COMPARATIVO ENTRE VIGAS VIERENDEEL E TRELIÇAS: ASPECTOS SOBRE COMPORTAMENTO ESTRUTURAL FRENTE AOS ESFORÇOS SOLICITANTES

Comparison between Vierendeel beams and trusses: aspects of structural behavior in face of design loads

RAMIREZ, KAREN NICCOLI
Universidade Presbiteriana Mackenzie – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia.

OBATA, SASQUIA HIZURO
Universidade Presbiteriana Mackenzie – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

FEHR, LUCAS
Universidade Presbiteriana Mackenzie – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Resumo: Neste artigo, é realizado um comparativo entre vigas Vierendeel e treliças a partir da resposta estrutural e esforços solicitantes. Apresentam-se alguns conceitos das formas e funções destes sistemas estruturais, o estudo morfológico como um processo de integralização das atividades do projeto ao executado. Da conceituação da viga Vierendeel e tipologias de treliças são analisadas a distribuição e a absorção dos esforços por seus elementos estruturais, assim como o grau de deslocamentos gerados, a partir de modelos em *software*, sob mesmas condições de carregamento. Mostra-se que as treliças tipo K geram menores deslocamentos verticais, em contraposição às vigas treliçadas Vierendeel, que além dos esforços de tração devem resistir a cortante e o momento fletor. Já os máximos esforços normais de tração e de compressão nos banzos são observados na treliça Brown e na Warren. Ao comparar o comportamento estrutural da viga treliçada Vierendeel e a viga Vierendeel, para um vão de 30 metros, verificam-se maiores solicitações e flechas na viga Vierendeel, com deslocamentos verticais que chegam a ser 44,4% superiores. Observa-se que decisão arquitetônica e estrutural entre vigas treliçadas e vigas Vierendeel reside não somente na condição da forma e função, mas também nas condicionantes estruturais e, por consequência, construtivas.

Palavras-chave: Viga Vierendeel; Viga treliçada Vierendeel; Treliça; Comportamento estrutural; Projeto arquitetônico.

Abstract: In this article, a comparative study is carried out between Vierendeel beams and trusses based on the structural behavior and design loads. Some concepts of the forms and functions of these structural systems are presented, the morphological study as a process of integrating the activities of the project to the execution. From the conceptualization of the Vierendeel beam and trusses typologies, the distribution and absorption of the internal forces by its structural elements are analyzed, as well as the degrees of displacements generated, based on software models, under the same loading conditions. It is shown that type K trusses generate smaller vertical displacements, in contrast to Vierendeel trusses, which in addition to tensile efforts, must resist shear and bending moment. The maximum normal tensile and compression efforts in the flanges are observed on the Brown and Warren trusses. When comparing the structural behavior of the Vierendeel beam trussed and Vierendeel beam, for a span of 30 meters, greater stresses and deflections are verified in the Vierendeel beam, with vertical displacements that reach 44.4% higher. It is observed that the architectural and structural decision between the trusses and Vierendeel beams not only lie in the condition of form and function, but also in the structural and, consequently, constructive constraints.

Keywords: Vierendeel beam; Vierendeel truss beam; Truss; Structural behavior; Architectural design.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a evolução da forma de viga Vierendeel partem da análise de vigas planas treliçadas e, como qualquer outra forma proposta para grandes vãos aliados à esbeltez ou à leveza, exigem noções sobre o caminhamento de esforços e deformações, assim como uma melhor apreciação intuitiva e sobre concepção estrutural que, no caso, é muito assertiva para o aprendizado e ensino destes sistemas estruturais. Este artigo tem como objetivo geral apresentar um estudo comparativo entre vigas Vierendeel e treliças sob a ótica da resposta estrutural frente a esforços solicitantes, podendo fornecer bases conceituais para as demandas dos sistemas estruturais relacionadas à forma de constituição de uma viga composta por barras reticuladas.

Tomam-se como objetos específicos as vigas Vierendeel e as formas em treliças para análises do comportamento mecânico, assim como a apresentação de algumas delimitações e sugestões para aplicações estruturais, como forma para adoção em propostas conceituais e lançamentos estruturais.

As condicionantes arquitetônicas de forma, esbeltez, leveza são aspectos que influenciam na busca da redução das seções das barras que, em Vierendeel, permitem conceber vigas de alma vazada capazes de trabalhar com deformações admissíveis sem comprometer a proposta estética.

O sistema Vierendeel utilizado como viga, e em expressão simplista como barras que reduzem as sustentações verticais ou pilares, é destinado a maiores vãos, em que, a princípio, busca maior produtividade construtiva em relação aos sistemas treliçados que possuem barras diagonais e ligações mais simples entre barras. A viga Vierendeel é dita como forma determinante na arquitetura, no sentido de permitir o descarte da aplicação de sucessões de pilares que, mesmo em face ao menor custo de obra, muitas vezes, também tem um significado de uso.

Não tão distante a determinação pelo significado da espacialidade e funcionalidade, o arquiteto Lelé, por exemplo, também cita o contraponto pela estética do projeto em viga Vierendeel em uma residência, na qual as maiores resistências e os vãos proporcionados favoreceram a implantação da piscina no nível térreo, mas desta vez com uma decisão indicado pelo autor como fortuita (VILELA JUNIOR, 2011).

Para Sandaker et al (2013), citando o caso do Grande arco de La Défense do arquiteto Johan Otto von Spreckelsen e do engenheiro Erik Reitzel e escritório

estrutural Bouygues, a razão da escolha da viga Vierendeel está, sobretudo, em função do atender o uso e ocupação dentro de sua dimensão estrutural, ao permitir que as pessoas andem livremente pelo grande vão retangular gerado entre essas vigas, enquanto acompanham as exposições de arte.

As vigas Vierendeel não formam sistemas articulados em forma de triângulos e, portanto, não são treliças submetidas somente a esforços normais, mas configuram um sistema distinto, com conexões a momento entre suas barras, estando submetidas, assim, a esforços de flexo-tração e flexo-compressão e, portanto, são mais deformáveis (MARIAO, 2013). Desta forma, o sistema Vierendeel exige maior resistência, razão de serem mais rígidas. Comparativamente, se considerarem as características de materiais, vão, carga e deformações semelhantes de um sistema Vierendeel e um treliçado, este primeiro apresentará barras com seções transversais maiores, assim como as correspondentes relações peso estrutural por comprimento.

O sistema Vierendeel, em termos de resistência, pode ser locado de forma intermediária entre o sistema treliçado e o sistema de barra com alma cheia pelo fato de a ligação entre seus montantes e as barras superior e inferior serem rígidas; constituição mecânica estrutural esta que permite aplicações em grandes vãos com aberturas não triangulares.

Deste exposto, pode-se delimitar que o sistema em Vierendeel corresponde a uma solução de elementos estruturais lineares, que conectados, formam quadros reticulados com nós rígidos, de geometria retangular e não triangular, com objetivo de diminuir deformações, resistir esforços internos atuantes elevados e vencer maiores vãos.

MÉTODO

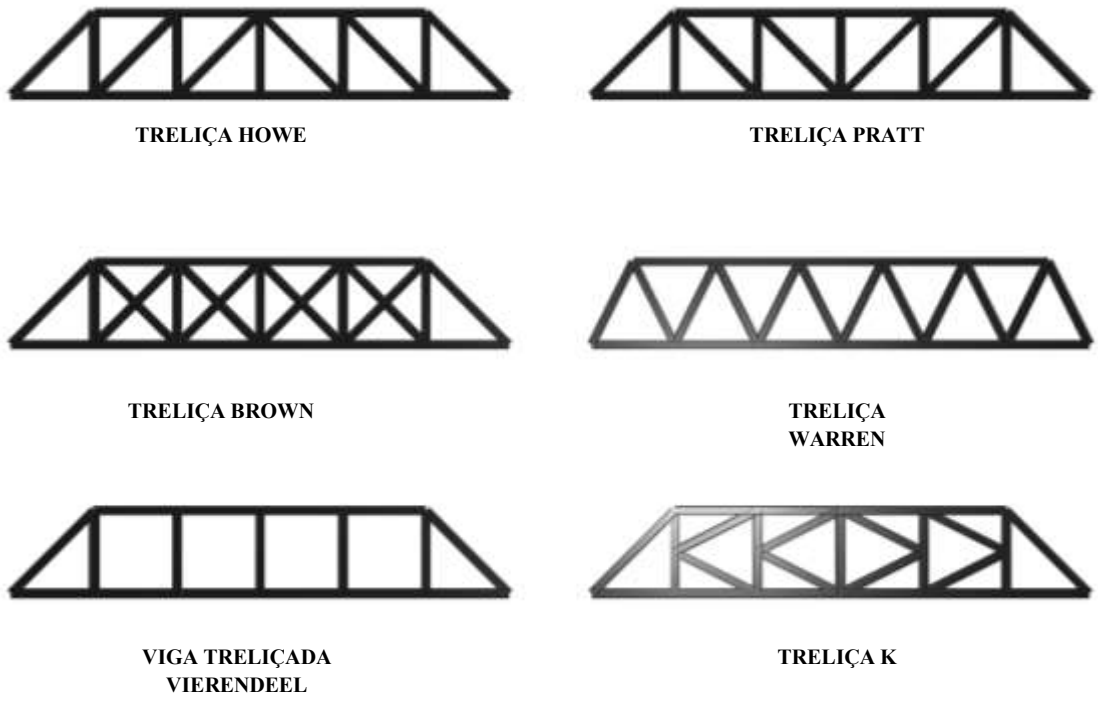
Inicialmente, são apresentados alguns conceitos relacionados às formas e funções destes sistemas estruturais, para os quais o estudo morfológico é destacado ou mesmo apresentado como um processo de integralização das atividades do projetar e das etapas como forma do projeto ao executado. A partir da conceituação da viga Vierendeel e apresentação das tipologias de treliças, são analisadas a distribuição e absorção dos esforços por seus elementos estruturais, assim como o grau de deslocamentos gerados. Para tanto, foram modeladas no *software* STRAP

(2019) da SAE, tanto a viga Vierendeel, como as diferentes tipologias de treliças, sob mesmas condições de carregamento.

Modelagem

Como comentado, os sistemas estruturais objetos deste estudo foram modelados por meio do *software* STRAP (2019), cuja geometria e tipologias podem ser observadas na Figura 1. Para tanto foram adotados alguns parâmetros geométricos: vão de 9 metros, distância entre montantes de 1,5 metros, distância entre os banzos inferior e superior de 1,5 metros. As estruturas foram modeladas em material aço com módulo de elasticidade de 210 GPa e com perfil de seção transversal correspondente ao W150x29,8.

Figura 1. Esquema das estruturas treliçadas estudadas na 1ª etapa.



Fonte: Própria (2020).

Para efeito de carregamento, foram consideradas que as treliças ou vigas treliçadas Vierendeel em análise seriam aquelas localizadas nos tramos extremos de uma edificação, estando espaçadas a cada 5 metros e, submetidas a duas combinações de carregamento. A primeira combinação de carregamento considera

carga vertical sem vento (peso próprio + peso da telha sanduiche + sobrecarga) e, a segunda, considera o vento à sucção a qual são somadas somente peso próprio da estrutura e, conservativamente, o peso próprio de telha simples. Os carregamentos das telhas e do vento foram estimados e aplicados como cargas nodais no banzo superior; o peso próprio foi gerado pelo *software* STRAP (2019)

Na segunda fase, foram modeladas uma viga treliçada Vierendeel e uma viga Vierendeel, ambas com vãos de 30 metros e altura de 3 metros. Foi considerada a distância entre nós de 3,0 metros. Adotou-se material aço com módulo de elasticidade de 205 GPa e uma seção transversal W310X38,7 (Figura 2).

Figura 2. Esquemas da viga treliçada Vierendeel e da viga Vierendeel estudadas com vão de 30 metros.



Fonte: Própria (2020).

As estruturas foram submetidas às mesmas duas combinações de carregamento, sendo a primeira para a máxima carga vertical (peso próprio + peso da telha sanduiche + sobrecarga) e, a segunda, considerando o vento à sucção a qual são somadas somente peso próprio da estrutura e, conservativamente, o peso próprio de telha simples.

CONCEITOS GERAIS SOBRE OS ESFORÇOS E APLICAÇÕES FUNCIONAIS

Uma das principais diferenças entre as vigas em Vierendeel e as treliçadas refere-se à distribuição e absorção dos esforços, em que, nos casos das treliças, ocorre por esforços normais. O limite estrutural pode ser alcançado por estiramento e ruptura à tração, por encurtamento e ruptura à compressão para barras curtas e por flambagem das barras esbeltas. Já nas estruturas em Vierendeel, ocorrem esforços de flexo-tração e flexo-compressão nas seções transversais. Em ambos os casos, o cálculo estrutural considera, simplificadamente, condições isotrópicas e linearidades do material e esforços.

O estudo dos modos de colapso de Badke Neto et al (2015) sobre a formação do mecanismo Vierendeel descreve altos valores de esforço cortante nas vigas em aço, em que se observa o surgimento de rótulas plásticas nos cantos das aberturas, a deformação em forma de paralelogramo e o colapso notado na abertura e seção de máxima cortante. Vale ressaltar que para a aplicação do sistema Vierendeel, como uma viga formada por quadro fechado plano, multicelular em concreto armado, o dimensionamento é realizado a partir da análise dos esforços e atendendo aos procedimentos clássicos da análise estrutural.

As aberturas nas almas de vigas para os sistemas de serviços e tubulações, por exemplo, devem ser projetadas em regiões onde a força cortante é constante e as transferências dos esforços de compressão, chamadas bielas de compressão, sejam em quadros rígidos. Para trechos em que a força cortante é reduzida é possível projetar aberturas alongadas (LEONHARDT e MÖNNING,1978).

Simão (2014) indica que, para as aplicações em concreto armado, as aberturas circulares são mais favoráveis do que com ângulos reentrantes, sendo assim, os vértices devem ser o mais arredondado possível. Aberturas com comprimento maior que 0,6h, em que h é o valor da altura total da viga, devem ser levadas em conta no dimensionamento, já que ocorre uma interrupção nas bielas de compressão. Já Vasconcelos (1991) indica que a viga Vierendeel deve atender a relação superior a quatro vezes entre o vão e altura da viga, caso seja inferior a 4 vezes, a viga passa a ser uma viga parede.

Vale destacar que, durante a especificação dimensional, as alturas das seções podem impactar sobre o gabarito de altura, ou seja, se se aumenta a altura da viga há que se aumentar o pé direito para proporcionar passagens de portas, janelas e a suspensão de sistemas de usos e operações como cabeamentos e dutos estruturados, razões que podem indicar a utilização de sistemas em Vierendeel.

Neste contexto, ressalta-se a importância de compreender os mecanismos de do comportamento estrutural tanto das estruturas Vierendeel como das treliças, de modo a subsidiar tomadas de decisão sobre a adoção adequada do sistema estrutural em função das necessidades de projeto.

Na Figura 3, é possível observar aplicação de treliças Howe em concreto armado utilizadas na cobertura da Basílica Nacional de Nossa Senhora Aparecida, localizada na cidade de Aparecida no estado de São Paulo. E na Figura 4, treliças Warren, em aço, na cobertura do Museu de Belas Artes de Santiago no Chile.

Figura 3. Treliça em concreto armado tipo Howe.



Fonte: Própria (2019).

Figura 4. Treliça em aço tipo Warren.



Fonte: Própria (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Treliças e viga treliçada Vierendeel - combinação 1

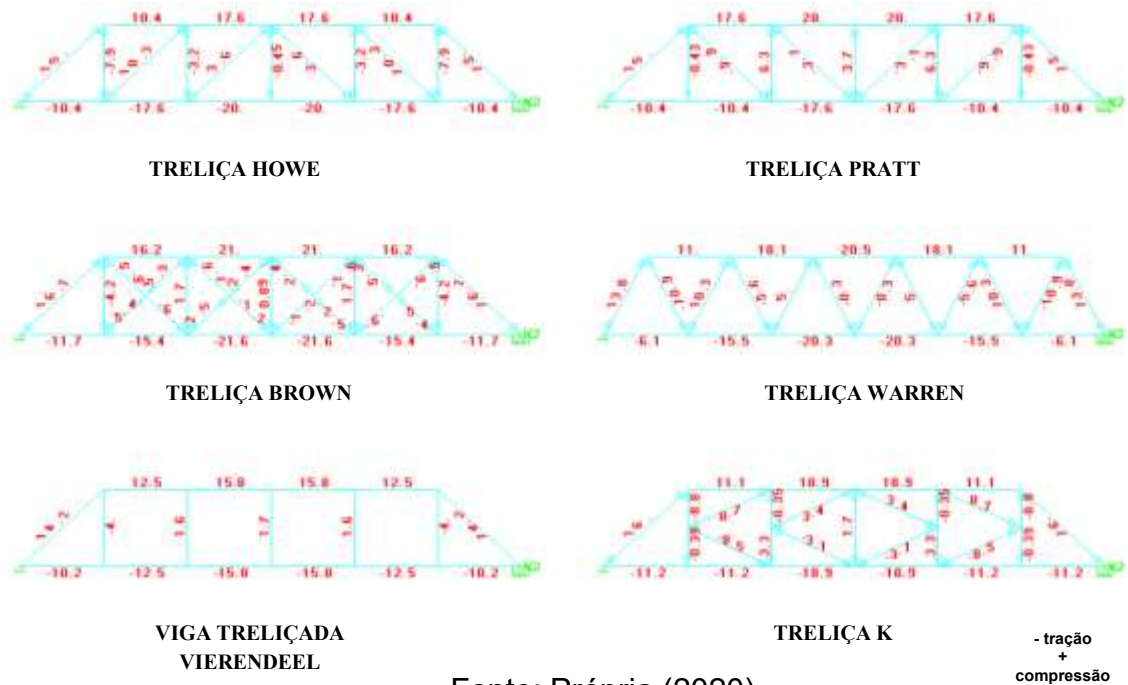
São apresentados os resultados de esforços normais para a combinação 1 nas treliças e na viga treliçada Vierendeel modeladas (Figura 5).

É possível observar os máximos esforços normais de tração (21,6 kN) e de compressão (21,0 kN) atuam nos banzos da treliça Brown, chegando a ser, na compressão, 19,3% maiores do que numa treliça Howe. A treliça Warren é a que apresenta valores mais próximos aos encontrados na treliça Brown.

Nas diagonais das treliças, os esforços normais são da mesma ordem de grandeza, mas na treliça Brown, o esforço de tração na diagonal chega a ser 11,3% maior em relação à treliça Howe.

Os montantes mais solicitados aparecem nas treliças K (8,8 kN) e Howe (7,9 kN), permanecendo submetidos à tração.

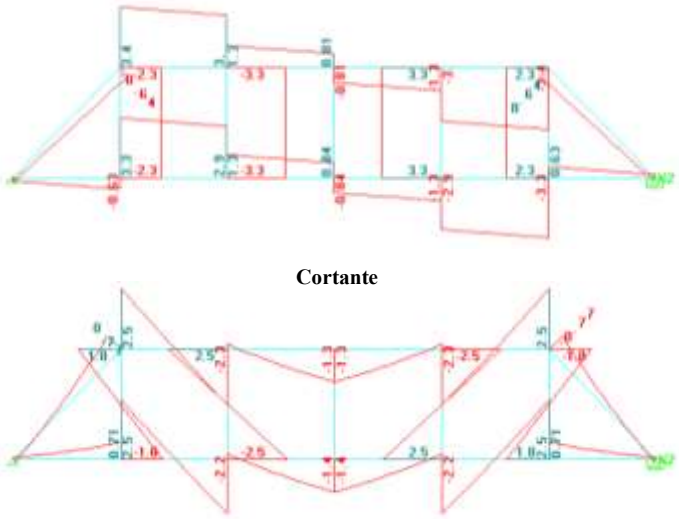
Figura 5. Diagramas de esforços normais (kN)



Fonte: Própria (2020).

A viga treliçada Vierendeel apresenta esforços normais inferiores aos observados nas treliças, mas ela ainda precisa resistir os esforços de cortante e de momento fletor (Figura 6) e, consequentemente, a flecha é maior, alcançando uma diferença de 175,6% em relação à treliça Howe, por exemplo (Figura 7).

Figura 6. Diagramas de esforços cortantes (kN) e de momento fletor (kN.m) na viga treliçada Vierendeel.

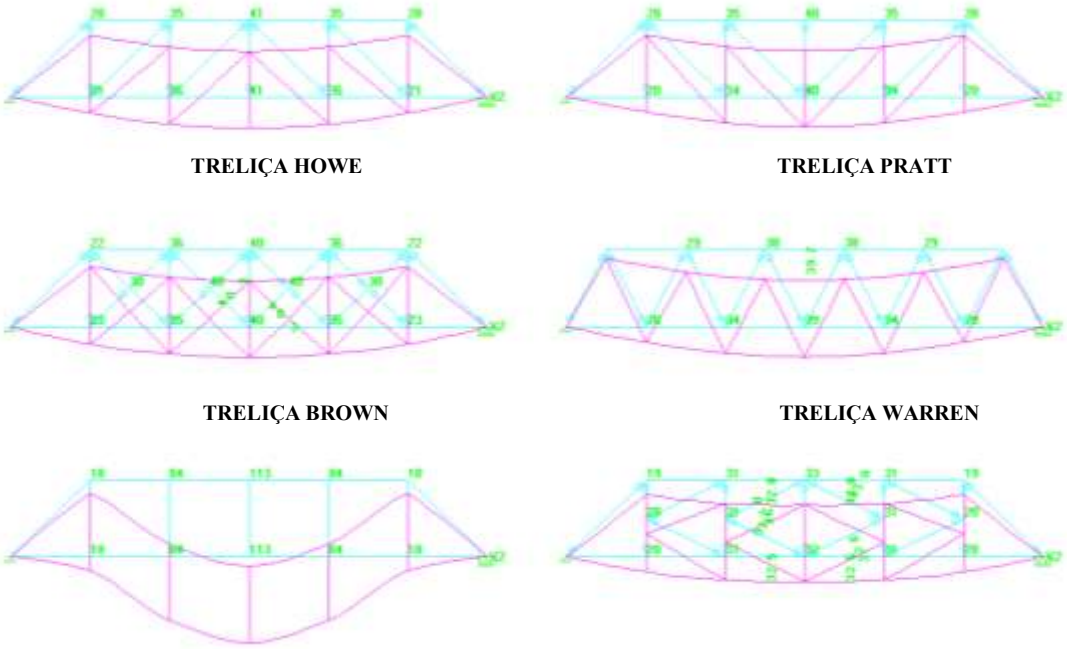


Cortante

Momento fletor

Fonte: Própria (2020).

Figura 7. Deformada: deslocamento vertical.



TRELIÇA HOWE

TRELIÇA PRATT

TRELIÇA BROWN

TRELIÇA WARREN

VIGA TRELIÇADA VIERENDEEL

TRELIÇA K

Valores 10^{-2} mm.

Fonte: Própria (2020).

Dentre as treliças, a tipo Howe apresenta maior deslocamento vertical, enquanto a treliça tipo K, a menor flecha. A tabela 1 compara os resultados das estruturas modeladas tanto em termos de esforços normais como em termos deslocamentos. Toma-se como referência a treliça tipo Howe.

Tabela 1. Comparativo em termos de valores e % entre os esforços normais e flechas máximas atuantes nas treliças e na viga treliçada Vierendeel.

		VALORES MÁXIMOS					
		TIPOS DE TRELIÇAS					VIGA
		HOWE	PRATT	BROWN	WARREN	K	VIERENDEEL
ESFORÇO NORMAL (kN)	BANZO INFERIOR	20,0	17,6	21,6	20,3	18,9	15,8
	BANZO SUPERIOR	17,6	20,0	21	20,5	18,9	15,8
	DIAGONAL	15	15	16,7	13,8	16	14,2
	MONTANTE	7,9	6,3	4,2	não se aplica	8,8	4,0
FLECHA (mm)		0,41	0,40	0,40	0,39	0,33	1,13

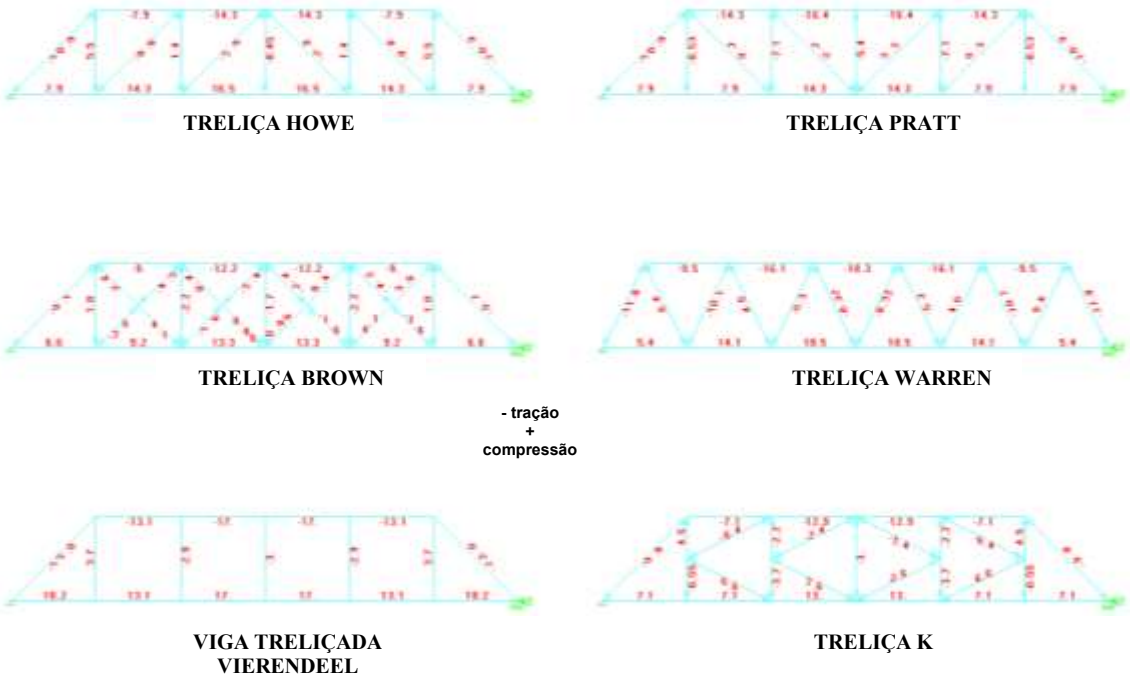
		Diferença % tendo como referência a treliça HOWE					
		TIPOS DE TRELIÇAS					VIGA
		HOWE	PRATT	BROWN	WARREN	K	VIERENDEEL
ESFORÇO NORMAL (kN)	BANZO INFERIOR	referência	-12,0%	8,0%	1,5%	-5,5%	-21,0%
	BANZO SUPERIOR		13,6%	19,3%	16,5%	7,4%	-10,2%
	DIAGONAL		0%	11,3%	-8,0%	6,7%	-5,3%
	MONTANTE		-20,3%	-46,8%	-	11,4%	-49,4%
FLECHA (mm)			-2,4%	-2,4%	-4,9%	-19,5%	175,6%

Fonte: Própria (2020).

Treliças e viga treliçada Vierendeel - combinação 2

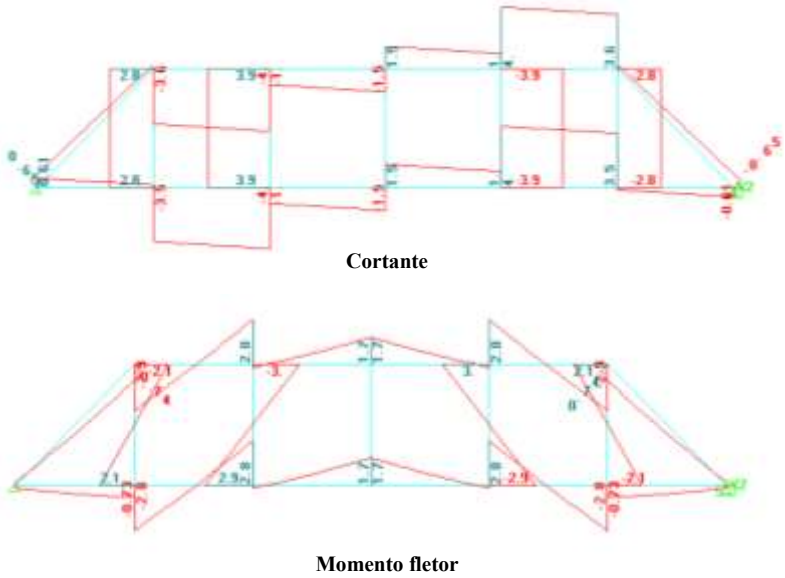
Os resultados considerando os efeitos de sucção do vento combinados com os pesos próprios da estrutura e das telhas simples podem ser observados nas Figuras 8 a 10 e na Tabela 2.

Figura 8. Diagramas de esforços normais (kN).



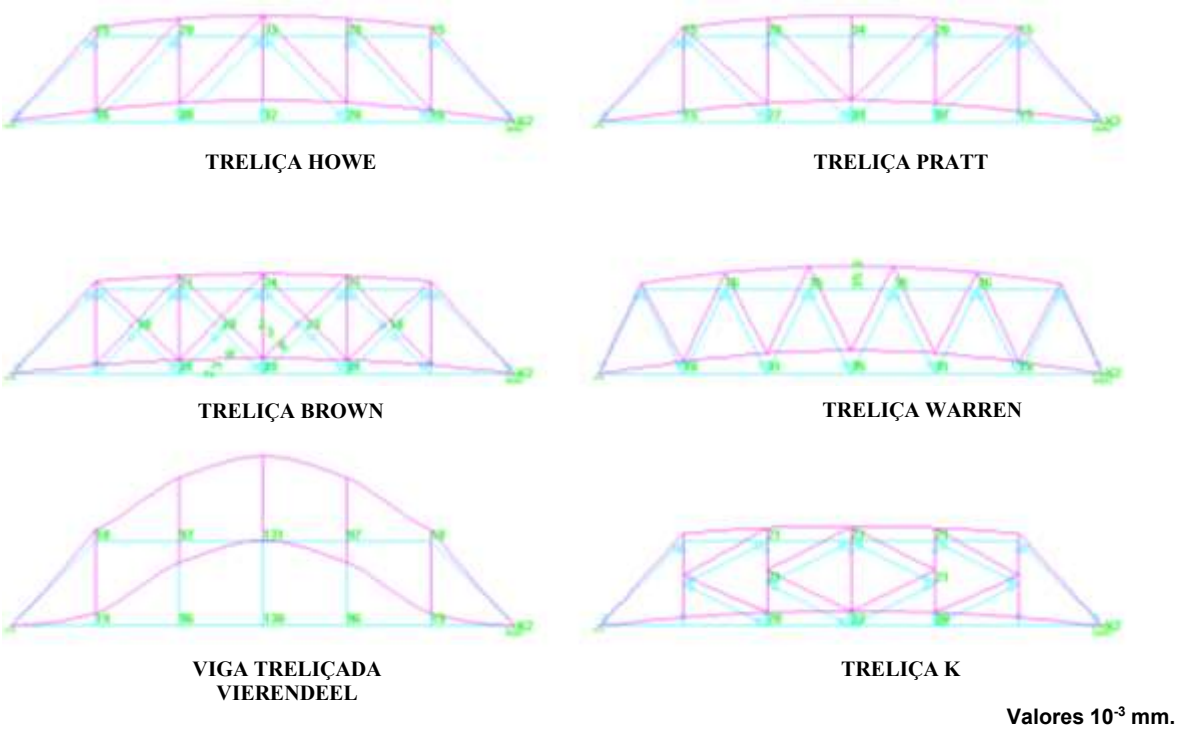
Fonte: Própria (2020).

Figura 9. Diagramas de esforços cortantes (kN) e de momento fletor (kN.m) na viga treliçada Vierendeel.



Fonte: Própria (2020).

Figura 10. Deformada: deslocamento vertical.



Fonte: Própria (2020).

Tabela 2. Comparativo em termos de valores e % entre os esforços normais e flechas máximas atuantes nas treliças e na viga treliçada Vierendeel.

		VALORES MÁXIMOS					
		TIPOS DE TRELIÇAS					VIGA
		HOWE	PRATT	BROWN	WARREN	K	VIERENDEEL
ESFORÇO NORMAL (kN)	BANZO INFERIOR	16,5	14,3	13,3	18,5	13,0	17,0
	BANZO SUPERIOR	14,3	16,4	12,2	18,3	12,9	17,0
	DIAGONAL	10,9	10,9	9,1	11,8	9,8	13,8
	MONTANTE	5,5	7,1	2,2	não se aplica	4,5	3,7
FLECHA (mm)		0,033	0,034	0,024	0,036	0,022	0,131

		Diferença % tendo como referência a treliça HOWE					
		TIPOS DE TRELIÇAS					VIGA
		HOWE	PRATT	BROWN	WARREN	K	VIERENDEEL
ESFORÇO NORMAL (kN)	BANZO INFERIOR	referência	-13,3%	-19,4%	12,1%	-21,2%	3,0%
	BANZO SUPERIOR		14,7%	-14,7%	28,0%	-9,8%	18,9%
	DIAGONAL		0%	-16,5%	8,3%	-10,1%	26,6%
	MONTANTE		29,1%	-60,0%	-	-18,2%	-32,7%
FLECHA (mm)			3,0%	-27,3%	7,9%	-33,3%	297,0%

Fonte: Própria (2020).

Observa-se que a combinação 2 leva a menores deslocamentos verticais das estruturas, e a treliça tipo K permanece como aquela que gera menores flechas.

Os máximos esforços normais tanto de tração, agora no banzo superior (18,3 kN), como de compressão, no banzo inferior (18,5 kN), são observados na treliça Warren; alcançando valores até 28,0% maiores do que numa treliça Howe.

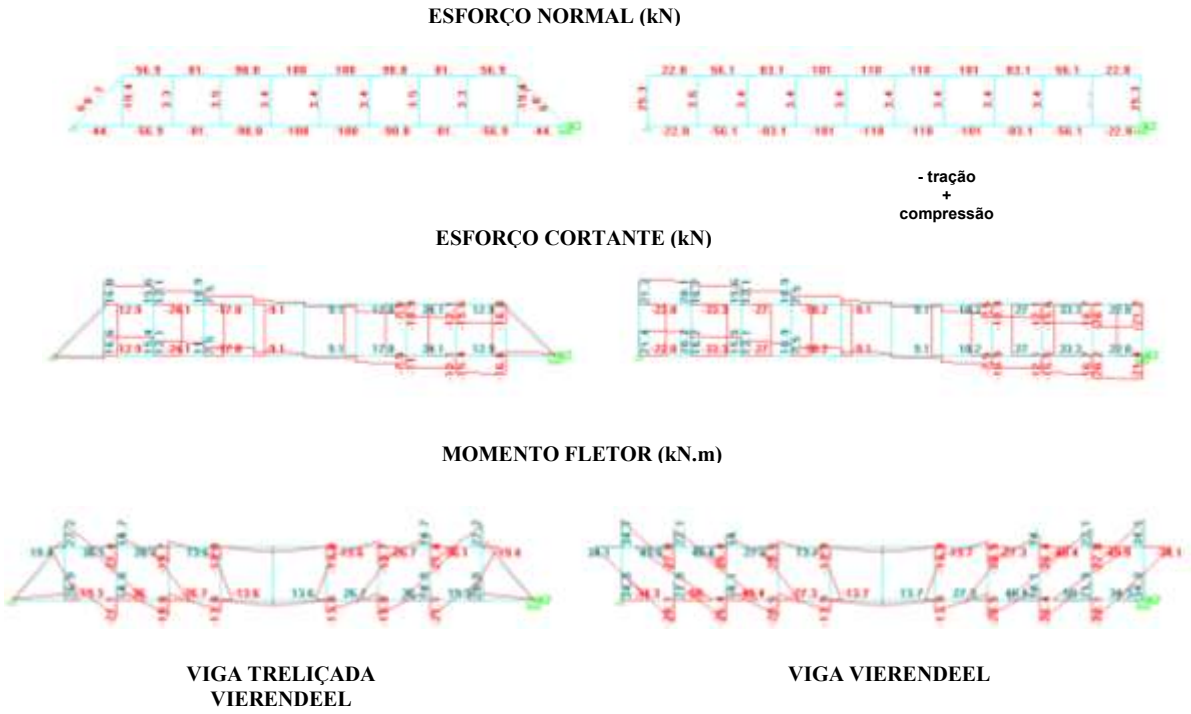
Os montantes mais solicitados à compressão estão, respectivamente, nas treliças Pratt (7,1 kN) e Howe (5,5 kN). O que chama atenção na combinação 2 é a diferença de 60,0 % entre os esforços de compressão da treliça Howe (5,5 kN) e a treliça Brown (2,2 kN), o que pode ser explicado pela disposição das diagonais desta última tipologia, que acabam por absorver grande parte da compressão provocada pelo carregamento, enquanto na treliça Howe, as diagonais trabalham somente à tração.

Já em relação aos esforços atuantes nas diagonais das treliças, observa-se que apresentam mesma ordem de grandeza; no entanto, na viga treliçada Vierendeel, suas diagonais são mais solicitadas à tração, 26,6% maior em relação à tração obtida na treliça Howe.

Viga treliçada Vierendeel e viga Vierendeel

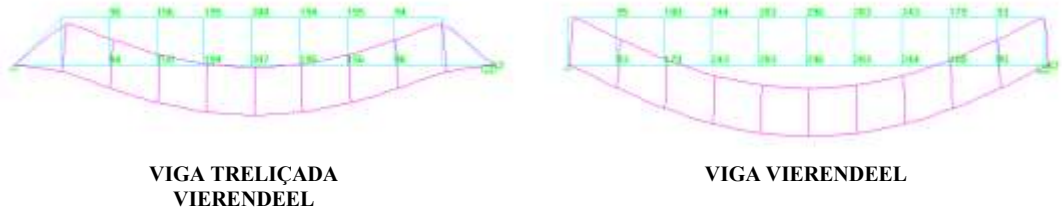
Para a combinação 1, em que é considerada a carga vertical atuante sem vento, os esforços de uma viga treliçada Viereendel e de uma viga Vierendeel são apresentados na Figura 11. As deformadas estão na Figura 12.

Figura 11. Esforços na viga treliçada Vierendeel e na viga Vierendeel devidos à combinação 1.



Fonte: Própria (2020).

Figura 12 – Deformada: deslocamento vertical devido à combinação 1.



Fonte: Própria (2020).

Ao comparar-se o comportamento estrutural da viga treliçada Vierendeel e a viga Vierendeel, verificam-se maiores solicitações e flechas na viga Viereendel, com deslocamentos verticais que chegam a ser 42,3% superiores.

Na viga treliçada Vierendeel, os montantes mais próximos aos apoios estão sob tração e suas diagonais acompanham, em ordem de grandeza, a compressão observada no banzo superior.

A tabela 3 compara os resultados das estruturas modeladas tanto em termos de esforços internos solicitantes como em termos deslocamentos verticais.

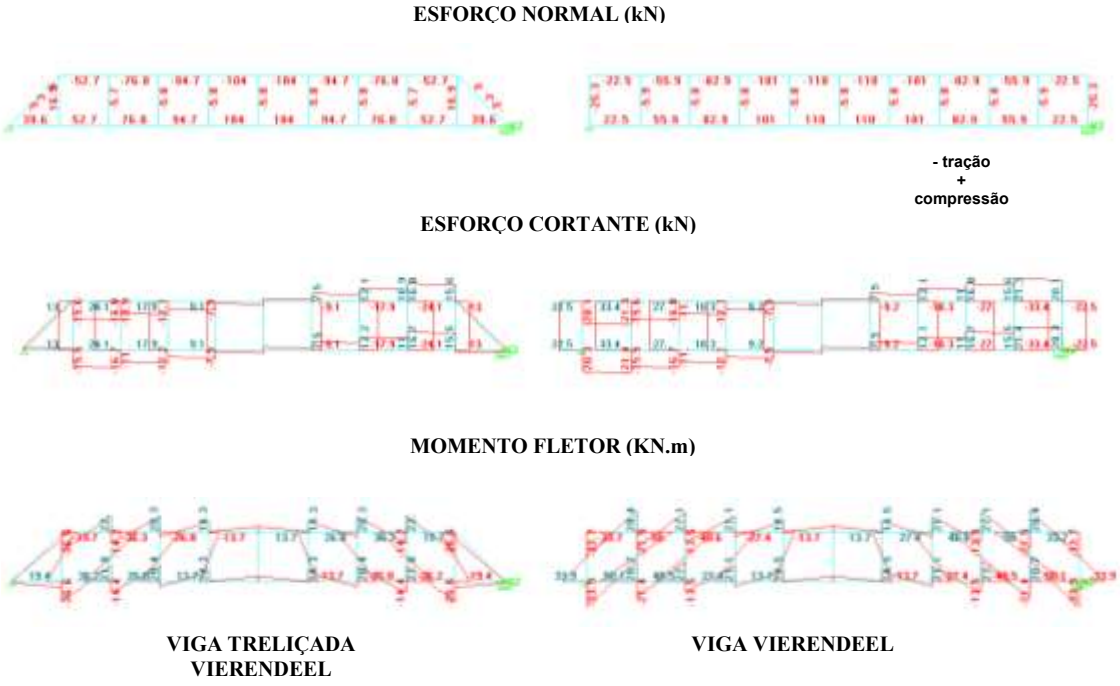
Tabela 3. Comparativo em termos de valores e % entre os esforços internos solicitantes e flechas máximas atuantes na viga treliçada Vierendeel e na viga Vierendeel - combinação 1.

	VALORES MÁXIMOS						
	ESFORÇO NORMAL (kN)				ESFORÇO CORTANTE (kN)	MOMENTO FLETOR (kN.m)	FLECHA (mm)
	BANZO INFERIOR	BANZO SUPERIOR	DIAGONAL	MONTANTE			
Viga treliçada Vierendeel	108	108	60,70	19,4	24,1	36,0	20,80
Viga Vierendeel	110	110	não se aplica	25,3	33,3	50,0	29,60
Diferença %	1,9%	1,9%	-	30,4%	38,2%	38,9%	42,3%

Fonte: Própria (2020).

Para a combinação 2, em que é considerada a ação de sução do vento, os esforços de uma viga treliçada Viereendel e de uma viga Vierendeel são apresentados na Figura 13. As deformadas estão na Figura 14.

Figura 13. Esforços na viga treliçada Vierendeel e na viga Vierendeel devidos à combinação 2.

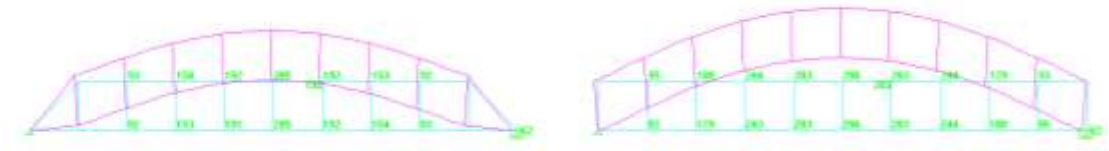


Fonte: Própria (2020).

Os maiores esforços normais, tanto nos banzos (tração e compressão) como nos montantes (tração), ocorrem na viga Vierendeel. Máximos valores de cortante, de momento fletor e de deslocamento vertical também são atingidos neste sistema estrutural. A diferença de deslocamentos verticais entre as estruturas chega a ser 44,4% superiores nesta combinação.

Na viga treliçada Vierendeel, os montantes mais próximos aos apoios estão sob compressão e suas diagonais acompanham, em ordem de grandeza, a tração observada no banzo superior.

Figura 14. Deformada: deslocamento vertical devido à combinação 2.



VIGA TRELIÇADA VIERENDEEL **VIGA VIERENDEEL**

Valores 10^{-1} mm.

Fonte: Própria (2020).

A tabela 4 compara os resultados das estruturas modeladas tanto em termos de esforços internos solicitantes como em termos deslocamentos verticais.

Tabela 4. Comparativo em termos de valores e % entre os esforços internos solicitantes e flechas máximas atuantes na viga treliçada Vierendeel e na viga Vierendeel - combinação 2.

	VALORES MÁXIMOS						
	ESFORÇO NORMAL (kN)				ESFORÇO CORTANTE (kN)	MOMENTO FLETOR (kN.m)	FLECHA (mm)
	BANZO INFERIOR	BANZO SUPERIOR	DIAGONAL	MONTANTE			
Viga treliçada Vierendeel	104	104	53,5	16,9	24,1	36,2	20,5
Viga Vierendeel	110	110	não se aplica	25,3	33,4	50,1	29,6
Diferença %	5,8%	5,8%	-	49,7%	38,6%	38,4%	44,4%

Fonte: Própria (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um estudo comparativo entre vigas Vierendeel e treliças frente a resposta estrutural em termos de esforços e flechas.

Observou-se que treliça tipo K é a que gera menores deslocamentos verticais em ambas as combinações. As maiores flechas ocorrem nas vigas treliçadas Vierendeel que, além dos esforços de tração, devem resistir a cortante e o momento fletor.

Os máximos esforços normais de tração e de compressão nos banzos são observados na treliça Brown (combinação 1) e na treliça Warren (combinação 2).

Ao comparar-se o comportamento estrutural da viga treliçada Vierendeel e a viga Vierendeel, verificam-se maiores solicitações e flechas na viga Viereendel, com deslocamentos verticais que chegam a ser 44,4% superiores.

Sob o ponto de vista projetual, após análise dos resultados de esforços e deformações, vale ressaltar que a compatibilização e a decisão arquitetônica entre vigas treliçadas e vigas Vierendeel reside na condição da forma e função, uma vez que quadros abertos podem ser a diretriz para passagens e ambientes, cuja espacialidade poderia tornar-se limitada ou comprometida por barras diagonalizadas presentes em treliças. Torna-se, portanto, essencial que, na tomada de decisão, haja discernimento entre as variáveis envolvidas, que incluem desde a concepção do espaço, mas como também as condicionantes estruturais e, por consequência, construtivas, que perpassam pelo peso da estrutura final, por soluções para conexão dos nós e por sistemas de montagens, variáveis estas que estão implícitas no ato de projetar a arquitetura e de sua concepção estrutural.

REFERÊNCIAS

DELALOYE, H. A.; NICO, A. P.; CLIVIO, O. **Guía de Estudio**: Viga Vierendeel - estructuras dnc. Universidad Nacional de La Plata | UNLP. Disponível em <https://fdocuments.ec/amp/document/nivel-iii-guia-de-estudio-nro-7-transicionpdf.html>. Acesso em: 17 mai. 2021.

JACOBO, G. J.. **Jules Arthur Vierendeel**: pionero del diseño estructural. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004. Disponível em: < https://pt.scribd.com/document/37419437/T-087-vierendeel >. Acesso em: 10 jun. 2021.

LEONHARDT, F.; MÔNNIG, E. **Construções de concreto: princípios básicos sobre armação de estruturas de concreto armado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência. v.3, 1978.

MARIAO, E.G.G. **Análisis teórico - experimental en vigas celulares con alma expandida de acero estructural CW366x32,7**. Tese. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias

de la Ingeniería. Valdivia. Chile. 2013. P. 181. Disponível em: <https://docplayer.es/65147344-Universidad-austral-de-chile-facultad-de-ciencias-de-la-ingenieria-escuela-de-ingenieria-civil-en-obras-civiles.html>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SANDAKER, B. N.; EGGEN, A. P.; CRUVELLIER, Mark R. **The structural basis of architecture**. 2 ed., revisada. Editora Routledge, 2013. 414 p. New York, 2011.

SIMÃO, D. W. G. **Análise e dimensionamento de vigas de concreto armado com aberturas na alma**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2014. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/ppgecam/images/documentos/Dissertacoes/dissertacao_final_david%20williams.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

STRAP - **Structural Analysis Program**. SAE Sistemas de análise estrutural Ltda. 2019.

VASCONCELOS, A.C. **Estruturas arquitetônicas** – apreciação intuitiva das formas estruturais. São Paulo. Studio Nobel, 1991.

VILELA JÚNIOR, A. J. **A casa na obra de João Filgueiras Lima, Lelé**. Dissertação. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9869/1/2011_AdalbertoJoseVilelaJunior.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2021.

Sobre os autores

Nome Completo: Karen Niccoli Ramirez
Descrição acadêmico/profissional: Doutorado e mestrado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; pós-doutorado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenheira civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Atualmente é professora e orientadora na Universidade Presbiteriana Mackenzie – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e docente orientadora na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia.
E-mail para contato: karen.ramirez@mackenzie.br; knramirez@pucsp.br; kniccoli@gmail.com

Nome Completo: Sasquia Hizuro Obata
Descrição acadêmico/profissional: Possui graduação em Engenharia Civil pela Fundação Armando Álvares Penteado, graduação em nível Superior de Formação de Professores de Disciplinas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Mackenzie e pós-doutorado em Engenharia de Produção na área de concentração de Sustentabilidade em Sistemas de Produção - LAPROMA/UNIP. Atualmente é professora da Universidade Presbiteriana Mackenzie- FAU.
E-mail para contato: sasquia.obata@ mackenzie.br

Nome Completo: Lucas Fehr
Descrição acadêmico/profissional: Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo. Mestre e Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela mesma universidade. Desde agosto de 2016 é Coordenador do Curso de Arquitetura de Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Arquiteto sócio do Estúdio América de Arquitetura. Co-autor dos projetos vencedores em concursos de arquitetura para o Teatro Castro Alves, em Salvador, BA; Complexo Paineiras-Corcovado, no Rio de Janeiro; Novas Tipologias de Habitação de Interesse Social Sustentáveis, CDHU-SP, Ponte Nova, em Blumenau, SC; Museo de La Memoria, em Santiago do Chile, obra premiada, entre outros, pela APCA - Associação Paulista de Críticos de Arte em 2011.
E-mail para contato: lucas.fehr@mackenzie.br