

## **GALPÕES LOGÍSTICOS: UM ESTUDO COMPARATIVO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS E CONCRETO PROTENDIDO**

Luiza Vianna Figueiredo (IC) e Alfonso Pappalardo Jr (Orientador)

**Apoio:** PIBIC Mackenzie

### **RESUMO**

A construção de galpões logísticos/industriais tem aumentado vertiginosamente. As possíveis razões deste acontecimento seria a alta competitividade no mercado brasileiro, uma vez que o processo de armazenagem é um dos principais elos da cadeia de operações logísticas no país e tem um expressivo índice de terceirização nos dias atuais em solo brasileiro, a construção de quadras de esportes e piscinas cobertas de clubes e o crescimento generalização desse tipo de concepção estrutural na construção civil. Consolidando-se como um investimento atraente, torna-se necessário o seu estudo e análise construtiva para que o galpão seja construído de forma consciente e com o menor custo. Tomando como base essa afirmação, o objetivo geral deste trabalho é o de analisar dois sistemas estruturais (metálico e concreto pré-fabricado) aplicados a um mesmo galpão, verificando qual oferece o menor carregamento para as fundações. Levar-se-á em consideração, ainda, os custos de compra dos materiais com base em tabelas de referência. A ferramenta de cálculo a ser utilizada é o software de elementos finitos FTOOL.

**Palavras chave:** Galpão logístico. Análise construtiva. Minimizar custos.

### **ABSTRACT**

The construction of logistic / industrial warehouses has increased dramatically. The possible reasons for this event would be the high competitiveness in the Brazilian market, since the storage process is one of the main links in the chain of logistics operations in the country and has an expressive index of outsourcing in the current days in Brazilian soil, the construction of blocks of sports and indoor swimming pools of clubs and the generalization growth of this type of structural design in the civil construction. Consolidating itself as an attractive investment, it becomes necessary its study and constructive analysis so that the shed is constructed consciously and with the lowest cost. Based on this assertion, the general objective of this work is to analyze two structural systems (metallic and prefabricated concrete) applied to the same shed, verifying which offers the lowest load for the foundations. The cost of purchasing materials based on reference tables will also be taken into account. The calculation tool to be used is FTOOL finite element software

**Keywords:** Warehouse. Constructive analysis. Lowest coasts.

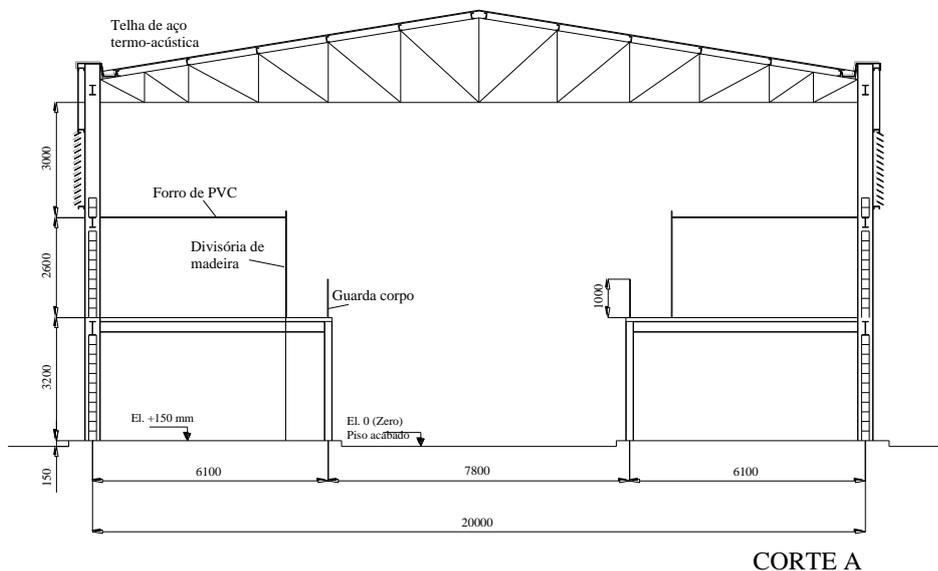
## 1. INTRODUÇÃO

Os galpões, por definição, são estruturas constituídas por pórticos e elementos rigidamente ligados. Para que se caracterize como galpão, a edificação deve ter um único pavimento (EL DEBS; 2000). No entanto, há no mercado imobiliário atualmente, outras formatações de projetos de condomínio logísticos/industriais como, por exemplo, galpões desprovidos de pavimentos, ou galpões cujo pavimento não ocupa toda a área da edificação. Em qualquer um dos casos, a disposição porticada visa garantir a estabilidade global.

Figura 1.1 – Esquema típico de uma estrutura de galpão composta de pilares e vigas



Figura 1.2 – Esquema típico de uma estrutura de galpão composta com mais de um pavimento



A disposição estrutural dos pórticos se assemelha a da ligação pilar-viga, diferente apenas no que tange as conexões feitas nos nós, que por serem rígidas nos pórticos garante a estrutura uma resistência maior tanto as cargas verticais (peso próprio da estrutura) quanto às cargas laterais (ventos). E, conseqüentemente, proporciona uma menor deformação e deslocamento da edificação e uma melhor distribuição de forças resistivas ao longo da estrutura da mesma.

Apesar de possuir uma composição estrutural mais resistente, a estrutura porticada, principalmente em edificações de grandes vãos livre como os galpões logísticos e industriais, precisa resistir a grandes cargas solicitantes, duas delas são: ações dos ventos e os momentos provocados nas vigas resultantes do peso próprio da estrutura e das águas pluviais acumuladas na calha da cobertura da estrutura, além da própria cobertura e do fechamento lateral. Desta forma, ao se conceber, projetar e construir um galpão, é necessário levar em consideração o uso de materiais resistentes que dêem durabilidade ao galpão logístico e, conseqüentemente, vantagens econômicas a longo prazo.

Para isto, uma das alternativas encontradas é o uso de estruturas pré-fabricadas de concreto protendido na confecção de vigas e pilares do galpão. “A protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar a sua resistência ou seu comportamento, sobre a ação de diversas solicitações” (PFEIL; 1985). Logo, o uso de concreto protendido garante a estrutura uma alta resistência tanto a compressão, por causa do concreto em si, quanto à tração, devido à armadura de aço pré-tracionada. Contudo, temos como solução também para a construção desse galpão o uso de estruturas metálicas, por possuir vantagens de alta resistência, boa ductibilidade( capacidade que o metal tem de sofrer grandes deformações antes do rompimento), rápida fabricação e montagem, requisitos almejados na construção civil.

Os elementos de concreto protendido são aqueles em que as armaduras são previamente alongadas por equipamentos especiais de protensão com o intuito de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura a fim de propiciar um melhor aproveitamento do aço de alta resistência no estado limite último. O que possibilita um aumento da eficiência da seção e majora progressivamente a qualidade resistente dos materiais, possibilitando o aumento dos vãos entre os apoios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 2014).

O uso de concreto protendido na construção civil tem sido cada vez maior, principalmente quando aplicado na forma pré-fabricada, uma vez que apresentam como principais vantagens: a fabricação controlada de peças, a redução dos prazos de execução da obra e economia da mão de obra empregada no processo. Portanto, como confirmado

por Van Acker (2002) “A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas e controle de qualidade”.

Para Válter e Chastre (2012), as estruturas pré-fabricadas vêm sendo aplicada “de forma crescente em diversos setores do país, como na área de energia, transportes, logística, infraestrutura, habitacional, industrial e comercial, sempre que a agilidade de construção e qualidade são condicionantes para a viabilidade da obra”.

A ligação entre os elementos de um pórtico, vigas e pilares, é concebida de duas formas pelos projetistas, na forma de ligações perfeitamente rígidas ou ligações perfeitamente articuladas. Contudo, as ligações entre duas estruturas pré-fabricadas atuam de maneira mais realista, com ligações deformáveis, variando o comportamento de acordo com o tipo de ligação que é feita. Isto dificulta a construção de um galpão.

Na análise estrutural, deve-se considerar a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos na estrutura, como cargas permanentes, acidentais (sobrecargas) ou devidas ao vento. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 2003). Complementando as normas técnicas, Bellei (2006), afirma que a ação do vento sobre a estrutura de aço é uma das principais a se considerar, a negligência da força causada por essa ação durante o dimensionamento da estrutura pode colocar a mesma sobre o risco de colapso.

Por ser um material que dialoga bem com outros, o aço, da estrutura metálica, não deve ser visto como um antagonico ao concreto. Eles podem ser aplicados em conjunto formando estruturas denominadas “mistas” ou “híbridas”, onde a qualidade de cada um dos elementos pode ser aproveitada a favor da edificação.

As estruturas metálicas apresentam diversas aplicações, pode-se mencionar: montagem e construção de pontes, torres, pórticos, edifícios, galpões comerciais e industriais. São peças industriais, caracterizadas pelos seus tipos de perfis, capazes de desempenhar o mesmo papel estrutural que vigas e pilares de concreto armado, podendo ser aplicadas tanto em pequenas construções quanto em grandes obras públicas.

O uso de estruturas metálicas é o mais difundido em obras de edificações comerciais e industriais, com infraestrutura e edificações residenciais aparecendo em seguida. Em alguns países, há a predominância desse método construtivo no setor industrial, como é o caso da França e da Alemanha, com mais de 50% de participação, e outros países em que há a predominância desse método no setor de edificações comerciais, Estados Unidos e Reino Unido. A disseminação da aplicação de estruturas de aço nas construções depende

principalmente do padrão de competição com os outros métodos construtivos e da cultura dos construtores locais.

O setor industrial representa um grande consumidor de estruturas metálicas na construção de fábricas e galpões industriais, os principais motivos para esse grande uso são: as estruturas de aço são capazes de resistir a grandes esforços, capazes de vencer grandes vãos e por possuírem uma construção limpa e rápida montagem, qualidade requerida principalmente durante reformas e ampliações em que a indústria deve sofrer o mínimo de transtorno possível.

Sendo compatível com esse tipo de edificação, o qual se caracteriza por ter somente um pavimento com grandes áreas cobertas para serem utilizadas para diversas atividades.

Portanto, é necessário conhecer as tipologias de galpões porticados e suas características, para que se empregue a concepção estrutural mais adequada e econômica para obra do mesmo. E notar que uma nova concepção, resultante da adoção de duas outras em conjunto, pode agrupar características interessantes de cada uma e melhorar ainda mais a solução do galpão.

O objetivo geral deste trabalho é o de analisar dois sistemas estruturais (metálico e concreto pré-fabricado) aplicados a um mesmo galpão, verificando qual oferece o menor carregamento para as fundações. Levar-se-á em consideração, ainda, os custos de compra dos materiais com base em tabelas de referência. A ferramenta de cálculo a ser utilizada é o software de elementos finitos FTOOL.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Diversas são as vantagens para a construção de um centro de distribuição, como um galpão logístico e industrial. Para Calazans (2001) as principais vantagens são as seguintes: redução do custo; liberação de espaço nas lojas; redução da mão-de-obra nas lojas para o recebimento e conferência de mercadorias e a diminuição da falta de produtos nas lojas. Estas vantagens poderão contribuir enormemente para o mercado comercial e financeiro devido à segurança que esse ambiente oferece.

O emprego de tais estruturas no mercado de edificações é muito grande devida à facilidade construtiva e também as diversas funcionalidades que tal espaço pode assumir como: quadra poliesportiva, piscina coberta e centro de distribuição. Por isso, é de fundamental importância que se estude os tipos de estruturas que podem fazer parte da composição de tal edificação. Os mais usualmente utilizados na construção de galpões porticados são: o concreto armado, o concreto protendido e as estruturas de aço.

A protensão é um artifício que tem importância particular no caso do concreto, pelas seguintes razões: o concreto é um dos materiais mais importantes na construção, seus ingredientes são disponíveis a baixo custo; o concreto tem boa resistência à compressão; o concreto tem pequena resistência à tração, da ordem de 10% de resistência a compressão, além de pequena e pouco confiável, de fato quando não é bem executado, sua retração pode provocar fissuras, que eliminam a resistência a tração do concreto antes mesmo de atuar qualquer solicitação (PFEIL, 1985).

Tais características do concreto foram suficientes para que, em 1924, Eugène Freyssinet já tivesse empregado a protensão para evitar o alongamento de tirantes para galpões com grandes vãos. Pois o processo de protensão impede ou limita a fissuração da peça propiciando um maior aproveitamento do aço de alta resistência em limite último (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 2014). Tal artifício diminui ou anula a tensão de tração provocada no concreto, fazendo com que o mesmo só trabalhe à compressão, e, conseqüentemente, faça com que a cordoalha só trabalhe a tensão de tração. Permitindo que tal estrutura vença grandes vãos e resista a altos momentos provocados na viga sem correr o risco de colapso na peça.

É muito comum a utilização de peças pré-fabricadas de concreto protendido na construção civil, uma vez que a quantidade de equipamentos e materiais utilizados no processo construtivo, bem como a necessidade de um concreto de melhor qualidade, exige um ambiente adequado, aonde seja possível executar a protensão e fazer o processo de cura em condições favoráveis, com rigoroso controle tecnológico (VERÍSSIMO; CÉSARJR, 1998).

Os pré-fabricados possuem vantagens econômicas, melhor desempenho estrutural e durabilidade do que as peças construídas no local da obra devido o uso altamente potencializado e otimizado dos materiais. Isso ocorre, principalmente, porque são utilizados equipamentos modernos e adequados e processos de fabricação cuidadosamente elaborados (VAN ACKER, 2002).

No entanto, apesar da fabricação relativamente rápida e barata das peças pré-fabricadas de concreto, o emprego de perfis metálicos na construção de uma edificação pode ser igualmente satisfatório, por ter como vantagens: o menor tempo de execução, por ser concebida através de uma fabricação e seriada, levando menos tempo para ser fabricada e montada; o aço possui grande resistência tanto à tração quanto a compressão, podendo vencer grandes vãos. Além das vantagens anteriormente citadas, o aço possui uma particularidade que colabora bastante para o dimensionamento das peças, seus perfis são leves, o peso próprio da peça de aço é pequeno comparado com o peso próprio do pré-

fabricado de concreto. Isso influencia consideravelmente na análise estrutural, já que deve-se considerar na mesma a influência das cargas permanentes (peso próprio), por produzir efeitos significativos na estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 2003).

A definição de qual método construtivo que será utilizado na construção do galpão (estrutura metálica, pré-fabricado de concreto protendido ou ainda estrutura mista) dependerá da construção e análise de modelos estruturais que representem cada tipo estrutural, as suas respectivas cargas e os esforços solicitantes gerados na estrutura. Um modelo estrutural é definido como qualquer representação física de uma estrutura ou porção de estrutura, por norma construída em escala reduzida (HARRY; SABINS, 1999). Sendo de extrema importância ao nível de engenharia por, em conjunto com os modelos teóricos, permitem prever o comportamento estrutural (HOSSDORF, 1974).

### **3. METODOLOGIA**

Segundo Leonhardt (1977) o aumento das tensões de tração na zona tracionada leva o concreto a atingir sua resistência à tração na flexão ao mesmo tempo em que faz surgir tensões de aderência entre o aço e o concreto. Sendo assim, o correto funcionamento do concreto armado depende da firme ligação por aderência (*bond*) entre o concreto e as barras da armadura. É a aderência entre os materiais que garante o mesmo alongamento das barras da armadura e o alongamento das fibras vizinhas de concreto. Como o alongamento à tração do concreto é pequeno, o concreto fissura na presença de maiores solicitações de tração, e as barras da armadura devem então absorver as forças de tração. Nesse sentido, o Método dos Elementos Finitos permite e auxilia a analisar de forma mais racional os fenômenos gerados pelos diferentes comportamentos mecânicos do concreto armado quando submetido a crescentes níveis de carregamento.

O Método dos Elementos Finitos por se tratar de um procedimento numérico para determinar uma solução aproximada dos comportamentos que as estruturas, em modo geral, vão apresentar. Ele é tão eficiente em sua aplicação em estruturas de concreto quanto para as estruturas metálicas. Uma vez que um fator importante que influencia na escolha do aço para formar o sistema estrutural é o seu dimensionamento adequado agregando maior confiabilidade e o menor custo de fabricação possível, tornando este sistema seguro e confiável.

Partindo-se deste pressuposto, para que fosse feita a análise dos dois sistemas estruturais, estrutura metálica e concreto pré-fabricado, aplicados ao mesmo galpão, foi necessário fazer modelagens estruturais das tipologias de galpões porticados, criadas para esse estudo de caso, a partir do software de elementos finitos FTOOL. E assim, realizar um

pré-dimensionamento das peças das estruturais, uma previsão de cargas e ações (permanentes, acidentais e de sobrecarga) que esse galpão receberá, calcular os esforços solicitantes máximos gerados por essas cargas e realizar um estudo econômico dos vãos entre os pilares.

A primeira etapa da pesquisa se deu com a revisão da literatura, que procurou a consolidação dos conceitos relativos à Engenharia de Estruturas, aprofundando a compreensão sobre o comportamento e características das estruturas de concreto e das estruturas de aço e rever métodos de dimensionamento dos mesmos e realizar a concepção arquitetônica do galpão.

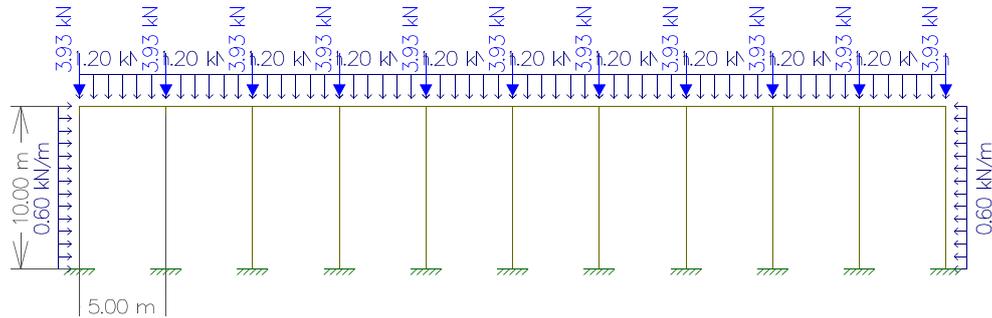
As etapas seguintes foram dedicadas à definição das geometrias do galpão e das condições de contorno dos elementos estruturais utilizados. Foram feitas correlações entre os dimensionamentos de ambas as estruturas (de aço e concreto) ao considerar a área da seção perfil metálico equivalendo a 10% da área da seção retangular de concreto.

A partir disso, foram construídos e analisados 60 modelos físicos no software de elementos finitos FTOOL com base nas seguintes condições de contorno: estrutura aporticada engastada com nós de ligação viga-pilar rígidos; estrutura aporticada engastada e apoiada com nós de ligação viga-pilar rígidos; estrutura aporticada engastada e apoiada com nós de ligação viga-pilar articulados. Com vãos de: 5,00m; 5,56m; 6,25m; 7,14m; 8,33m; 10m; 12,5m; 16,67m; 25m e 50m. Dimensionando-se as seções de pórticos com dois pilares a pórticos com onze pilares. Os materiais utilizados no software foram: aço (*steel isotropic*) e concreto (*concrete isotropic*).

A elaboração do esquema estático do pórtico no software, com a caracterização do material utilizado na edificação, da seção da peça estrutural e das cargas que atuarão na mesma, faz com que o mesmo reproduza os diagramas dos esforços internos solicitantes na viga e nos pilares do galpão e forneça os valores máximos desses esforços na seção.

Os diagramas fornecidos pelo software são: diagrama de momentos fletores; diagrama de forças cortantes e diagrama de forças normais (axiais). Além disso, o software FTOOL gera o gráfico de deformação e deslocamento que a estrutura sofre a partir do carregamento que atua na mesma, tendo uma previsão de como a mesma se comportará ao sofrer tais solicitações de carga na estrutura.

## Esquema estático\_ Estrutura aporticada engastada com nós rígidos



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tratamento analítico dado a estrutura, por consequência, iniciou-se um estudo econômico da mesma em função nos tipos de materiais utilizados na construção das vigas e pilares desse galpão, do vão entre os pilares e do número de pilares utilizados.

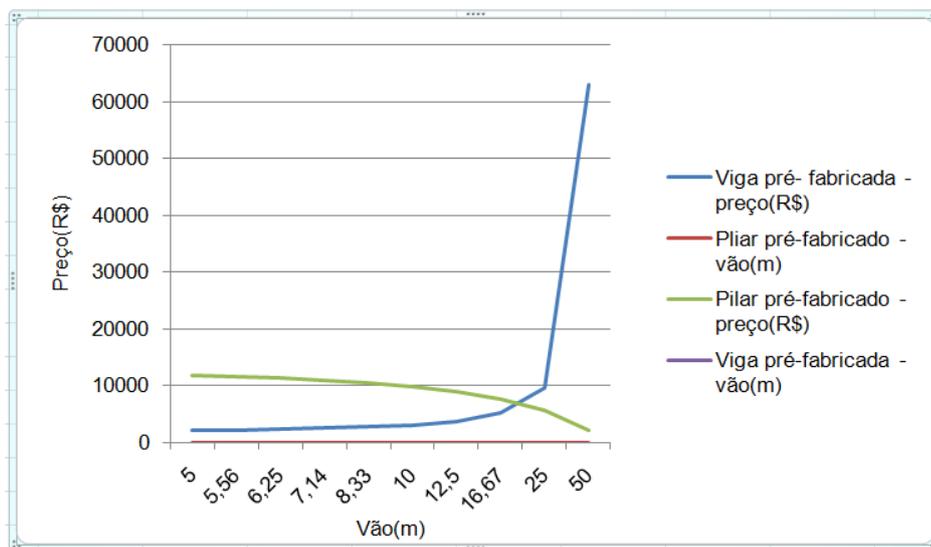
Com os perfis metálicos e as peças pré-fabricadas de concreto dimensionados anteriormente, foi construída uma tabela de composição de preços, fundamentada em tabelas de referência do mercado da construção civil como as tabelas fornecidas pelo TCPOweb (Tabela de Composições de Preços para Orçamentos); tabela do IPCI (Índice PINI de Custos da Construção Industrializada) e pelo software para a engenharia e construção CYPE.

Com o término da execução desta tabela de composição de preços, adentrou-se na etapa final da análise estrutural deste trabalho através da realização de quatro gráficos os quais relacionassem o preço das estruturas utilizadas na construção da viga e dos pilares do galpão porticado em função do número de pilares, mais especificamente em função do tamanho dos vãos entre os pilares.

Os gráficos foram feitos de modo que abrangessem todas as combinações de tipologias de galpão estipuladas a partir do uso da estrutura de aço e concreto na construção do mesmo. As tipologias utilizadas na construção desses gráficos são: galpão porticado em que tanto a viga quanto os pilares são em concreto pré-fabricado; galpão porticado o qual as vigas e os pilares são estruturas de aço; galpão porticado em que as vigas são estruturas pré-fabricadas de concreto e os pilares em estrutura metálica e galpão porticado o qual as vigas são em estrutura de aço e os pilares em estruturas em aço. Sendo que as duas últimas estruturas mencionadas de estruturas “mistas” ou “híbridas”, combinação estrutural dos dois primeiros tipos de galpões citados.

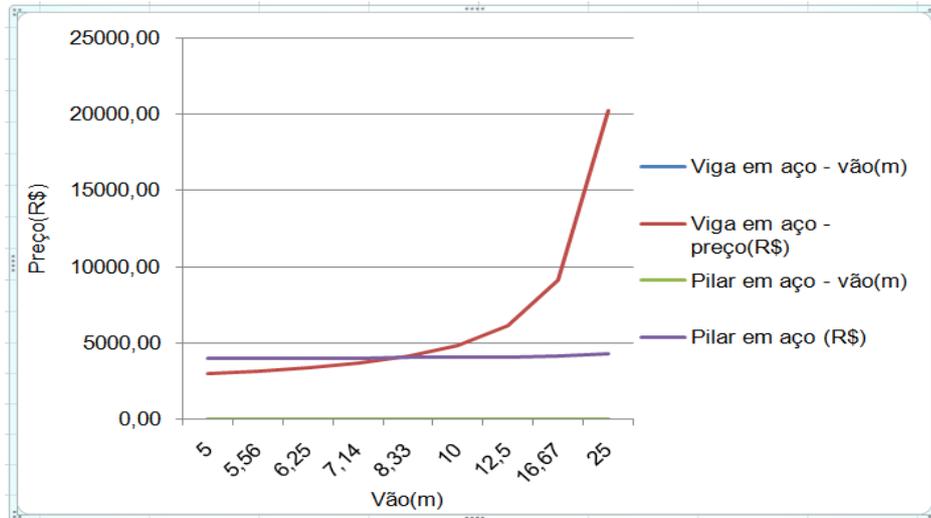
Estes gráficos de otimização foram obtidos a partir do uso da regressão exponencial, um recurso da matéria de cálculo numérico, para se encontrar uma função que relacione o preço da viga, que aumenta com o tamanho dos vãos, com o preço dos pilares, que diminuem com o tamanho dos vãos, para que se ache um “vão ótimo” onde o preço das vigas e dos pilares será mínimo com esse comprimento de vão. No gráfico de otimização corresponde ao lugar geométrico aonde as curvas que representam as vigas e os pilares se cruzam.

Gráfico 1 – Pilares e Vigas em Concreto pré-fabricado



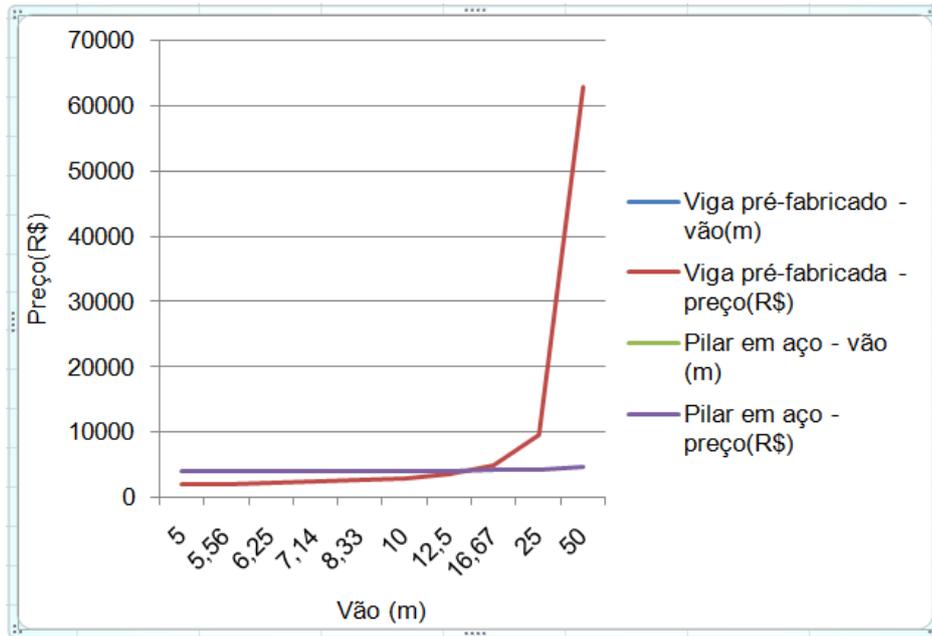
Nesse gráfico (Gráfico 1) pode se notar que pelo custo dos pilares pré-fabricados serem altos, uma solução econômica para tal edificação seria fazê-la com vãos maiores, a partir de 12,5 metros, sendo ideal ter apenas 3 pilares nessa situação, 25 metros de vão (“vão econômico”). Já que as cargas recebidas nos pilares são baixas, o maior esforço se receber seria a de momento fletor na viga que gera seções maiores nas peças quanto maior é, uma vez que o momento fletor é proporcional ao aumento do comprimento da viga ou vão vencido pela mesma. No entanto, até vãos de 25 metros não há um aumento significativo no preço da viga, podendo executá-la para suportar carregamentos com vão maiores.

Gráfico 2 – Pilares e Vigas em aço



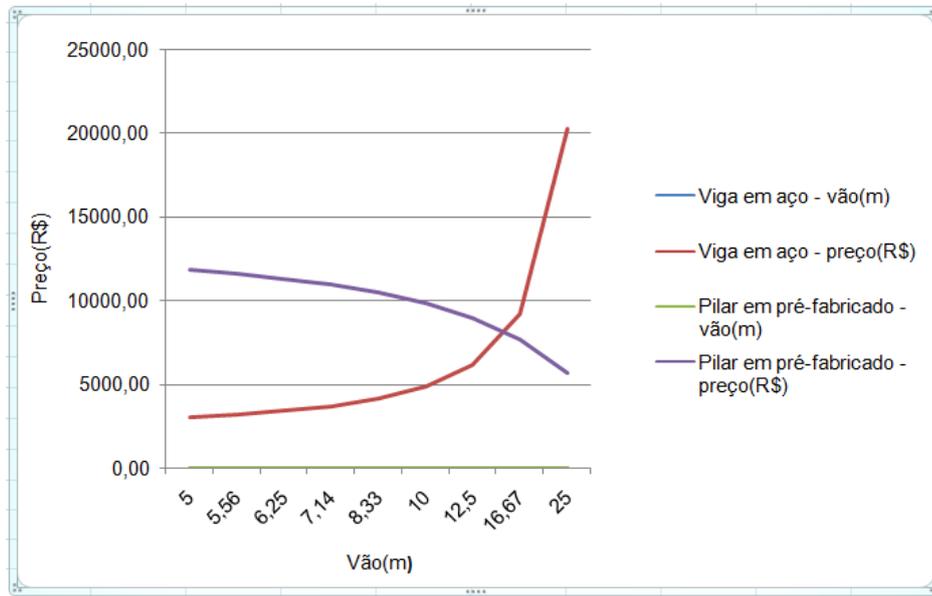
Ao contrário do que foi visto no gráfico anterior (Gráfico 1), em que as vigas e os pilares eram compostos por peças de pré-fabricado de concreto protendido, quando o galpão de estrutura porticada é feito em estrutura metálica (Gráfico 2) o ideal é que o faça com mais pilares em aço, uma que o preço dos pilares em estrutura metálicas não varia muito já que são dimensionados para uma seção de flambagem máxima ( $\lambda = 80$ ). E o preço da viga em estrutura metálica aumenta bastante com o aumento do comprimento do vão, uma vez que os perfis utilizados para vigas com tramos maiores possuem uma massa específica bem maior, o preço da estrutura metálica é feito baseado no peso específico do aço. Logo, o ideal para essa estrutura é fazê-la com um vão de 8,33 metros com 7 pilares.

Gráfico 3 – Pilares em aço e Vigas em pré-fabricado



Adentrando-se agora na análise das estruturas “mistas”, o Gráfico 3 simula a estrutura porticada quando a viga do pórtico é feita em peças de pré-fabricado e pilares em estrutura metálica. Nota-se que há uma economia em relação às estruturas anteriores não híbridas. Apesar de se ter um vão econômico menor que o do pórtico estrutura de concreto pré-fabricado (o vão econômico neste caso é de aproximadamente 16,25 enquanto a da estrutura de concreto é de aproximadamente 25m) há uma economia no custo dos pilares, visto que os pilares em perfis metálicos são consideravelmente mais baratos (seu preço é cerca de um terço do preço do pilar em concreto pré-fabricado). E, além disso, o preço da viga em concreto protendido é menor que o da viga em perfil metálico, contribuindo mais ainda para a economia desta obra, gasta-se com as peças e os materiais na construção dessa tipologia estrutural um terço do preço da construção das duas outras estruturas não híbridas.

Gráfico 4 – Pilar em pré-fabricado e viga em aço



Apesar de em alguns casos o uso de estruturas mistas ser vantajoso economicamente, por reunirem características positivas tanto de uma estrutura quanto da outra estrutura utilizada, não foi o que aconteceu para esta estrutura. A estrutura analisada por este último caso, vide Gráfico 4, trata-se de um galpão porticado com vigas em aço e pilares em pré-fabricado, ou seja, como analisado anteriormente nos outros gráficos, é uma estrutura que reúne o tipo de viga mais cara com o tipo de pilar mais caro resultando em uma estrutura bem mais cara que as outras não sendo, portanto, recomendável utilizar esse tipo de construção na edificação do galpão analisado em questão.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu verificar, a partir da análise das tipologias estruturais do galpão logístico, qual foi aquela que ofereceu um menor custo mais ainda sim, garantindo segurança e confiabilidade na construção. Fazendo parte desse trabalho o estudo econômico dos materiais e peças que fazem parte do sistema construtivo desta estrutura, a saber, são duas as estruturas que foram avaliadas na construção desse galpão: a estrutura metálica e a estrutura de concreto protendido.

Os estudos realizados para a previsão de carga na estrutura, vigas e pilares, foram feitos através do software FTOOL, o qual não somente permitiu a análise da estrutura sob o efeito de tais cargas como também gerou diagramas de esforços internos solicitantes e seus esforços máximos, o que permitiu analisar qual foi a estrutura que menos se deformou e transferiu menos carga a fundação.

Com a concepção de 60 análises estruturais, apesar das diferentes condições de contorno que cada uma tinha, houve a repetição de um padrão em cada uma das análises o que permitiu chegar à conclusão que: a estrutura que obteve menos esforços, principalmente verticais foram aquelas que tinham mais pilares, conseqüentemente, menor o tamanho dos vãos, e as que tinham os nós de ligação entre a viga e o pilar articulados, pois os momentos nesses nós eram zero fazendo com que a reação nos pilares intermediários também fosse zero.

Em grande parte, isso se deve ao fato de que com o aumento do comprimento do tramo da viga, maior seria a área da seção da mesma e da carga que ela deverá resistir verticalmente, principalmente o peso próprio que aumenta com o tamanho da peça. Ademais, ter-se-ia um maior número de pilares que conseguiria resistir a tais esforços provocados pelo carregamento da viga.

Desse modo, esta análise nos permitiria concluir que o ideal seria ter um galpão com vários pilares articulados. No entanto, não é essa a conclusão tirada, apesar de tal solução de fato diminuir os esforços gerados na fundação, reduzindo o seu custo, há um aumento de uso de materiais na construção de pilares. Além disso, tem que se levar em consideração também o espaço a ser utilizado dentro desse galpão ou centro de distribuição, fazer o mesmo com 11 ou 10 pilares pode ser que não se tenha o aproveitamento do mesmo, comprometendo o seu custo a longo prazo.

No entanto, não foi a utilização do espaço em si que conduziu e fez parte desta análise econômica e sim, qual seria o comprimento de vão ideal ou com quantos pilares a estrutura poderia ser feita para que se tivesse o menor custo com a edificação. Foi feito assim um estudo contrabalanceado entre o menor esforço interno solicitante que a estrutura deveria ter (para que chegasse menos carga na fundação) e o tamanho comprimento dos tramos da viga e o número de pilares que fariam parte da composição da estrutura porticada o que levaria o menor custo possível.

Os sistemas construtivos utilizados e as suas combinações contribuíram para que se obtivesse não apenas uma opção de vão econômico ou construção, mas quatro opções que poderiam ser escolhidas em função da necessidade do cliente. Essas opções são resultado das quatro tipologias de galpões que se pode ter a partir do uso da estrutura de concreto protendido e da estrutura metálica, que são: galpão porticado com vigas e pilares feitos em pré-fabricado de concreto protendido; galpão porticado com vigas e pilares feitos em estruturas de aço; galpão porticado com vigas em pré-fabricado de concreto protendido e pilares em estrutura de aço e, finalmente, galpão porticado com vigas em aço e pilares feitos em concreto protendido.

Como resultados finais obtidos através das análises feitas por tabelas de referência e composição de, como: TCPOweb (Tabela de Composições de Preços para Orçamentos); tabela do IPCI (Índice PINI de Custos da Construção Industrializada) e pelo software para a engenharia e construção CYPE, conclui-se que os vãos ideais para a economia de custo na edificação deste galpão logístico para qualquer uma das estruturas simuladas estariam entre 12,5 metros e 25 metros. Excetuando-se o galpão aporricado em que tanto as vigas quanto os pilares são em estruturas de aço uma vez que o custo dessa viga em aço aumenta muito com o seu tamanho, sendo o intervalo em metros ideal para esse vão entre 7,14 e 10 metros.

Logo, conclui-se que tanto a construção galpões com vãos grandes e poucos pilares quanto galpões logísticos com muitos pilares e vão pequenos podem ser antieconômico, não tão somente a grande carga que se pode ter na fundação, no caso de galpões com grandes vãos, ou do espaço reduzido que o centro de distribuição pode ter, caso resolva construir um galpão com vãos menores. Mas devido ao custo em material que se terá na construção de vários pilares ou em seções de vigas maiores.

No entanto, outra conclusão pode ser tirada a partir das análises dos gráficos de otimização, pois, apesar de se ter vãos ideais que proporcionam economia nas análises feitas, há tipos estruturais que se mostraram mais baratos que os outros na sua concepção. Como foi o caso do galpão porticado com vigas em pré-fabricado de concreto protendido e pilares em estrutura de aço, que além de resistir igualmente bem as cargas verticais e horizontais impostas na estrutura, o custo da sua construção é cerca de 2 vezes até mesmo 3 vezes menor( no caso do galpão porticado com vigas em aço e pilares feitos em concreto protendido) pois reúne o menor custo de viga, com o uso da estrutura de concreto pré-fabricado, e o menor custo de pilar, usando pilares com perfis metálicos. Sendo recomendável a utilização desse tipo estrutural na construção do galpão logístico por se ter uma economia maior dentre os outros tipos estruturais analisados.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 2003.

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, 2014.

CALAZANS, Fabíola. (2001) - **Centros de distribuição**. Gazeta Mercantil: Agosto.

CHASTRE, Carlos; LÚCIO, Váter. Estruturas Pré-Moldadas no Mundo: Aplicações e Comportamento Estrutural. Guarulhos, SP: Editora Parma Ltda, 2012.

DEBS, Mounir Khalil El. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000.

HONG, Yuh C. (1999) - **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada: supply chain**. 1a ed. São Paulo: Atlas, 182p.

LACERDA, Leonardo (2000) - **Armazenagem estratégica: analisando novos conceitos**. Centro de Estudos em Logística (CEL), COPPEAD/UFRJ.

LIMA, Maurício P. (2002) - **Armazenagem: considerações sobre a atividade de picking**. Centro de Estudos em Logística (CEL), COPPEAD/UFRJ

PFEIL, Walter – **Concreto Protendido, Introdução**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., volume 1, 1985

TOMPKINS, J. A. (1996) - **Facilities planning**. 2a ed. New York: John Wiley & Sons.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; CÉSARJR, Kléos M Lenz. **Concreto protendido**: Fundamentos básicos. 4. ed. Viçosa: Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, 1998. 78 p.

LEONHARDT, Fritz & MÖNNIG, Eduard. **Construções de concreto** – Vol. I. 1 a . Edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1977.

**CONTATOS:** luizavianna08@gmail.com e alfonso.pappalardo@mackenzie.br