

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA APLICAÇÃO DE IMPRESSÕES 3D NO ENSINO DO COMPONENTE CURRICULAR ESTRUTURAS DE AÇO NA UFERSA - CMPF

José Henrique Maciel de Queiroz ¹
Matheus Fernandes de Araújo Silva ²
Hortência Pessoa Rêgo Gomes ³

RESUMO

A visualização correta e a interpretação de representações de estruturas de aço em duas dimensões (2D) pode se tornar um problema para alguns alunos do curso de engenharia civil, caso eles não estejam familiarizados com esta metodologia de detalhamento. Diante disso, este trabalho busca propor uma metodologia diferenciada para o ensino do componente curricular citado, fazendo uso de recursos didáticos elaborados via impressão 3D. Peças impressas de diversas formas, conforme os conceitos estudados, seriam utilizadas ao longo do componente curricular, proporcionando ao aluno uma visão completa de configurações das estruturas, de difícil visualização, quando representadas em 2D. Portanto, neste estudo apresentamos um conjunto de formas para estas peças, discutindo sua possível utilização no componente curricular, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros. As formas selecionadas foram baseadas no conteúdo programático do componente curricular, nos exemplos previstos para as aulas e o melhor aproveitamento possível em termos de versatilidade dos conceitos envolvidos. Chegou-se assim, a um conjunto de 6 peças, que embora abrangentes, não dispensam outras complementações didáticas, seja por meio de outras impressões ou outros recursos aplicáveis.

Palavras-chave: Impressão 3D, Didática, Estruturas de aço.

INTRODUÇÃO

As tecnologias mais recentes, quando bem empregadas, podem ser fortes aliadas no processo ensino-aprendizagem. Esse sucesso depende, é claro, de muitos fatores, dentre eles podemos citar a adequação à metodologia do docente e a relação entre os conteúdos abordados e os recursos tecnológicos elencados para complementação dos métodos tradicionais, logo requer um laborioso planejamento por parte do docente.

Diante de uma notória dificuldade apresentada por parte dos alunos matriculados no componente curricular Estruturas de Aço do curso de Engenharia Civil na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros (CMPF) em

¹ Graduado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, henrique.jhmq@hotmail.com;

² Doutor pelo Curso de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo - USP, matheus.silva@ufersa.edu.br;

³ Mestre pelo Curso de Ensino de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte - UERN, hortenciapessoa@ufersa.edu.br;

compreender determinados conceitos e representações bidimensionais de estruturas, sugere-se a utilização de alternativas metodológicas para facilitar a mediação do conhecimento por parte do docente, permitindo também maior efetividade no processo ensino-aprendizagem.

Frente à problemática exposta, o presente trabalho possui o objetivo de propor a utilização de impressões 3D (tridimensionais) como recurso didático complementar para o ensino do componente curricular anteriormente citado, sugerindo algumas peças relativamente simples que podem ser confeccionadas com essa tecnologia e explanado sobre os conceitos que podem ser tratados a partir das características de cada uma delas.

METODOLOGIA

Existem, atualmente, diversos métodos, ou seja, diversos caminhos de se chegar ao objetivo de uma pesquisa científica, de forma que não existe um método padrão e único que possa ser aplicável a todos os trabalhos científicos. Seguindo este pensamento, cada pesquisa necessita de uma análise prévia dos métodos disponíveis e escolha de qual/quais se adequam à problemática em pauta. (GIL, 2008)

Por meio desta análise, adotou-se a metodologia do tipo exploratória para o desenvolvimento desta pesquisa, ou seja, através de pesquisas bibliográficas e consultas ao docente da turma objeto do estudo. O autor Gil (2008), informa que a essência do método exploratório está em desenvolver esclarecer e modificar conceitos e ideias, buscando formular problemas mais precisos e hipóteses pesquisáveis em estudos posteriores.

Quanto à forma de abordagem do problema, tem-se uma pesquisa de caráter qualitativo. Sendo assim, foi avaliada a importância de cada forma estrutural que dariam origem às impressões 3D e assim foi feita a escolha das que mais se adequariam às aulas do componente curricular na respectiva turma da UFERSA CMPF.

A coleta dos dados necessários para a seleção dos modelos a serem impressos e consequentemente elaboração dos resultados e suas discussões expostos adiante foi proveniente da turma de Estruturas de Aço (PEX0288) do semestre letivo 2018.1 do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil no CMPF da UFERSA. Foram consultados documentos oficiais do componente curricular como o seu Programa Geral do Componente Curricular (PGCC), além da consulta recorrente ao docente da turma.

No desenvolvimento da pesquisa, foram executadas basicamente duas grandes etapas até o alcance dos seus objetivos, como será discorrido a seguir.

A primeira etapa foi realizada a partir da pesquisa bibliográfica associada ao tema. Para tanto, empregaram-se recursos digitais para busca de bibliografia correlacionada à proposta da pesquisa, como *sites*, artigos publicados em revistas, periódicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado. Além destes, também foram consultados materiais impressos como livros, revistas e manuais específicos para as estruturas metálicas.

Em uma segunda etapa, houve a seleção das peças e posterior planejamento da sua utilização em aula. Inicialmente, foram estudadas juntamente com o docente do componente curricular, as peças mais relevantes que poderiam ser impressas e que viessem a auxiliar na dinâmica da aula e entendimento das situações apresentadas. Esse estudo resultou na definição de 6 peças, foram elas: uma conexão de base de pilar em perfil I, quatro ligações entre vigas e pilares também em perfis I e uma conexão entre barras do tipo dupla cantoneira.

DESENVOLVIMENTO

Seguindo a premissa de Peixoto e Araújo (2012), a capacidade racional do homem permite que ele por si próprio interprete o mundo e a moral vigente. Com esta capacidade, é possível, por exemplo, entender e exprimir matematicamente fenômenos naturais, prevê-los e dominá-los. Ao associar isto à possibilidade de transformação da natureza, o homem sai da sua posição passiva, iniciando sua intervenção nos meios naturais.

Com a transmissão e aglutinação dos conhecimentos adquiridos, o ser humano vai constituindo um referencial universal subjetivo, ou seja, a razão humana. Este processo induz ainda a uma forma de transformação ou consolidação dos meios sociais do homem por ele mesmo. A partir desta lógica, percebe-se que o desenvolvimento social estaria atrelado diretamente ao desenvolvimento tecnológico, conduzido pela capacidade do homem criar instrumentos de transformação a partir dos seus conhecimentos adquiridos de maneira intrínseca ao seu próprio sistema. (PEIXOTO; ARAÚJO, 2012).

Este aspecto de transformação social pode ser observado no contexto pedagógico atual, com a implementação das mais recentes tecnologias no processo ensino-aprendizagem. Desta forma, a tecnologia é tida como instrumento para alcançar as finalidades pedagógicas e ao mesmo tempo promove mudanças nos padrões da sociedade.

Um destaque citado por Vaillant (2012) em seus trabalhos, é a necessidade de atualização das formas de ensino em decorrência do desenvolvimento da humanidade em geral. Segundo ele, as mudanças sociais que envolvem a relação interpessoal entre professor e aluno, bem como a evolução tecnológica devem estar integradas às salas de aulas modernas, trazendo

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

dessa forma, novos desafios e oportunidades ao professor. Junto a isto, surge uma demanda em modificar as metodologias de ensino e discutir o papel do professor na formação profissional.

A citação anterior permite dizer que as tecnologias emergentes⁴ não só podem ser utilizadas como instrumento de ensino, como é um ponto a ser considerado pelo professor, podendo trazer melhoria e adequação do ensino à realidade atual. Além deste, Feldkercher (2015) expõe a defesa atual de uma oferta de experiências ricas e sedutoras aos jovens em aprendizado, para que, por meio da tecnologia, possam despertar o interesse pela pesquisa e pelo estudo.

Daí, se estabelece um ciclo, que resulta no desenvolvimento geral das nações, pois como diz Lima (2017), educação, ciência e tecnologia são a base da pesquisa científica e tecnológica, que com seu potencial inovador viabilizam a melhoria na qualidade de vida das pessoas e nos processos produtivos nas mais diversas áreas.

O mesmo autor nos informa a existência de três etapas no processo de evolução tecnológica: invenção, inovação e difusão. A invenção, proveniente da pesquisa e desenvolvimento de novas ideias seria complementada com o aprimoramento do objeto do estudo resultando em inovação que se consolida com a difusão entre a população.

Assim, partindo-se de uma tecnologia ainda emergente, seu uso como instrumento pedagógico promoverá sua difusão e este mesmo uso poderá instigar os estudantes a se tornarem pesquisadores e assim buscarem formas de invenção e inovação a partir de sua visão particular sobre o real. Isso poderia ajudar a superar um dos grandes desafios da educação colocado por Moran (2000): promover no educando o gosto pelo aprendizado.

Um conceito relacionado a esta proposta é o de Tecnologia Educacional⁵, o qual por muitas vezes não é visto com sua verdadeira abrangência, sendo facilmente associado à informatização do ensino por meio de computadores e rede de internet nos centros de ensino. Entretanto, existe diversas tecnologias criadas pelo homem que o auxiliam no processo pedagógico, dentre eles estão a linguagem, a escrita, além é claro dos eletrônicos que alteraram substancialmente o modo de vida das pessoas e muitos outros.

Conforme Machado e Lima (2017), como as tecnologias fazem parte do dia-a-dia dos alunos, estes esperam que o professor faça uso destas em sala de aula. E este último agora na posição de mediador entre o conhecimento, tecnologia e o aluno, desencadeia habilidades e

⁴ Tecnologias em constante desenvolvimento, não consolidadas no mercado, que apresentam aplicações práticas e despertam o interesse das pessoas no sentido de possibilitar mudanças no seu modo de vida.

⁵ Estudo e prática facilitadora do ensino, através da criação, utilização ou organização de processos e recursos tecnológicos.

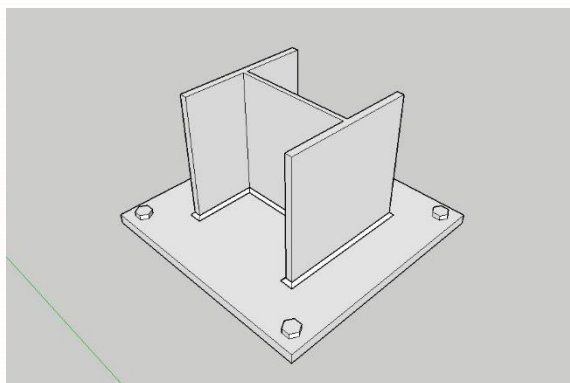
competências antes não exploradas em si e no aluno. Para o docente, ainda é importante conhecer as tecnologias para desenvolver um planejamento de aula adequado ao seu conteúdo e que procure interagir com os alunos no processo de ensino aprendizagem. (MORAN, 2000).

Esse planejamento envolve estratégias metodológicas de ensino e utilização dos recursos didáticos, haja visto que cada professor poderá encontrar uma forma mais adequada à sua aula e aos conteúdos mediados para integrar as tecnologias e que deve-se integrar novas tecnologias em conjunto com as anteriormente empregadas, para renovar a prática pedagógica. Portanto, para um melhor entendimento faremos uma síntese das metodologias e recursos didáticos existentes a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As impressões 3D aqui propostas, foram idealizadas para utilização ao longo do componente curricular Estruturas de Aço, principalmente na abordagem dos tópicos “Análise global das estruturas” e “Dimensionamento de barras comprimidas”. A primeira peça proposta é a representação de uma base de pilar com perfil metálico em I conectado a uma base de concreto por meio de uma chapa de base e quatro chumbadores, como mostra a Figura 01.

Figura 01: Modelo - base de pilar.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

O modelo da Figura 01, busca auxiliar na explicação do comportamento de perfis metálicos contidos em uma extremidade por uma chapa de base, submetidos à compressão axial. Durante o dimensionamento destes elementos comprimidos surge a necessidade, por vezes, de verificar a flambagem por torção. A chapa de base impede o giro por torção e o empenamento da seção. Conforme ilustrado na Figura 02, quando uma seção sofre torção uniforme, todos os pontos da seção estão livres para sofrerem movimentos longitudinais (Teoria

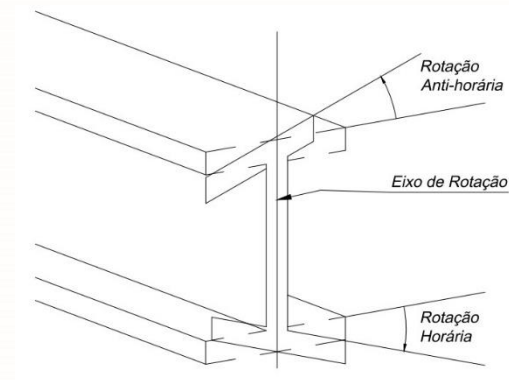
(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

de Saint-Venant). Estes movimentos provocam o empenamento da seção transversal do pilar. Quando há restrição ao empenamento, ocorre a torção não uniforme.

Figura 02: Empenamento da seção na flambagem por torção.



Fonte: Adaptado de Silva, 2008.

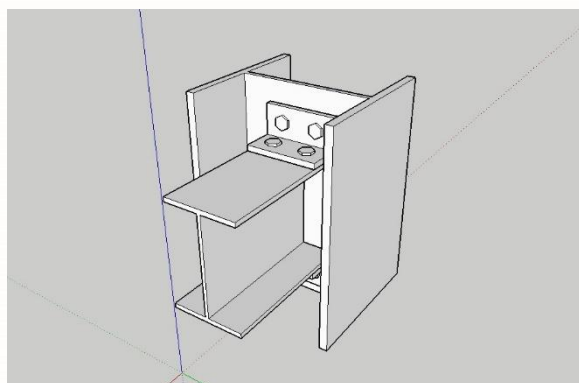
As seções transversais duplamente simétricas, como é o caso do perfil I mostrado na Figura 02 podem apresentar flambagem por flexão em relação aos eixos principais de inércia, além da flambagem por torção em relação ao seu eixo longitudinal. (FAKURY et. al., 2016).

Para explicar os conceitos associados às próximas peças 3D propostas, primeiramente, classificaremos os tipos de ligações utilizadas no projeto de estruturas metálicas. Existem três tipos de ligações, segundo Pfeil (2009), as rígidas, as flexíveis e as semirrígidas.

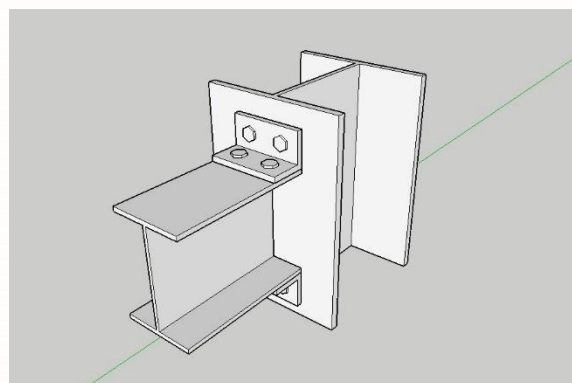
As ligações rígidas são as que têm rigidez suficiente para manter praticamente constante o ângulo entre as peças para qualquer carga, até atingir o momento resistente da ligação, ou seja, a rotação relativa entre peças é quase nula. As ligações flexíveis permitem a rotação relativa entre as peças com um comportamento próximo de uma rótula, transmitindo pequenos momentos fletores de uma peça à outra. E as ligações semirrígidas possuem o comportamento intermediário entre os dois casos anteriormente descritos. Vale lembrar que dificilmente uma ligação será perfeitamente rígida ou rotulada, pois estas são situações ideais. (PFEIL, 2009).

Na utilização proposta para as ligações entre vigas e pilares a serem fabricadas, evidenciamos o nível de rigidez em 4 tipos de ligações típicas do projeto de estruturas de aço, conforme observa-se na Figura 03, a seguir. Na Figura 03a mostramos uma ligação flexível (sem impedimento à rotação da viga e conseqüentemente sem transferência de momento fletor para o pilar); na Figura 03b, vê-se um dos tipos de ligação semi-rígida; na Figura 03c, temos uma ligação também semi-rígida, porém com um pouco mais de interação entre a viga e o pilar; e na Figura 03d, o tipo de ligação mais rígida.

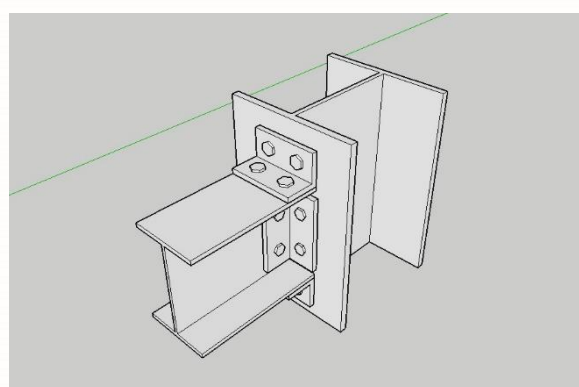
Figura 03: Ligações viga-pilar.



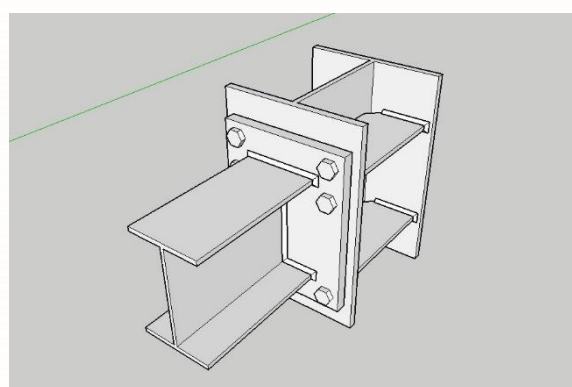
a) Modelo – ligação flexível.



b) Modelo – ligação semi-rígida 1



c) Modelo – ligação semi-rígida 2.



d) Modelo – ligação rígida.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

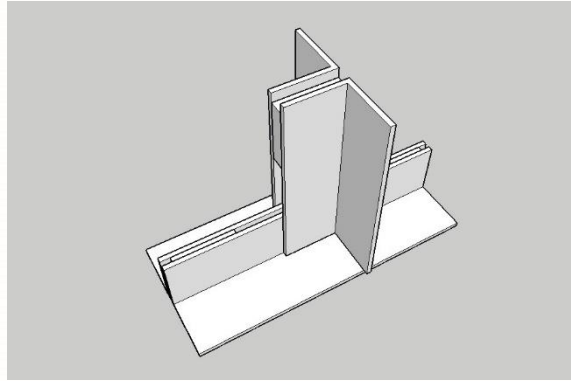
O tipo de ligação apresentado na Figura 03a é bastante recorrente pois por transmitir pouquíssimos momentos fletores da viga para o pilar, possibilitam o dimensionamento dos pilares somente submetidos ao esforço de compressão axial. Já as ligações semi-rígidas são menos usuais pois a porção de momento fletor transmitida pela ligação é muito variável e difícil de ser determinada. E a ligação rígida, da forma como é exibida na Figura 03d é também consideravelmente adotada em projetos, pois restringe em 90% ou mais a rotação do nó.

É importante conhecer bem estes tipos de ligações, pelas quais os membros da estrutura se incorporam ao conjunto para fazer sua adequada concepção. Segundo Santos (1977), a concepção inadequada de uma conexão possibilita o surgimento de esforços secundários, que colocarão em risco a estabilidade do conjunto. O autor acrescenta que uma única conexão incorreta pode arruinar totalmente uma obra, sendo este erro mais corriqueiro que problemas relacionados a cargas atuantes excessivas.

A Figura 04 a seguir mostra a última peça elencada durante a pesquisa, a qual corresponde a uma conexão entre barras do tipo dupla cantoneira, montadas com espaçadores

longitudinais. Na verdade, seria dividida em duas partes, com cada dupla cantoneira separável e com características um pouco distintas, podendo exemplificar diferentes situações de projeto.

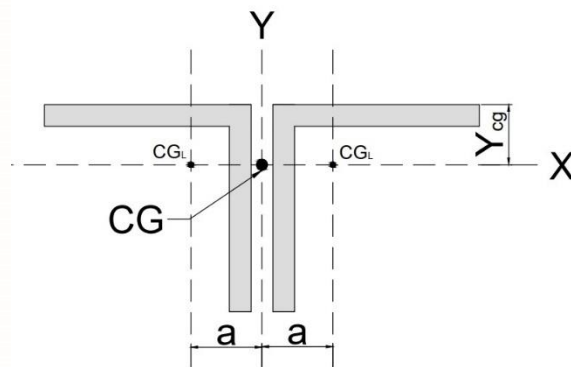
Figura 04: Modelo – conexão entre cantoneiras.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Um dos conceitos que podem ser abordados a partir destas peças é o de raio de giração da seção transversal das duplas cantoneiras. Consideremos então, uma dupla cantoneira disposta nos eixos cartesianos como mostra a Figura 05.

Figura 05: seção transversal de uma dupla cantoneira



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

De acordo com Hibbeler (2005), podemos utilizar o Teorema dos Eixos Paralelos para determinar a inércia da seção transversal em torno do eixo y (I_y) somando a inércia correspondente de cada uma das cantoneiras (I_{yL}) com uma parcela que multiplica a área da cantoneira (A_L) pela distância (a) entre o centro de gravidade da cantoneira isolada ao quadrado e o conjunto através da equação 01:

$$I_Y = 2 * (I_{YL} + A_L * a^2) \quad (01)$$

Da equação, podemos perceber que quanto maior for a distância a , maior será a inércia da seção transversal em relação ao eixo y . E a distância a pode ser maior ou menor a depender da chapa espaçadora que estará entre as duas cantoneiras simples. No modelo da figura 04, uma das duplas cantoneiras possui chapa espaçadora mais espessa que a outra, possibilitando demonstrar esta característica para os discentes.

Associado à inércia, pode ser destacado também o efeito sobre o raio de giração da seção em relação ao eixo y (r_y), visto que este raio de giração também aumenta, com o aumento da espessura da chapa espaçadora, vide a equação a seguir apresentada por Hibbeler (2005):

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (02)$$

Onde A é a área total da seção transversal.

As chapas espaçadoras podem gerar outras influências no dimensionamento das barras solicitadas axialmente. Geralmente são muito empregadas para reduzir o comprimento destravado das barras dupla cantoneira em relação ao eixo longitudinal (z), tornando-as menos esbeltas. A esbeltez (λ) das barras de aço, devem ser limitadas nos dimensionamentos à compressão, de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 8800:2008, veja:

$$\lambda < 200 \quad (03)$$

Sendo λ calculado em relação a qualquer eixo da barra, pela equação X:

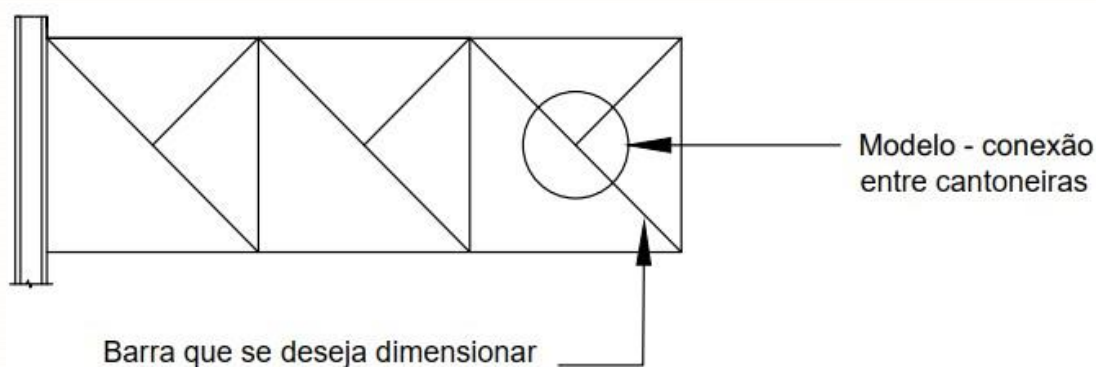
$$\lambda = \frac{l}{r} \quad (04)$$

Outra limitação estabelecida pela ABNT NBR 8800:2008 é que o índice de esbeltez de qualquer perfil, entre duas chapas adjacentes, não seja superior a 1/2 do índice de esbeltez da barra composta:

$$\lambda_z = \frac{l_z}{r_z} < \frac{1}{2} * \left(\frac{l}{r}\right)_{max. conjunto} \quad (05)$$

Ainda com relação ao índice de esbelteza, as peças fabricadas com o modelo da figura 04 por serem encaixáveis, podem auxiliar no desenvolvimento de exemplos de cálculos ao se dimensionar à compressão uma barra de treliça de forma semelhante a que pode ser vista na Figura 06 abaixo, representada simplificada:

Figura 06: Treliça plana de exemplo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018.

Neste exemplo a barra diagonal tem o seu comprimento de flambagem em relação ao eixo x reduzido pela metade devido ao travamento ocasionado pela ligação da barra que a encontra na metade do seu vão. Consequentemente, a sua esbelteza também cai pela metade quando se fala em relação ao eixo x. Em relação ao eixo y, porém o comprimento de flambagem e a esbelteza da diagonal permanecem os mesmos com ou sem a presença da barra que produz o travamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, enfatizamos que muitas são as possibilidades de utilização de impressões tridimensionais para auxílio no ensino do componente curricular Estruturas de aço - aqui analisado sob a ótica da ementa proposta pela UFERSA no Centro multidisciplinar Pau dos Ferros – com o objetivo de facilitar a compreensão de conceitos complexos que requerem dos discentes análise atenciosa e percepção espacial apurada.

Apresentamos um total de 6 peças que podem ser confeccionadas via impressão 3D e logo depois, serem utilizadas durante as aulas do componente, abordando temas como empenamento de seções transversais, tipos de conexões entre vigas e pilares, propriedades das

seções transversais (inércia e raio de giração), comprimentos de flambagem e índice de esbeltez de perfis longitudinais de aço.

Portanto, os objetivos do trabalho foram alcançados com sucesso e sua importância se dá pela contribuição da proposta metodológica para diversificação das formas de ensino atuais, incentivando o uso de tecnologias emergentes e também por indicar um conjunto de peças que podem ser utilizadas por docentes de outras instituições para discutir os conceitos associados a elas em suas aulas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 237 p.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydía R. Castro e; CALDAS, Rodrigo B.. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.

FELDKERCHER, Nadiane. Formação de professores, práticas pedagógicas, metodologias de ensino e de aprendizagem: estudos que incitam reflexões. **Rebes**: Rev. Brasileira de Ensino Superior, Passo Fundo, p.1-4, dez. 2015. Trimestral.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HIBBELER, Russel C. **Estática: mecânica para engenharia**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

LIMA, Paulo Gomes. Educação, ciência & tecnologia: discussões e travessias. **Laplage em Revista**, Sorocaba, v. 3, n. 2, p.1-4, 10 jun. 2017. Laplage em Revista. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.24115/s2446-6220201732354p.1-4>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

MACHADO, Flávia Cristina; LIMA, Maria de Fátima Webber Prado. O Uso da Tecnologia Educacional: Um Fazer Pedagógico no Cotidiano Escolar. **Scientia Cum Industria**, Caxias do Sul, v. 5, n. 2, p.44-50, 27 set. 2017. Universidade Caxias do Sul. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v5iss2p44>>. Acesso em 11 ago. 2018.

MORAN, José Manuel. Novas tecnologias e mediação pedagógica. 6. ed. Campinas: Papirus, 2000.

PEIXOTO, Joana; ARAÚJO, Cláudia Helena dos Santos. Tecnologia e educação: algumas considerações sobre o discurso pedagógico contemporâneo. **Educ. Soc.**, Campinas, v. 33, n. 118, p.253-268, mar. 2012.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Aço–Dimensionamento Prático de Acordo com a ABNT NBR 8800: 2008. **Editora LTC, 8ª. Edição, Rio de Janeiro, 2009.**



SANTOS, A. F. dos. **Estruturas metálicas: projeto e detalhes para fabricação.** Mc Graw-Hill do Brasil, 1977.

UFERSA, Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Programa Geral de Componente Curricular: Estruturas de Aço.** Pau dos Ferros-RN, 2018.

VAILLANT, D.; MARCELO, C. **Ensinando a ensinar.** As quatro etapas de uma aprendizagem. Curitiba: Editora da Universidades Tecnológica Federal do Paraná, 2012.