferentes, mostrando as linhas de deformação em ambas as vigas.

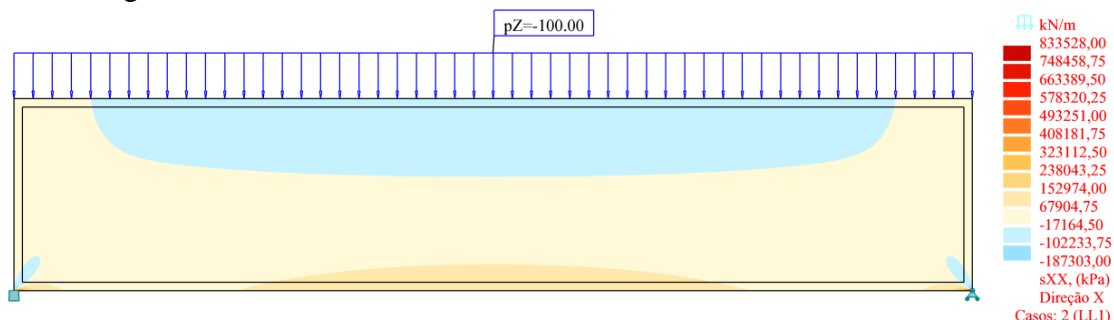


Após a análise de elementos reticulados, na qual foram mostrados aos alunos os efeitos da redução ou aumento dos parâmetros de rigidez de uma determinada estrutura, foi possível seguir para a segunda etapa das modelagens, que se trata da utilização dos elementos de superfície como uma forma de analisar as tensões as quais a estrutura está submetida. Para as modelagens que sucedem, foi utilizado um elemento que simula o estado plano de tensão, o qual é fornecido pelo programa utilizado. Tal elemento permite a aplicação de esforços paralelamente ao seu plano, seja tração ou compressão.

No segundo modelo foi analisada a distribuição de tensão em uma viga bi apoiada com uma carga distribuída, de forma a se efetuar uma análise das zonas de tração e compressão da estrutura, como pode ser observado na figura 2. A análise desta determinada situação é de fundamental importância para o engenheiro, pois a partir de tal análise é possível determinar as regiões de maior solicitação da estrutura, permitindo que o engenheiro acrescente barra de aço nas zonas onde o concreto possui pouca resistência, sendo estas chamadas de zonas de tração.

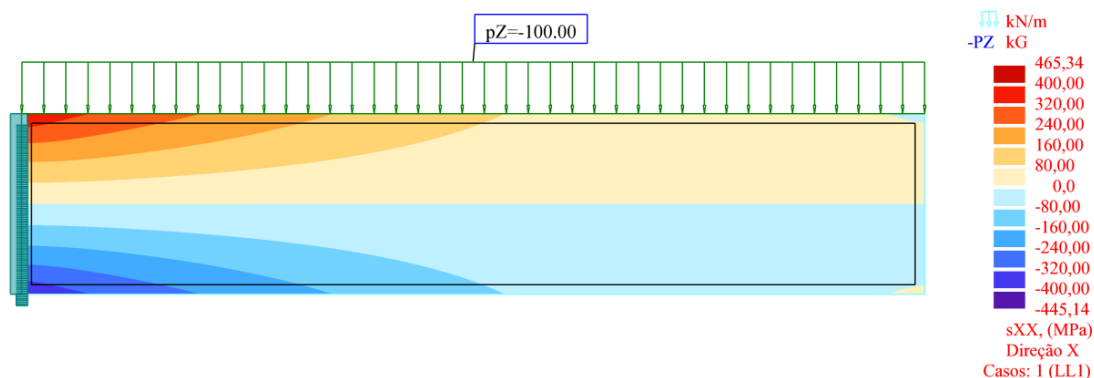


Figura 2: Modelo em estado plano de tensão de viga bi apoiada com carregamento distribuído



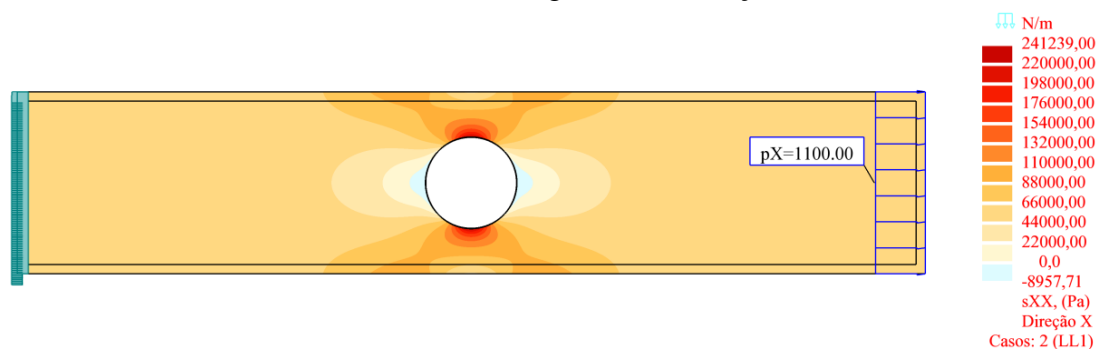
No terceiro modelo foi feita uma análise da distribuição de tensão em uma viga em balanço com uma carga distribuída, de forma a simular uma viga de sustentação de uma marquise, como mostrado na figura 3. Percebe-se também que nessa situação as zonas de tração e compressão se invertem se comparado a modelagem anterior.

Figura 3: Modelo em estado plano de tensão de uma viga em balanço sujeita a um carregamento distribuído



Na quarta modelagem foi realizada a análise de uma chapa, engastada em uma das extremidades, com um furo centrado e sujeita apenas ao carregamento de tração, no qual foi possível mostrar aos alunos os pontos onde ocorriam concentração de tensão de tração e os pontos onde apareciam tensões de compressão, como pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4: Modelagem em estado plano de tensão de uma chapa com furo centrado submetida unicamente ao carregamento de tração

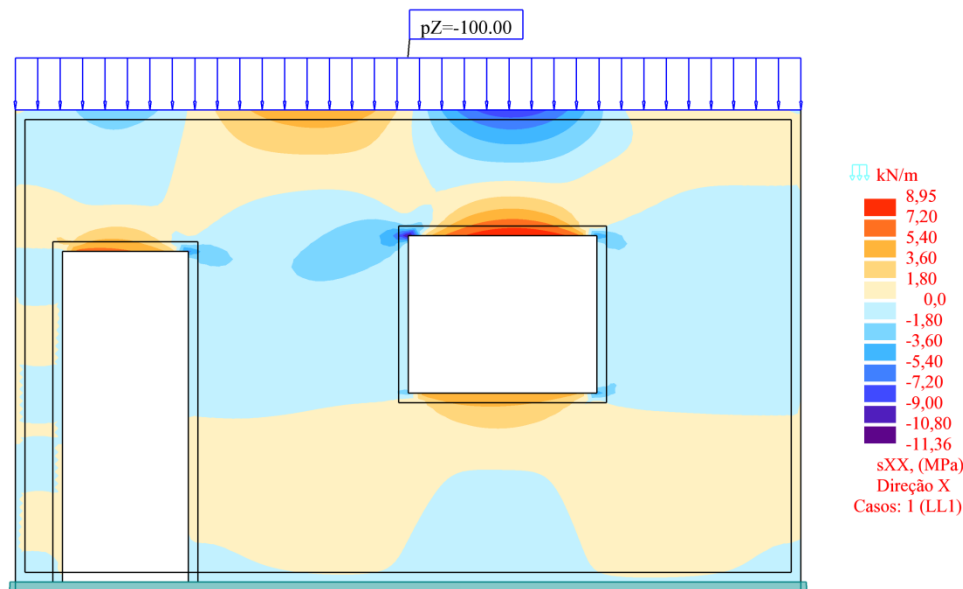


O quinto modelo consistiu em um estudo das tensões de tração que ocorrem em paredes de alvenaria quando são acrescentados furos, os quais representam portas e janelas, como



observado na figura 5. Na construção civil utiliza-se de vergas e contra-vergas, que segundo Zucchetti (2011), são estruturas que se localizam respectivamente na parte superior e inferior de vão de porta e janelas, com o objetivo de distribuir uniformemente as forças atuantes nos vértices de aberturas, reduzindo o acúmulo de tensões e evitando patologias nestas áreas.

Figura 5: Modelagem em estado plano de tensão de parede de alvenaria com porta e janela.



Após a aplicação da metodologia em estudo, foi apresentado aos alunos um ultimo questionário, cujo objetivo seria analisar possíveis melhoras na capacidade dos mesmos em perceber comportamentos básicos da estrutura, tanto em relação aos deslocamentos como na análise de tensões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de colaborar com o ensino da disciplina de resistência dos materiais na universidade de fortaleza, foi realizado um questionário inicial, o qual foi dividido em 2 etapas, uma com o objetivo de avaliar a dificuldade dos alunos na disciplina e o interesse dos mesmos na aula com a utilização de modelos computacionais com formulação em elementos finitos, e a outra com o objetivo de avaliar o conhecimento dos mesmos a respeito da percepção do comportamento estrutural.

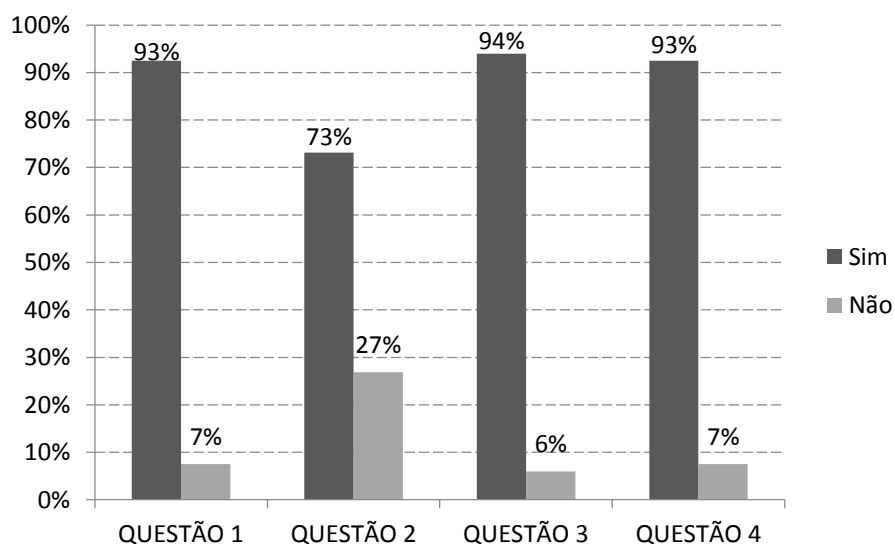
Os questionários foram aplicados em quatro turmas da disciplina em questão, no qual foram obtidas, no primeiro questionário, 67 respostas e no segundo, 78 respostas. Foram selecionados, para análise comparativa, somente os alunos que responderam aos dois questionários, totalizando 46 alunos.

A primeira etapa do questionário foi composta pelas quatro seguintes questões: 1) A disciplina de resistência dos materiais 2 atende as suas expectativas?; 2) Você tem dificuldade em aprender resistência dos materiais 2?; 3) Você acha que a utilização de modelos computacionais com formulação em elementos finitos colaborará com o aprendizado da disciplina?; 4) Você tem interesse em aprender resistência dos materiais 2 utilizando modelos computacionais com formulação em elementos finitos?



Após a aplicação da primeira etapa do questionário, foi possível extrair os resultados, os quais estão apresentados no gráfico 1.

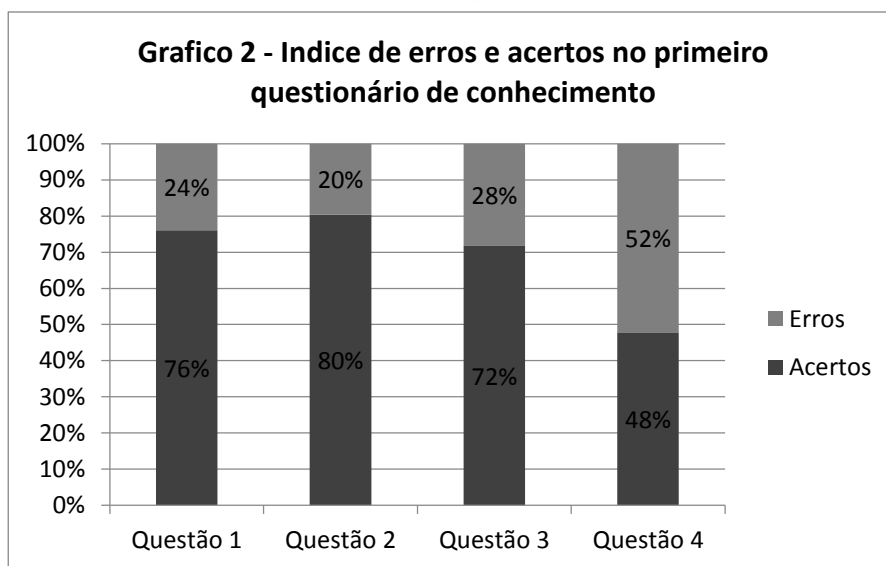
Gráfico 1 - Nível de satisfação e interesse dos alunos



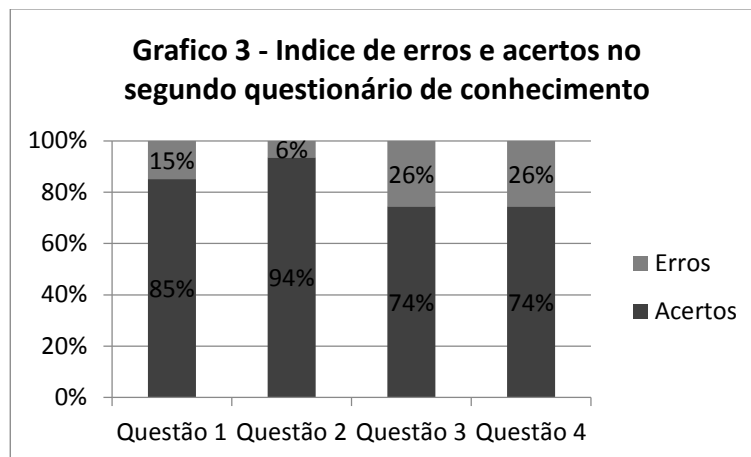
O gráfico supracitado mostra que, de acordo com as respostas dadas na primeira questão, 93% dos alunos acreditam que a disciplina atende as expectativas dos mesmos, mostrando que o conteúdo apresentado é aplicado em um bom nível de detalhamento, porém os resultados das respostas dadas a segunda questão mostram que 73% dos alunos sentem dificuldade no aprendizado, levando ao questionamento do motivo de tamanha dificuldade. Na terceira e quarta questão, foi analisado o interesse dos alunos em aprender a disciplina por meio de modelagens computacionais em programas com formulação em elementos finitos, o que apresentou resultados positivos, mostrando um índice de 93% de interesse na metodologia.

A segunda etapa também foi composta de um questionário, cujo objetivo seria avaliar a capacidade dos alunos em perceber certos comportamentos estruturais de deslocamento e distribuição de tensão. A primeira questão abordou o efeito dos parâmetros de rigidez no deslocamento de determinada estrutura, no qual foi solicitado ao aluno que comparasse o deslocamento de dois elementos de rigidez diferentes. Da segunda a quarta questão, foi solicitado aos alunos que identificassem as regiões de tração e compressão de estruturas submetidas a determinadas situações, sendo elas, uma viga bi apoiada, em balanço e uma chapa com furo centrado, submetida à tração simples, respectivamente.

Após os alunos responderem o questionário, foi possível extrair os dados apresentados no gráfico 2, o qual mostra que a maioria apresentou respostas satisfatórias no questionário, porém alguns alunos ainda tiveram dificuldades, principalmente na última questão a qual trata da concentração de tensão em chapas com furos. Por consistir em um problema diferente e com alto nível de percepção, cerca de 52% dos alunos tiveram dificuldade nesta questão.



Após a aplicação da aula com os modelos, foi realizado outro questionário diferente, porém com mesmo nível que o anterior, onde foram obtidos resultados melhores e mais satisfatórios, principalmente ao analisar a ultima questão, também sobre concentração de tensão, onde houve uma melhora significativa no entendimento da mesma e por consequência, o número de acertos. Os resultados do segundo questionário podem ser observados no gráfico 3, onde é possível ver que o numero de alunos que erraram a questão da chapa com furo (questão 4), diminuiu de forma significativa, de 52% para 26%. Tal melhora se deve ao aparato visual e diagramas de cores que o programa de elementos finitos oferece ao usuário, ao mesmo tempo em que permite ao estudante analisar a estrutura em estudo em diversos casos, tornado o senso crítico mais aguçado.



Fazendo um comparativo entre os gráficos 2 e 3 podemos ver uma melhora de cerca de 10% nos resultados, quando analisados de uma forma geral, mostrando que os alunos, com apenas uma aula utilizando o programa de elementos finitos, obtiveram uma melhora na percepção do comportamento estrutural, além de criarem certa maturidade para analisar problemas que necessitam de uma capacidade de percepção maior.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao primeiro questionário aplicado em sala de aula, foi possível detectar que, embora a disciplina de resistência dos materiais 2 seja ministrada com um nível de detalhamento adequado, os alunos ainda mostravam dificuldades no aprendizado da mesma e que tinham além de curiosidade, a necessidade de algo que torne o aprendizado algo mais fluido e que realmente mostrasse, de forma visual, como aquela teoria ministrada em sala de aula se aplica na prática.

Na aplicação do segundo questionário, cuja função era avaliar a capacidade dos alunos em perceber certos comportamentos estruturais, constatou-se que para problemas comuns, os alunos obtinham resultados satisfatórios, porém em situações um pouco mais complexas, os alunos obtinham resultados ruins, justamente pela falta de percepção.

Depois de ministrada a aula com a utilização de modelos computacionais com formulação em elementos finitos e aplicação do questionário final, cuja função era a mesma da segunda parte do primeiro questionário, foi possível detectar uma melhora significativa nos resultados, principalmente em questões de complexidade maior. Sendo tal metodologia muito bem aceita pelos alunos e levando em consideração os resultados obtidos neste artigo, pode-se chegar à conclusão de que o uso de programas de elementos finitos na disciplina pode vir a desempenhar um papel de extrema importância na formação de futuros engenheiros.

Agradecimentos

A Universidade de Fortaleza e ao Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) pela oportunidade acadêmica proporcionada por meio do programa de monitoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCEIÇÃO, K. & GONÇALVES, M. B.. **Contribuição para o ensino de Matemática nos cursos de Engenharia. Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Florianópolis, 2004.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos da Metodologia Científica.** São Paulo: Altas, 2003.

MERCADO, Luis Paulo (Org.). **Novas Tecnologias na Educação: Reflexões sobre a prática.** Maceió: EDUFAL, 2002.

PEREIRA, Leonardo Romão et al. “**O uso da tecnologia na educação, priorizando a tecnologia móvel.** Disponível em: http://www.senept.cefetmg.br/galerias/Anais_2012/GT-02/GT02-014.pdf . Acesso em: 22 maio. 2017.

SORIANO, Humberto Lima. **Método de elementos finitos em análise de estruturas.** São Paulo: Edusp, 2003.

VAZ, L. E. **Método dos elementos finitos em análise de estruturas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.



ZUCCHETTI, Lais et al. Proposta de elemento de integração para a interface entre alvenaria estrutural e esquadria. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p.99-115, 24 ago. 2011

STUDY OF STRENGTH OF MATERIALS USING COMPUTATIONAL MODELS WITH FORMULATION IN FINITE ELEMENTS

Abstract: *This article has the goal of exploring the possibility of implementing computational models with the formulation of finite elements and analyzing the results of their application in disciplines of strength of materials. For this analysis, surveys were used before and after the application of the methodology presented in this article, in order to obtain the level of satisfaction of the students with the subject, the degree of difficulty to learn such subject, interest in the applied methodology, and a comparison between capacity of perception of the structural behavior of pieces submitted to some types of requests. The study presented in this article makes it possible to observe the benefits in the implementation of this methodology in classrooms, unifying the classes taught by professors with the practice through the use of the computer, making the student really understand how the piece behaves when submitted to requests studied in the theory.*

Key-words: *Computational models, Strength of materials, Finite elem*

Organização



Promoção

