

ELABORAÇÃO DE TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE VIGAS ALVEOLARES EM PERFIS LAMINADOS DE ABAS PARALELAS CONFORME NORMA BRASILEIRA NBR 8800/2008

PHILIPPE AFONSO ALVES AMARAL¹ & PEDRO FEREGUETTI²

¹Graduando em Engenharia Civil, philippe_71@rocketmail.com

²Professor do Curso de Engenharia Civil, pedrofereguetti@gmail.com

Caderno Saberes, n. 6, 2020

RESUMO - O perfil celular são vigas originadas dos perfis laminados depois de submetidos a um processo de corte na alma¹ em formato circular que, quando realocadas e soldadas resultam em uma viga celular de altura maior que a original sem o aumento do peso. A concepção dos alvéolos e seu aumento proporcionam ganho no valor da inércia e sua capacidade resistiva em alguns modos de falhas, mas, conseqüentemente, as tornam mais suscetíveis a novos modos de colapsos não contemplados na norma regulamentadora sobre dimensionamento de estruturas de aço. As análises presentes no trabalho ressaltaram a enorme diferença da capacidade em suportar o fenômeno de deformação entre o perfil estudado deste trabalho e um perfil de alma cheia e ainda comparou os resultados obtidos da planilha desenvolvida na plataforma do Microsoft Office Excel com um programa de análise estrutural STRAP que, apesar das divergências de valores obtidos por adoção de metodologias de cálculo diferentes, apresentou resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Deformação. Dimensionamento. Otimização. Vigas Alveolares.

INTRODUÇÃO

Os últimos anos têm sido de recessão econômica no Brasil. O mercado de fabricação e montagem de aços está gradativamente recuperando espaço como setor importante para economia nacional que é. A demanda por soluções práticas e inovadoras que, ao mesmo tempo, sejam economicamente viáveis, tem tornado estruturas de aço como uma opção competitiva.

As aberturas na alma da viga e a expansão de altura do perfil que são características do castelamento² da viga proporcionam maior rigidez e maior momento de inércia, geometria essa que torna possível utilizar as vigas celulares para vencer vãos maiores aos quais as vigas de alma cheia não conseguem atender com a mesma eficiência. As alterações no perfil e na alma da viga trouxeram

benefícios, mas o comportamento das vigas celulares não é mais os mesmos das vigas de alma cheia, incluindo estados limites últimos³ e estados limite de serviços⁴, a Norma Brasileira que direciona quanto ao dimensionamento é a NBR 8800/2008 que não contempla integralmente o dimensionamento desse elemento construtivo tornando o menos competitivo comercialmente.

Para concretizar a concepção de uma ferramenta que auxilie no dimensionamento abrangendo os modos de colapsos e comportamento não abordados pela NBR 8800/2008 foram utilizados para estudar e compreender melhor a influência devido à abertura na alma da viga, trabalhos desenvolvidos em referências no assunto como Veríssimo *et al* (2012), Cimadevila (2000), Lawson (2011), Lubke (2017), a própria NBR 8800/2008 dentre outros.

¹Elemento da viga que resiste principalmente aos esforços transversos

²Processo automatizado que consiste em realização de corte longitudinal na alma da viga

³Estados relacionados com a segurança da estrutura sujeitos as combinações mais desfavoráveis de ações

⁴Estados relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização

Foi realizado um estudo sobre o comportamento, modos de colapsos e as prevenções dos mesmos para o elemento estrutural construtivo abordado e resultando em uma ferramenta que fosse capaz de auxiliar no dimensionamento, nesse contexto o presente trabalho teve por objetivo elaborar uma tabela de dimensionamento de vigas alveolares em perfis laminados de abas paralelas conforme estudos recentes e a Norma Brasileira NBR 8800/2008.

MATERIAL & MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi realizado estudos aprofundando conhecimentos sobre a influência ocasionada na abertura da alma da viga em trabalhos acadêmicos, Norma Brasileira, Normas Europeias, Normas Americanas dentre outros para que pudesse aplicar o conhecimento obtido em um programa de análise de sistema estrutural israelense já consolidado no mercado nacional. Foi utilizado o Strcutural Analysis Program (STRAP) para dimensionar vigas de alma cheia e como balizador da ferramenta desenvolvida para dimensionamento de vigas alveolares de aço.

A ferramenta fim deste trabalho que é a planilha eletrônica para dimensionamento de vigas alveolares de aço em perfis laminados de abas paralelas conforme a NBR 8800/2008 foi desenvolvida na plataforma da Microsoft Office

Excel aplicando os resultados obtidos das pesquisas e estudos desenvolvidos sobre o comportamento da viga e os modos de colapsos após o castelamento.

Particularizou-se o estudo e limitando a ferramenta para dimensionamento de vigas celulares de aço biapoiadas para sistema de piso, submetida a carregamento uniformemente distribuído e travada continuamente, evitando assim a Flambagem Lateral com Torção (F.L.T).⁵

Foi utilizada a tabela de bitola⁶ da Gerdau Aço minas disponível no site da empresa, para se tornar o Banco de dados da tabela desenvolvida que com a inserção de poucos dados iniciais como vão de projeto e perfil que deseja ser avaliado e carga solicitada de projeto, a planilha apresenta as características geométricas após o castelamento e é realizado o pré-dimensionamento incluindo vão para corte, diâmetros de alvéolo, distribuição de alvéolos dentre outras características utilizada na seção de dimensionamento. Na aba seguinte a ferramenta calcula os modos de falhas com base nas informações inseridas e apresenta os esforços solicitantes e os esforços resistivos. Na aba final de verificação a planilha apresenta se o perfil selecionado resiste aos esforços solicitantes e qual a porcentagem de solicitação da capacidade resistiva retornando ao usuário a mensagem se a viga foi aprovada ou reprovada para cada modo de colapso contemplado no estudo incluindo estado de limite último e estado de limite serviço.

FIGURA 1 - Orientação da seleção de perfil original

VÃO DE PROJETO (m)
Lv = 9

Carga Distribuída de Projeto (Kn)
Qd = 9,58

LISTA DE RAZÃO DE EXPANSÃO
K = 1,38

ACRESCIMO CASTELAMENTO
Heo = 133,17/mm

ALTURA PERFIL COMERCIAL (mm)
d = 349

ALTURA PERFIL ALVEOLAR (mm)
dg = 482,17

ALTURA APROXIMADA DO PERFIL ORIGINAL (mm)
d_z = 325,72

COEFICIENTES DE EXPANSÃO
COEFICIENTE EXPANSÃO ALVEOLO (μ) = 0,8
COEFICIENTE EXPANSÃO DO PASSO (η) = 1,3

COMPRIMENTO UTIL DE DISTRIBUIÇÃO DOS ALVEOLOS
Ld <= 8,64

Celulas Preenchidas na cor laranja como a célula indicada ao lado DEVE SE INSERIR DADO DE ENTRADA

CLIQUE SOB A CÉLULA INDICADA E SELECIONE ATRAVÉS DO FILTRO QUAL O PERFIL LAMINADO DESEJA FAZER A VERIFICAÇÃO

Fonte: Dados da Pesquisa.

⁵ Estado limite ultimo causado pelo momento fletor tanto em vigas de alma cheia quanto nas vigas celulares

⁶ Padrão de medida utilizada na construção civil, mecânica e em indústrias

FIGURA 2 - Aba de dimensionamento

Características Geométricas			Cortante V3 5.4.3.1.1a			Momento sem FLT		
a =	139,6	mm	Vpl =	351,93	kN	Msd =	96,9975	kN.m
ht =	101,485	mm	Vrd =	319,94	kN	Mrd =	234,54736	kN.m
At =	1700,16	mm ²	Vsd =	43,11	kN			
$\bar{Y}$ =	21,16	mm						
Y _o =	219,93	mm	Mecanismo Vierendeel			Flambagem lateral montante da alma		
W _{xo} =	682210,45	mm ³	c =	1,58	m	Vcr =	190,22	kN
Z _{xo} =	747832,15	mm ³	x =	2,92	m	Vcr / vrk2 =	2,30	
I _t =	1321081,44	mm ⁴	Msd =	85,01	kN.m	Vsd =	43,11	kN
I _{xo} =	167112839,22	mm ⁴	Vsd =	15,15	kN	VRd3 =	82,77	kN
Mpl =	258,00	kN.m						
Y _a =	80,33	mm	Escoamento Montante da alma			Deslocamento excessivo		
I _e =	17166,45	cm ⁴	Cisalhamento			f _m =	2,38	cm
A _e =	6,73	cm ²	Vsd =	43,11	kN	f _v =	0,19	cm
			VRk1 =	78,18	kN	f =	2,57	cm
			VRd1 =	71,07138	kN	f _{adm} =	2,57	cm
			flexão					
			VRk2 =	82,77	kN			
			VRD2 =	75,24356	kN			
			Vsd =	43,11	kN			

Fonte: Dados da Pesquisa.

FIGURA 3 - Aba de verificação

VERIFICAÇÃO MODOS DE FALHA

Estado limite ultimo		
Mecanismo de Vierendeel		
Seção X =	2,92	m
Mpl/1,1 =	234,55	KN.m
M+c*V =	108,98	
Aproveitamento =	46,46%	
Resultado =	APROVADO	

Estado limite ultimo		
Flambagem lateral montante da alma		
Vsd =	43,11	kn
VRd3 =	82,77	kn
Aproveitamento =	52,09%	
Resultado =	APROVADO	

Estado limite serviço		
Deslocamento excessivo		
f =	2,569	cm
fadm =	2,571	cm
Aproveitamento =	99,92%	
Resultado =	APROVADO	

Estado limite ultimo		
Escoamento montante da alma por cisalhamento		
Vsd =	43,11	kn
VRd1 =	71,07	kn
Aproveitamento =	60,66%	
Resultado =	APROVADO	

Estado limite ultimo		
Escoamento montante da alma por flexão		
Vsd =	43,11	kn
VRd2 =	75,24	kn
Aproveitamento =	57,29%	
Resultado =	APROVADO	

Estado limite ultimo		
Cortante 5.4.3.1.1a		
At =	17,00	cm²
Vsd =	43,11	kn
Vrd =	319,94	kn
Aproveitamento =	13,47%	
Resultado =	APROVADO	

Estado limite ultimo		
Momento sem FLT (G.2.1a)		
Msd =	96,9975	kn.m
Mrd =	234,5473573	kn.m
Aproveitamento =	41,36%	
Resultado =	APROVADO	

Fonte: Dados da Pesquisa.

RESULTADOS & DISCUSSÃO

Análise e Comparação dos Resultados

Esta seção foi dividida em duas etapas: uma que comparou os resultados das vigas alveolares desenvolvidas pela planilha e as vigas de alma cheia utilizando o STRAP e, posteriormente, compararam-se os resultados obtidos da planilha desenvolvida com o resultado do modelo de análise do STRAP, ambos de viga celular. A viga celular apresenta maior flexibilidade quanto à escolha de alguns parâmetros para adequação e para que não interferisse no resultado, essa flexibilidade foi limitada, fixando para este trabalho coeficiente de expansão do alvéolo (μ)⁷ = 0,8 e coeficiente de expansão do passo (η)⁸ = 1,3 ambos sendo dado de entrada.

Viga celular versus viga alma cheia

Para a verificação do comportamento da viga de alma cheia e da viga celular, foi fixado um perfil W360X32,9 para as duas primeiras análises e variando o vão de projeto em 9 metros, 12 metros. Na análise 3 foi verificado a partir de qual perfil de alma cheia atende os requisitos aplicados na viga celular para vão de projeto de 15 metros. A carga Q_d para cada análise segundo o vão de projeto foi obtida através de testes, iterativos com base no proposto em cada análise.

Análise 1

Para simulação da análise 1 foi adotado vão de projeto $L_v = 9\text{m}$ obteve que a viga celular quase obteve 100% de sua capacidade quando submetida a uma carga $Q_d = 9,58\text{ kN}$. Os resultados das ferramentas utilizadas para elaborar a TAB. 1

TABELA 1 - Análise dos resultados da viga celular x viga alma cheia

PERFIL:		W360X32,9		W360X32,9	
VÃO LIVRE: 9 metros		Alma Cheia (STRAP)		Celular (PLANILHA)	
		Qd = 9,58 kN/m		Qd = 9,58 kN/m	
Solicitação		Esforço:	Unidade	Esforço	Unidade
Cortante	Solicitante	43,11	kN	43,11	kN
	Resistente	380,92	kN	319,94	kN
	Resultado				
	%	11,00%		13,47%	
Situação		APROVADO		APROVADO	
Momento sem FLT	Solicitante	96,99	kN.m	96,99	kN.m
	Resistente	171,75	kN.m	234,55	kN.m
	Resultado				
	%	56%		41,36%	
Situação		APROVADO		APROVADO	
Deslocamento Excessivo	Solicitante	4,896	cm	2,569	cm
	Resistente	2,571	cm	2,571	cm
	Resultado				
	%	190%		99,92%	
Situação		REPROVADO		APROVADO	

Fonte: Dados da Pesquisa.

Análise 2

Para a segunda análise foi proposto avaliar qual a carga limite que a estrutura resiste antes de colapsar. Utilizando o STRAP para as vigas de alma cheia e a planilha para viga celular, foi mantido o mesmo perfil laminado de abas paralelas W360X32,9 e vão de projeto $L_v = 12\text{m}$.

Por meio de verificações iterativas pelo dimensionamento com utilização do programa foi encontrada como carga máxima de projeto para a viga de alma cheia $Q_d = 2,1\text{ kN}$.

Quando submetida a uma carga de projeto de 2,1 kN novamente a viga chega próximo ao colapso por deslocamento excessivo (deformação)⁹ conforme resultados apresentados na TAB. 2.

⁷Razão entre o diâmetro do alvéolo e a altura do perfil antes do processo de castelamento

⁸Razão do passo e o diâmetro do alvéolo

⁹Curvatura (flecha) ocasionada devido ao momento fletor e esforço cortante

TABELA 2 - Análise dos resultados da viga celular x viga alma cheia

PERFIL:		W360X32,9		W360X32,9	
VÃO LIVRE: 12 metros		Alma Cheia (STRAP) Qd = 2,1 kN/m		Celular (PLANILHA) Qd = 4,18 kN/m	
Solicitação		Esforço:	Unidade	Esforço	Unidade
Cortante	Solicitante	12,66	kN	25,05	kN
	Resistente	380,92	kN	319,94	kN
	Resultado				
	%	3,00%		13,47%	
	Situação	APROVADO		APROVADO	
Momento sem FLT	Solicitante	37,98	kN.m	75,15	kN.m
	Resistente	171,75	kN.m	234,55	kN.m
	Resultado				
	%	22%		41,36%	
	Situação	APROVADO		APROVADO	
Deslocamento Excessivo	Solicitante	3,400	cm	3,427	cm
	Resistente	3,429	cm	3,429	cm
	Resultado				
	%	99%		99,96%	
	Situação	APROVADO		APROVADO	

Fonte: Dados da Pesquisa.

A viga celular apresentou melhor desempenho se comparado ao modelo de alma cheia, utilizando a planilha por meio interativo, arbitrando cargas de projeto com finalidade de obter a carga máxima que o elemento suportaria sem sofrer colapso por algum dos modos de falha estudado. Portanto, foi definido que a carga máxima de projeto resistida pela viga celular com as condições impostas neste item é de $Q_d = 4,18$ kN.

Análise 3

Nas análises anteriores a viga se portou como governante de dimensionamento para o estado-limite de serviço de deslocamento, por tanto de modo similar, para a terceira análise foi estabelecida qual a carga máxima resistente pela viga celular dimensionada pela planilha eletrônica para um vão de projeto $L_v = 15$ m e obteve uma carga $Q_d = 2,17$ kN.

Com base nas informações acima foi utilizado o STRAP para verificar qual perfil de alma cheia foi capaz de atender deformação para a mesma carga e vão impostos para viga celular e conforme TAB. 3 dentre o mesmo tipo de perfil W da serie W360 o perfil mais leve que

atendeu aos requisitos impostos para o dimensionamento foi o W360X64. Os resultados apresentados na TAB. 3 permite verificar que para atender a relação de deslocamento conforme o estabelecido pela ABNT NBR 8800:20008 a viga de alma cheia teve que ser substituída por outro perfil com aproximadamente o dobro da massa linear em kg/m. O que pode representar em muito elevação na relação do custo do aço tanto a precificação final quanto em elementos de distribuição de cargas e os esforços como vigas e pilares de dimensões maiores.

TABELA 3 - Análise dos resultados da viga celular x viga alma cheia

PERFIL:		W360X64		W360X32,9	
VÃO LIVRE: 15 metros		Alma Cheia (STRAP) Qd = 2,17 kN/m		Celular (PLANILHA) Qd = 2,17 kN/m	
Solicitação		Esforço:	Unidade	Esforço	Unidade
Cortante	Solicitante	16,27	kN	16,27	kN
	Resistente	502,8	kN	319,94	kN
	Resultado				
	%	3,00%		5,09%	
	Situação	APROVADO		APROVADO	
Momento sem FLT	Solicitante	61,03	kN.m	61,03	kN.m
	Resistente	359,27	kN.m	234,55	kN.m
	Resultado				
	%	17,00%		26,02%	
	Situação	APROVADO		APROVADO	
Deslocamento Excessivo	Solicitante	3,990	cm	4,283	cm
	Resistente	4,286	cm	4,286	cm
	Resultado				
	%	93,00%		99,94%	
	Situação	APROVADO		APROVADO	

Fonte: Dados da Pesquisa.

Planilha desenvolvida versus programa de dimensionamento

Neste item foram feitas análises comparativas dos resultados das vigas celulares obtidos por meio da planilha desenvolvida e do programa de análise estrutural utilizado STRAP. Mantendo-se, assim, parâmetros fixados como o coeficiente de expansão do alvéolo ($\mu = 0,8$ e coeficiente de expansão do passo ($\eta = 1,3$ para que não ocorram alterações nos resultados devido à mudança de geometria.

Análise 4

Foi considerado um perfil W360x32,9 com um vão de projeto $L_v = 9$ m e por meio

interativo foi observado qual a carga máxima suportada sem que ocorra algum modo de falha em ambos os modelos submetido a mesma carga e posteriormente analisado o comportamento e os resultados.

A carga $Q_d = 9,5$ kN foi a máxima carga suportada para ambos os modelos de viga celular.

TABELA 4 - Análise dos resultados da viga celular (Planilha x STRAP)

TABELA DE RESULTADOS						
PLANILHA X STRAP						
Carga = 9,5 kN Vão de Projeto = 9m		PLANILHA		STRAP		DIFERENÇA
Cortante	SOLICITANTE	42,75	kN	40,63	kN	4,95%
	RESISTENTE	319,94	kN	202,98	kN	36,55%
Momento Fletor sem FLT	SOLICITANTE	96,19	kN.m	96,19	kN.m	0,00%
	RESISTENTE	234,55	kN.m	223,33	kN.m	4,78%
Deformação	SOLICITANTE	2,548	cm	2,548	cm	0,00%
	RESISTENTE	2,571	cm	2,571	cm	0,00%
Formação de mecanismo Vierendeel	UTILIZAÇÃO CAPACIDADE DE RESISTENCIA	46,08	%	58	%	-11,92%

Fonte: Dados da Pesquisa.

Conforme mostra a TAB. 4 o fator responsável por direcionar o dimensionamento da viga celular de aço adotado na análise 4 foi a deformação nas duas ferramentas utilizadas. Para o fenômeno de formação de mecanismo de Vierendeel não foi possível fazer uma análise precisa, pois as metodologias utilizadas não são as mesmas, porém apresentado a porcentagem utilizada da capacidade de resistência em ambos os modelos foi possível verificar que a planilha apresentou melhores resultados tendo

46,08% de sua capacidade enquanto no STRAP o modelo teve 58% de utilização conforme TAB. 4.

Análise 5

Seguindo a metodologia da análise anterior foi feito uma nova análise, agora para um vão de projeto $L_v = 12$ m e foi obtido uma carga $Q_d = 4$ kN solicitando quase 100% da capacidade de resistência para deformação no modelo utilizando o programa de análise estrutural. Foram obtidos os resultados apresentados na TAB. 5.

TABELA 5 - Análise dos resultados da viga celular (Planilha x STRAP)

TABELA DE RESULTADOS						
PLANILHA X STRAP						
Carga = 4kN Vão de Projeto = 12m		PLANILHA		STRAP		DIFERENÇA
Cortante	SOLICITANTE	24	kN	23,11	kN	3,71%
	RESISTENTE	319,94	kN	202,98	kN	36,55%
Momento Fletor sem FLT	SOLICITANTE	72	kN.m	72	kN.m	0,00%
	RESISTENTE	234,55	kN.m	223,33	kN.m	4,78%
Deformação	SOLICITANTE	3,283	cm	3,391	cm	-3,28%
	RESISTENTE	3,429	cm	3,429	cm	0,00%
Formação de mecanismo Vierendeel	UTILIZAÇÃO CAPACIDADE DE RESISTENCIA	32,83	%	40	%	-7,17%

Fonte: Dados da Pesquisa.

A diferença de resultados devido a adoção de metodologia utilizada para cálculo da área da seção transversal difere em ambos os modelos e foi notado que na análise 5 houve uma variação de -3,28% na flecha solicitante o que representa que o método utilizado na planilha foi menor que no programa de dimensionamento resultando em uma capacidade maior ao esforço submetido antes de atingir o limite de deformação segundo NBR 8800.

Também, como na análise 4, a formação de mecanismo de Vierendeel não foi possível observar os valores solicitantes e resistentes por adotarem metodologias diferentes, mas ambas as ferramentas de dimensionamento apresentaram a porcentagem utilizada de suas capacidades resistentes e foi observado que aumentando o vão de projeto, os valores se aproximaram tendo uma variação de

7,1%, ou seja, o valor apresentado pela planilha apresenta que utilizou menos da capacidade de resistir ao fenômeno submetido.

Análise 6

Foi considerado um perfil W360x32,9 com um vão de projeto $L_V = 15\text{m}$ e por meio iterativo foi observado qual a carga máxima suportada sem que ocorra algum modo de falha em ambos os modelos submetido a mesma carga e posteriormente analisado o comportamento e os resultados. A carga $Q_d = 2,05\text{ kN}$ foi a máxima carga suportada para ambos os modelos de viga celular

Depois de obtido a carga foi elaborada a TAB. 6 que apresenta uma comparação dos valores solicitante e resistente para o perfil adotado nesta análise submetida a uma mesma carga uniformemente distribuída.

TABELA 6 - Análise dos resultados da viga celular (Planilha x STRA)

TABELA DE RESULTADOS						
PLANILHA X STRAP						
Carga = 2,05 kN Vão de Projeto = 15m		PLANILHA		STRAP		DIFERENÇA
Cortante	SOLICITANTE	42,75	kN	40,63	kN	4,95%
	RESISTENTE	319,94	kN	202,98	kN	36,55%
Momento Fletor sem FLT	SOLICITANTE	96,19	kN.m	96,19	kN.m	0,00%
	RESISTENTE	234,55	kN.m	223,33	kN.m	4,78%
Deformação	SOLICITANTE	4,046	cm	4,243	cm	-4,87%
	RESISTENTE	4,286	cm	4,286	cm	0,00%
Formação de mecanismo Vierendeel	UTILIZAÇÃO CAPACIDADE DE RESISTENCIA	25,68	%	30	%	-4,32%

Fonte: Dados da Pesquisa.

Assim como nas análises 4 e 5 foi possível inferir que conforme se adote viga para vãos maiores, a variação da utilização da capacidade de resistência da formação de mecanismo de Vierendeel reduz, para a análise em questão, a planilha obteve 25,68% de sua capacidade utilizada enquanto pelo programa de dimensionamento foi de 30% por tanto a variação reduzida que agora foi de -4,32% representa que a metodologia na ferramenta de

dimensionamento por meio da planilha eletrônica desenvolvida neste trabalho apresentou uma melhor performance tendo a viga sendo menos submetida ao esforço. Seguindo o padrão observado em todas as análises feitas neste trabalho o fator que governa o dimensionamento das vigas celulares de aço foi à deformação no qual obteve uma variação de -4,87% para a flecha solicitante inferindo que a metodologia utilizada na

planilha se portou mais eficiente o que permite para a viga dimensionada pela planilha desenvolvida suportar uma carga maior que a do STRAP para atender a deformação estabelecida.

CONCLUSÕES

Foi desenvolvida a ferramenta capaz de auxiliar no dimensionamento de vigas alveolares de aço em perfis laminados de abas paralelas conforme Norma Brasileira NBR 8800/2008. A planilha eletrônica se limita a cálculos para vigas celulares de aço biapoiadas para sistema de piso, submetida a carregamento uniformemente distribuído e travada continuamente, evitando assim a Flambagem Lateral com Torção (F.L.T).

Inferiu-se embasando nos resultados apresentados neste trabalho, a eficiência do elemento viga celular se comparado a uma viga de alma cheia para casos em que é necessário vencer vãos maiores. A viga foco deste trabalho suportou quase o dobro da carga aplicada a um perfil de alma cheia sem que a mesma sofresse colapso. Um perfil de alma cheia para atender o estado de limite de serviço de deslocamento excessivo da mesma carga aplicada em uma viga celular teve que ser substituído por um perfil de peso linear de aproximadamente o dobro do perfil celular, o que impactaria diretamente no custo final da concepção do projeto.

Conforme esclarece o item I.2 da NBR 8800:2008 deve ser usado princípios reconhecidos pela engenharia de estruturas e em seu item S.3 recomenda algumas bibliografias que trata sob os efeitos de abertura na alma da viga. O presente estudo se mostrou eficiente para análise comportamental de uma viga celular de aço sua metodologia foi embasada nas bibliografias recomendadas e em outros autores, por tanto apesar das divergências de valores não é possível invalidar a planilha desenvolvida.

O estudo detalhado dos resultados demonstra que se faz necessário o

desenvolvimento e padronização de técnicas de otimização de vigas alveolares de aço. A atualização da norma regulamentadora que dá providência para o dimensionamento de estruturas de aço é necessária e deve ser amplamente debatida, pois, as vigas celulares apresentaram melhores resultados para resistir a deformações quando submetidas ao carregamento uniformemente distribuído principalmente em grandes vãos, porém, a não tratativa e uma diretriz que forneça segurança e respaldo para quem utiliza as vigas celulares não contribuem para difundir e tornar este elemento mais competitivo no mercado nacional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.

CIMADEVILA, Francisco; GUTIÉRREZ, Emilio; RODRÍGUEZ, José. *Vigas alveoladas*. Vol 3. Madri: A Coruña: Biblioteca Técnica Universitária; 2000.

GERDAU. PERFIS ESTRUTURAIS GERDAU. *Tabela de bitolas*. Disponível em: < <https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/perfil-estrutural-tabela-de-bitolas.pdf> >. Acesso em: 20 fev. 2019.

LAWSON, Robert; HICKS, Stephen. *Design of composite beams with large openings*, SCI P355, SCI Publication, Berkshire UK, 2011.

LUBKE, Gabriela. *Dimensionamento Otimizado de Vigas Alveolares de Aço*. 2017. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

VERISSIMO *et al.* In: CONGRESSO LATINOAMERICANO. DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 5., 2012, São Paulo. *Dimensionamento de vigas alveolares de aço*. Viçosa, 2012 p. 1-17.