



ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE GALPÕES EM ESTRUTURA DE AÇO E CONCRETO PRÉ-FABRICADO

Ana Carolina Scampini Siqueira Rangel

Marina Tonini

carolscampini@hotmail.com

marinattonini01@hotmail.com

FAESA

Av. Vitória – 2220, 29053-360, Espírito Santo, Vitória, Brasil

Janaina Pena Soares de Oliveira

janainapenas@gmail.com

FAESA

UFMG

Av. Presidente Antônio Carlos – 6627, 31270-901, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

Adenilcia Fernanda Grobério Calenzani

afcalenzani@gmail.com

UFES

Av. Fernando Ferrari – 514, 29075-910, Espírito Santo, Vitória, Brasil

Joice Tosta

joicetosta@hotmail.com

FAESA

Resumo. *Com a exigência do mercado atual em executar obras com orçamentos menores e prazos cada vez mais curtos, a utilização de estruturas industrializadas para galpões torna-se cada vez mais difundida. Os sistemas estruturais em aço e em concreto pré-fabricado são exemplos desse tipo de construção. O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica de um galpão estruturado em aço e em concreto pré-fabricado, mostrando as potencialidades de cada tipo de estrutura. Para a obtenção dos quantitativos de materiais, utilizou-se um projeto de galpão em concreto pré-fabricado com ponte rolante como base para o dimensionamento da estrutura em aço. Os custos de materiais e mão de obra foram levantados utilizando os preços de empresas que atuam no mercado do Espírito Santo e composições de preços unitários publicados pelo IOPES e TCPO. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a solução estrutural em aço apresenta um custo total maior do que a de concreto pré-fabricado. Por outro lado, a estrutura em aço possui um menor peso, aliviando a fundação, além de ter uma maior agilidade na sua construção, reduzindo o prazo de execução.*

Palavras-chaves: *Concreto pré-fabricado, Estruturas em aço, Galpões industriais*

1 INTRODUÇÃO

Devido ao mercado competitivo da construção civil, observa-se cada dia mais a necessidade de ampliação de estudos de técnicas construtivas que viabilizem o aumento da produtividade e a redução de custos (Melo, 2004). O processo construtivo de estruturas moldadas *in loco* é a mais difundida no Brasil. Porém, nota-se uma crescente utilização de estruturas industrializadas devido às suas características de produção que viabilizam o seu uso. Os sistemas estruturais em aço e em concreto pré-fabricado são exemplos desse tipo de construção e vêm ganhando espaço no mercado da construção civil brasileira (Brentano, 2010).

Conhecida como pólo internacional de mármore e granitos, Vitória, no estado do Espírito Santo, acolhe grandes empresas que comercializam essas pedras no Brasil e no exterior. Para abrigar seu maquinário essas empresas necessitam de uma estrutura que seja capaz de vencer vãos da ordem de trinta metros e que se adapte facilmente ao *layout* de produção. Em virtude disso, há no Espírito Santo uma grande procura por galpões (Santos, 2010).

Segundo Chaves (2007), os galpões são construções de um único pavimento que se estendem por grandes áreas e são constituídos por pórticos planos regularmente espaçados com cobertura na parte superior e fechamento lateral. Um galpão pode ser construído em aço ou em concreto, sendo esses materiais utilizados isoladamente ou em conjunto. Já há algum tempo, o aço é o material mais utilizado para construção de edifícios industriais no Brasil (Fig. 1), devido às vantagens econômicas e construtivas que oferece. Atualmente, esta solução divide espaço com os galpões de concreto pré-fabricados (Fig. 2), que se tornaram competitivos nos últimos anos.



Figura 1. Galpão em estrutura de aço



Figura 2. Galpão em estrutura de concreto pré-fabricado

A solução estrutural deve ser escolhida em razão dos diversos benefícios, não dando ênfase apenas na análise comparativa do custo dos materiais e da mão de obra. Há outros fatores que devem ser avaliados como o peso da estrutura, produtividade e sustentabilidade. A opção entre os materiais e o sistema estrutural a ser adotado só pode ser decidida de forma racional após a análise conjunta de todos os fatores que influenciam a organização dos espaços e os interesses do cliente (Cardoso, 2014).

Este artigo tem como objetivo avaliar os custos para se executar um galpão estruturado em aço e em concreto pré-fabricado. Além disso, pretende-se estudar as potencialidades de cada estrutura e demonstrar a importância dos aspectos qualitativos na escolha de um sistema estrutural. Não se tem a intenção de estabelecer o melhor sistema estrutural, mas de apresentar conclusões, baseadas nos resultados obtidos, para que sirvam de referência na elaboração de anteprojetos e estudos de viabilidade.

1.1 Tipologia dos galpões

Os edifícios industriais denominados de galpões têm como função dar proteção a um espaço horizontal, ou seja, fornecer um sistema de cobertura eficiente. Segundo Nardin *et al.* (2012), o sistema estrutural de galpões pode conduzir a diferentes tipologias dependendo da geometria da cobertura, do tipo de perfis, das ações atuantes, *etc.* A Tabela 1 apresenta uma classificação dos galpões quanto ao tipo de cobertura adotada.

Tabela 1. Classificação de galpões

Edifícios com vão simples	Edifícios com vãos múltiplos
Cobertura com uma água	Cobertura em múltiplos de uma água
Cobertura em duas águas	Cobertura em múltiplos de duas águas
Cobertura em arco	
Cobertura tipo <i>Shed</i>	

Além da classificação contida na Tabela 1, os galpões podem ser com perfis de alma cheia ou treliçados e, ainda, possuir ou não pontes rolantes. Os galpões sem ponte rolante são usualmente empregados em coberturas para diversas finalidades, desde pequenas instalações comerciais até ginásios poliesportivos de grandes vãos. Nestas estruturas, a carga predominante é o vento, visto que nas mesmas se utiliza normalmente telhas metálicas de pouco peso. Os galpões com ponte rolante são mais complexos porque exigem apoio para o caminho de ponte rolante da mesma. Nestes casos, a carga predominante é a da ponte rolante, que introduz forças verticais, horizontais e impactos que devem ser resistidos pelos pórticos, mantendo-se sempre os deslocamentos máximos dentro dos limites admissíveis para a operação da ponte (Nardin *et al.*, 2012).

1.2 Estruturas em aço

As estruturas em aço têm adquirido importância na construção civil ao longo do tempo, principalmente pelo fato da alta resistência do aço possibilitar elementos estruturais menores, com capacidade de vencer grandes vãos. Para Bellei (2010), as principais vantagens das estruturas em aço são a alta resistência mecânica do material e o fato dessas estruturas serem mais leves do que elementos feitos em concreto armado. Como as vigas e colunas de aço apresentam peso de 40 a 80 kg/m² e as estruturas de concreto armado têm peso de 250 a 350 kg/m², o uso de estruturas em aço permite a redução nas cargas de fundações e, consequentemente, blocos com menores volumes e uma menor movimentação de terras.

Braz (2008) afirma que a utilização de sistemas estruturais em aço é por vezes prejudicada, devido aos paradigmas relacionados a esse tipo de estrutura. Dentre vários deles, observam-se os mais comuns, como o alto preço do material e da mão de obra, a necessidade de proteção contra fogo e a corrosão. O custo do aço é realmente maior do que o de outros sistemas, inclusive os chamados convencionais. No entanto, as estruturas em aço são produtos industrializados que quando empregados corretamente, podem trazer vantagens para o conjunto da obra, como redução do retrabalho e do prazo de execução.

A rapidez da execução das estruturas em aço é, para Dias (2000), o ponto mais importante que define a escolha desse sistema construtivo. Quando comparada com outros tipos de estrutura, a estrutura em aço mostra rapidez e eficiência na fase de montagem, evitando o atraso do início das obras e trazendo retorno imediato do capital investido.

Devido à crescente consciência ecológica na atualidade, Cosipa (2013) destaca que o aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com menor geração de rejeitos. Da mesma forma, Liubartas *et al.* (2015) afirma que se pode contar com o desmantelamento das estruturas fora de uso e reconstruí-las em outros locais onde seja necessário. Caso o destino final seja a demolição, a solução é a reciclagem, plenamente viável quando se trata de aço, o qual pode ser reciclado inúmeras vezes, sem qualquer perda de qualidade. Isso contribuiu com a minimização do consumo de recursos naturais e geração de resíduos.

Muitas edificações podem ter seu uso alterado ao serem solicitadas por cargas maiores, ou mesmo pela exigência de uma nova composição estrutural. A estrutura em aço é indicada nesses casos em que há necessidade de adaptações, ampliações e reformas, uma vez que é possível reforçar os perfis de aço com facilidade através de soldagem de chapas, permitindo um aumento nos vãos e nas cargas. Este aspecto também se torna de suma importância na recuperação de estruturas que foram sujeitas a sinistros (Cosipa, 2013).

Uma desvantagem dos elementos de aço, citada por Bellei (2010), é a suscetibilidade à corrosão. Tal característica requer esquemas de pintura ou outro tipo de cobertura de proteção. De acordo com El Debs (2000), a corrosão é a patologia que mais comumente ataca as estruturas em aço, seguida por problemas nos detalhes construtivos, principalmente nas ligações. El Debs (2000) aconselha que os detalhes construtivos sejam estudados de forma minuciosa para evitar problemas de acesso, acúmulo de sujeira e umidade.

Um dos pontos mais importantes nos projetos de construção civil é reduzir o risco de incêndio e, caso este ocorra, aumentar o tempo de início de deformação da estrutura, conferindo, assim, maior segurança a estas construções. Para se aumentar o tempo de resistência ao fogo recorre-se, muitas vezes, à aplicação de materiais isolantes térmicos sobre a superfície dos componentes estruturais. Cozza (1998) observa que construir em aço pode ser custoso devido às suas dispendiosas e necessárias proteções contrafogo como os chamados retardadores de calor – placas de gesso, amianto, lã de rocha, mantas cerâmicas e tintas intumescentes. A utilização da camada de isolamento térmico pode onerar em cerca de 10 a 30% do custo total da estrutura de aço utilizada, reduzindo sua competitividade.

Dias (2000) afirma que quando os elementos estruturais em aço são expostos a altas temperaturas, durante condições típicas de um incêndio, os mesmos podem ter a sua resistência mecânica reduzida a ponto de levar toda ou parte da construção a um colapso. Para Dias (2000), mesmo que os elementos de aço necessitem de uma proteção adicional contra o fogo, isso não inviabiliza o uso desse tipo de estrutura.

1.3 Estruturas em concreto pré-fabricado

Diferentemente das obras de concreto moldadas no local, as pré-fabricadas caracterizam-se pelo sistema construtivo em que a estrutura, ou parte dela, é moldada previamente e fora da sua posição de utilização definitiva (Brumatti, 2008). A norma ABNT NBR 9062:2006 define estrutura pré-fabricada como elemento executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este fim. Essa norma faz distinção entre elemento pré-moldado e pré-fabricado, tendo como base o controle de qualidade empregado na execução do elemento, sendo o elemento pré-moldado executado com menor rigor no controle de qualidade. De acordo com El Debs (2000), as características que favorecem a utilização de estruturas pré-fabricadas são aquelas relacionadas à execução de parte da estrutura fora do local de utilização definitivo, proporcionando maior produtividade e controle de qualidade mais rigoroso.

O concreto tem boa resistência à compressão e pequena resistência à tração (cerca de 10% da resistência à compressão). Nas estruturas de concreto pré-fabricado há recursos consideráveis para melhorar a eficiência estrutural, como o uso de protensão, permitindo vãos grandes e redução da altura efetiva nos elementos de vigas e lajes. Isso oferece não apenas flexibilidade na construção, como também maior vida útil da edificação e, consequente, retenção do seu valor comercial por mais tempo (Veríssimo e César, 1998).

O concreto armado, além de apresentar características mecânicas muito amplas, possui uma durabilidade adequada para a maioria dos usos a que se destina, necessitando de pouca ou nenhuma manutenção. Conforme Perdrix (1992), esta durabilidade é um resultado natural da função que o concreto exerce sobre o aço: o cobrimento de concreto é uma barreira física, e a elevada alcalinidade do concreto desenvolve sobre o aço uma camada passiva que o mantém inalterado por um tempo. Porém, a durabilidade do concreto pré-fabricado depende diretamente do controle de qualidade na produção, isto é demonstrado por Philippsen (2011), que realizou um estudo na região Sudoeste do Paraná em empresas de pré-fabricados. Ele observou que na maior parte dessas empresas a produção das peças é realizada de modo rudimentar, sem procedimentos bem definidos, e com mão de obra não qualificada. Como consequência, observou-se grande incidência de patologias nas peças produzidas em quatro das cinco empresas visitadas e, por isso, reforçam a importância da escolha de uma empresa de confiança e com padrões de qualidade para garantir a durabilidade da estrutura.

Conforme Neto *et al.* (2010), ao utilizar elementos pré-fabricados, os fatores como transporte, carga e descarga dos elementos, içamento, correto posicionamento e forma de fixação dos elementos devem ser estudados. Para Migliore (2008), a grande desvantagem dos pré-fabricados está nos quesitos de transporte e armazenagem. As peças geralmente possuem grandes dimensões e peso elevado, requerendo equipamentos especiais de transporte, maior área de estocagem, além de custos com frete e guindastes que podem inviabilizar esse tipo de processo construtivo. Segundo El Debs (2000), os custos de transporte desse tipo de estrutura são de 5% a 15% do custo total do empreendimento.

Outra desvantagem, citada por El Debs (2000), é a necessidade da consideração de cargas de transporte e montagem no dimensionamento das estruturas pré-fabricadas, gerando, com isso, elementos superdimensionados quando comparados com estruturas moldadas no local. El Debs (2000) também cita como desvantagem do concreto pré-fabricado as dificuldades para adaptação à topografia.

O uso do pré-fabricado está relacionado a uma forma de construção econômica, durável e estruturalmente segura. Quando comparados aos outros métodos de construção apresentam muitas características positivas. Segundo Cardoso (2014), uma dessas características é o aumento da durabilidade da estrutura, uma vez que o concreto possui uma maior resistência à corrosão. Metha e Monteiro (1994) relatam que, principalmente devido à baixa permeabilidade, as estruturas de concreto têm excelente resistência a vários agentes físicos e químicos responsáveis por sua deterioração.

Outra vantagem do concreto, citada por Acker (2002), é o fato de estruturas em concreto armado apresentarem resistência ao fogo de 60 a 120 minutos. Para edificações comerciais, todos os tipos de componentes pré-fabricados sem nenhuma medida especial de proteção atingem a exigência de resistência ao fogo de 60 minutos. Buchanan (2001) comenta que o sistema estrutural em concreto pré-fabricado possui grande vantagem em situação de incêndio, já que durante os últimos 30 anos várias estruturas foram expostas a incêndios e, mesmo assim, poucas teriam sofrido danos graves, sendo a maioria recuperada e colocada em serviço logo após o incêndio.

2 METODOLOGIA

Para melhor compreensão das características e potencialidades do concreto pré-fabricado e do aço foi realizado um levantamento bibliográfico, proporcionando um embasamento teórico na comparação e avaliação qualitativa dos sistemas estruturais.

Como as estruturas de galpão em aço e em concreto pré-fabricado são comumente utilizadas no Espírito Santo, optou-se por essas tipologias para realizar a comparação. Neste artigo, adotou-se um projeto de galpão equipado com ponte rolante de 10 toneladas, dimensionado em concreto pré-fabricado por uma empresa do ramo (Fig. 3). As dimensões das sapatas para essa solução estrutural e a tensão admissível do solo adotada no dimensionamento também foram fornecidas pela empresa, servindo assim como base para o dimensionamento da fundação do galpão estruturado em aço e posterior comparação do custo e dimensões.

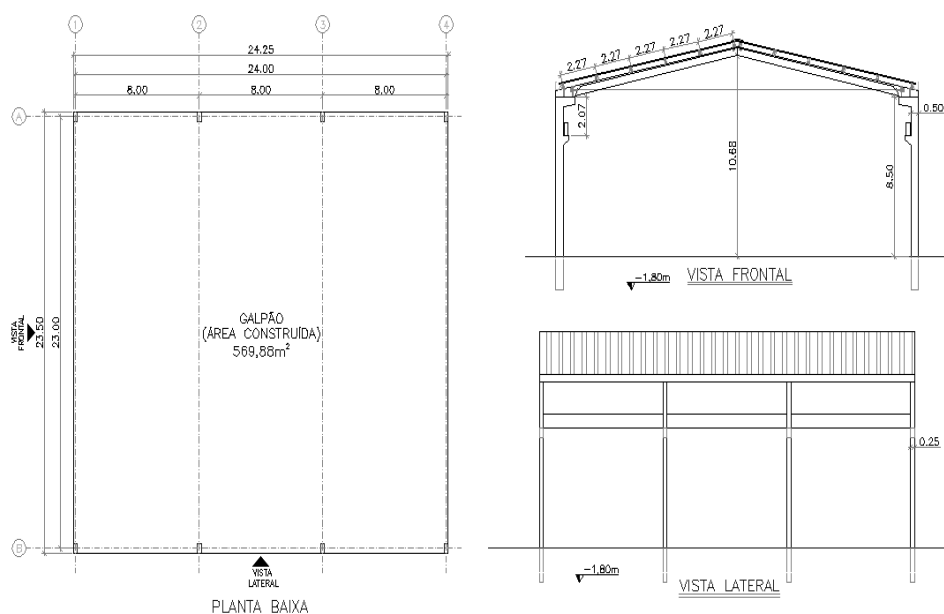


Figura 3. Projeto do galpão em concreto pré-fabricado

A alteração do projeto para estrutura em aço foi realizada utilizando pórticos com alma cheia engastados na base com ligação rígida entre as colunas e a viga de cobertura. Além disso, foram acrescentados os contraventamentos para garantir a estabilidade necessária para a estrutura. O cálculo da estrutura do galpão em aço foi realizado com o auxílio do programa STRAP 2014, com base na ABNT NBR 8800:2008 (Fig. 4).

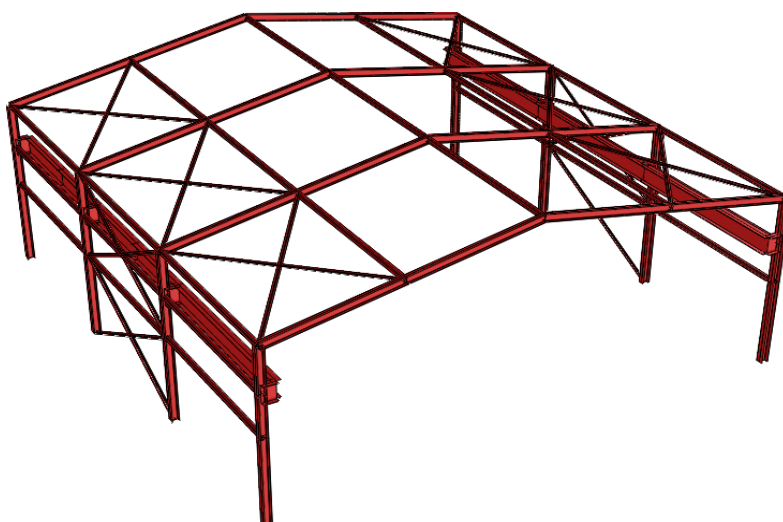


Figura 4. Estrutura lançada no STRAP 2014 para dimensionamento do galpão em aço

Para as ações atuantes foram utilizados valores compatíveis para essa tipologia estrutural. O peso próprio foi gerado automaticamente pelo STRAP 2014 e a sobrecarga adotada foi de $0,25 \text{ kN/m}^2$, valor mínimo sugerido pela ABNT NBR 8800:2008. A ação do vento foi determinada segundo as recomendações da ABNT NBR 6123:1988 considerando a implantação do galpão em terreno plano localizado em zona costeira na cidade de Vitória – Espírito Santo. Os dados para o cálculo das ações da ponte rolante, foram obtidos de Bellei (2010). As combinações de ações, para avaliação dos estados limites últimos e de serviço, foram feitas conforme descrito na ABNT NBR 8800:2008.

Para determinação dos esforços realizou-se análise de segunda ordem de acordo com os critérios da ABNT NBR 8800:2008, com auxílio do STRAP 2014. Como a relação entre o deslocamento obtidos pela análise de segunda ordem (Δ_2) e primeira ordem (Δ_1) foi igual a 1,04, a estrutura do galpão estudada é classificada como de pequena deslocabilidade, uma vez que Δ_2/Δ_1 é menor do que 1,1. Com isso, pela ABNT NBR 8800:2008, pode-se levar em conta no dimensionamento apenas o efeito das imperfeições geométricas iniciais. O galpão foi dimensionado visando a melhor taxa de aproveitamento possível dentre os perfis comerciais.

As terças que compõem a cobertura, por se tratarem de perfis do tipo U formado a frio, foram dimensionadas conforme a ABNT NBR 14762:2010 juntamente com a ABNT NBR 6355:2012. Para isto, foi utilizado o programa *DimPerfil* 4.0, desenvolvido pelo CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço. Este programa calcula os esforços resistentes em barras isoladas, bem como as propriedades geométricas da seção bruta e efetiva que são utilizadas no cálculo de deslocamentos.

O cálculo do perfil da viga de rolamento da ponte rolante foi realizado separadamente com base na ABNT NBR 8800:2008 por meio do programa desenvolvido por Salgado *et al.* (2013). Para efeitos de cálculo, as vigas de rolamento foram dimensionadas como simplesmente apoiadas sem contenção lateral, considerando a carga de uma ponte rolante com capacidade para 10 toneladas.

O dimensionamento da fundação do galpão em aço foi realizado com base na ABNT NBR 6122:2010. Considerou-se como tensão admissível para o solo igual a $2,5 \text{ kgf/cm}^2$, sendo utilizadas sapatas como elemento de fundação. Essas características foram adotadas para seguir a mesma tipologia de fundação utilizada no projeto de concreto pré-fabricado.

Com as informações obtidas no processo de análise e dimensionamento do galpão em aço, elaborou-se um projeto básico para enviar às empresas e solicitar o orçamento. Os orçamentos da estrutura de concreto pré-fabricado foram obtidos com base no projeto da Fig. 3. Com o intuito de se obter um orçamento fechado e o mais próximo possível do real, foram consultadas três empresas de cada área que atuam no estado do Espírito Santo, sendo considerado o menor preço total de cada tipologia estrutural. No levantamento de custos foram incluídos os materiais e montagem considerando que os galpões sejam construídos na cidade de Vitória, capital do Espírito Santo.

Para realizar o estudo comparativo dos custos, desenvolveu-se uma planilha orçamentária com os valores de material, montagem (incluindo mão de obra e equipamentos) e fundação. A separação dos custos foi realizada de acordo com os orçamentos fornecidos pelas empresas consultadas, não sendo possível maior nível de detalhamento do que o demonstrado no trabalho. Como as empresas consultadas não executam o serviço de fundação, adotou-se as composições de preços unitários obtidas na coletânea publicada periodicamente pelo IOPES (2015) – Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo e TCPO – Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (PINI, 2014).

Também foi tomado como referência o orçamento de Mattos (2014), sendo acrescentado nos custos estimados da fundação o BDI - Bonificação e Despesas Indiretas ou Benefícios e Despesas Indiretas. O BDI tem como função considerar os custos e despesas indiretas envolvidas na realização da obra, além de suprir despesas eventuais e garantir a lucratividade imposta pelo construtor. Considerou-se 27,64% de BDI, de acordo com dados do IOPES de fevereiro de 2015.

Além do orçamento, as empresas consultadas forneceram o prazo necessário para fabricação e montagem dos galpões. Para tornar possível a comparação do prazo de execução entre as duas metodologias estruturais estudadas, adotou-se o menor prazo fornecido pelas empresas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizado o dimensionamento do galpão em aço desenhou-se o arranjo descrevendo os perfis calculados (Fig. 5). Nas vigas e nos pilares utilizou-se perfis tipo W e H, respectivamente, em aço ASTM A572 grau 50. Para as terças e contraventamentos os perfis tipo U e L foram adotados, em aço ASTM A36.

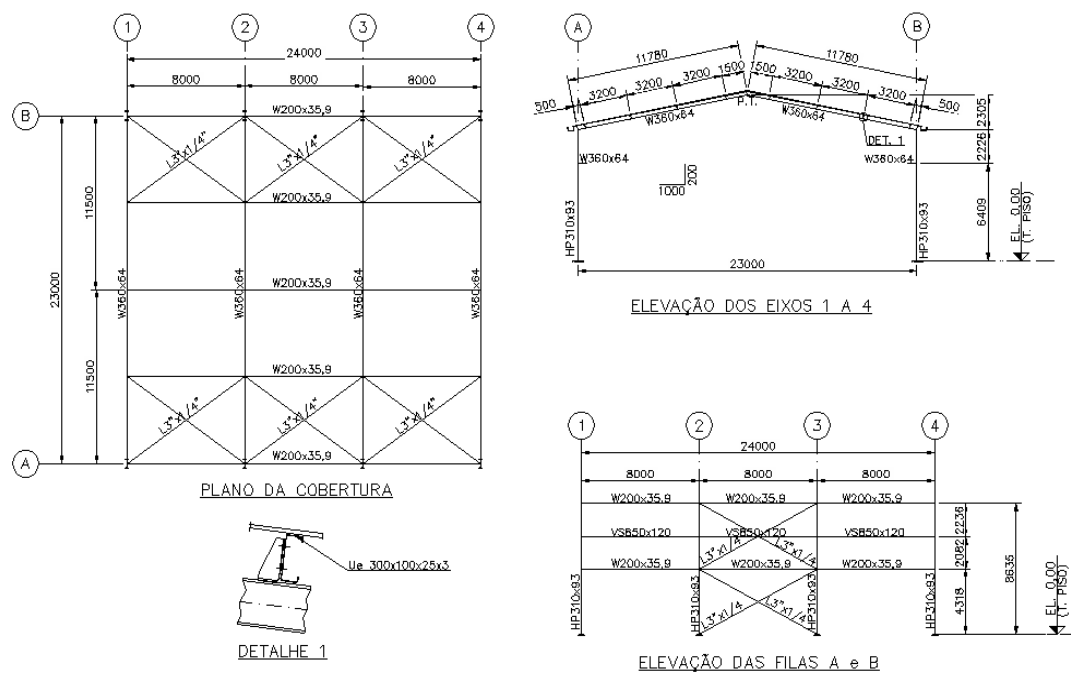


Figura 5. Projeto básico com o arranjo final da estrutura em aço

Além do desenho da Fig. 5 foi gerada uma lista de materiais (Tabela 2) contendo características como a descrição do perfil, comprimento total e peso. Ao final da Tabela 2 consta o peso total com acréscimo de 10 %, para estimar os elementos de ligação.

Tabela 2. Lista de materiais do galpão em aço

Seção	Comprimento total (m)	Peso (tf/m)	Sub-total (tf)
VS 850x120	48,00	0,12	5,76
W 200x35,9	204,00	0,04	7,32
W 360x64	110,62	0,06	7,08
HP 310x93,0	69,08	0,09	6,42
L 2,5"x3/8"	383,51	0,01	3,37
Ue 300x100x25x3	192,00	0,0124	2,38
Peso total:			32,34
Peso + 10%:			35,57

Obtidos os orçamentos com as empresas do ramo da região do Espírito Santo, realizou-se a distribuição dos custos. As Tabelas 3 e 4 apresentam o resumo do custo do material, mão de obra e fundação utilizada na fabricação das estruturas em aço e em concreto pré-fabricado, respectivamente.

Tabela 3. Resumo de custos da solução em aço

ESPECIFICAÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
MATERIAL				
Vigas soldadas VS 850x120	5760,00	kg	5,50	31.680,00
Viga W200x35,9	7320,00	kg	3,60	26.352,00
Viga W360x64	7080,00	kg	3,45	24.426,00
Cantoneira 2.1/2"x3/8"	3370,00	kg	3,30	11.121,00
Perfil U Dobrado 300x100x25x3 mm	2380,00	kg	3,70	8.806,00
Pintura eletrostática	1,00	vb	18.000,00	18.000,00
				143.497,00
MONTAGEM				
Mão de obra e equipamentos	1,00	vb	81.724,05	81.724,05
FUNDAÇÃO				
Concreto f_{ck} 30 MPa	1,41	m ³	564,20	794,39
Aço CA-50	87,94	kg	9,32	819,60
Fabricação de fôrma	15,36	m ²	50,74	779,35
Montagem da fôrma	15,36	m ²	8,37	128,59
Desmontagem fôrma	15,36	m ²	2,55	39,14
Escavação manual	54,40	m ³	17,89	973,22
				3.534,29
TOTAL ESTRUTURA EM AÇO:				R\$ 228.755,34

Tabela 4. Resumo de custos da solução em concreto pré-fabricado

ESPECIFICAÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
MATERIAL				
Pilares 0,25mx 0,52mx8,5m	8,00	und	4.210,00	33.680,00
Vigas tesoura vão 23 m sem beiral	8,00	und	2.280,00	18.240,00
Terças 8,00 m	36,00	und	295,00	10.620,00
Consoles viga ponte rolante 10 ton.	8,00	und	190,00	1.520,00
Acessórios para montagem galpão	1,00	vb	3.530,00	3.530,00
Viga 0,25mx 0,7mx8,00m para ponte rolante 10 ton.	6,00	und	2.250,00	13.500,00
				81.090,00
MONTAGEM				
Mão de obra e equipamentos	1,00	vb	21.000,00	23.600,00
FUNDAÇÃO				
Concreto f_{ck} 30MPa	2,05	m ³	564,20	1.155,48
Aço CA-50	127,87	Kg	9,32	1.191,77
Fabricação de fôrma	10,30	m ²	50,74	522,61
Montagem da fôrma	10,30	m ²	8,37	86,23
Desmontagem fôrma	10,30	m ²	2,55	26,24
Escavação manual	44,80	m ³	17,89	801,47
				3.783,81
TOTAL ESTRUTURA EM CONCRETO PRÉ-FABRICADO:			R\$ 108.473,81	

De acordo com os orçamentos apresentados nas Tabelas 3 e 4, para a edificação em estudo, a solução estrutural em aço resulta em um custo total 111% maior do que a solução em concreto pré-fabricado. Os custos totais de material, montagem e fundação para cada estrutura analisada estão representados graficamente na Figura 6.

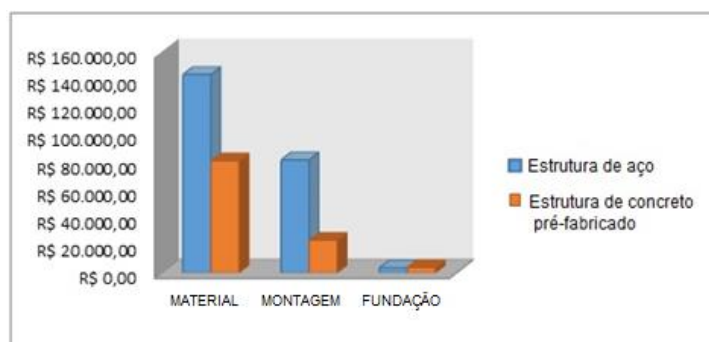


Figura 6. Distribuição de custos nas estruturas em aço e em concreto pré-fabricado

Na Figura 6, observa-se que, em relação ao custo dos materiais, a estrutura em aço é 76,96% mais cara do que a estrutura em concreto pré-fabricado. O elevado custo dos materiais se explica, além do preço do aço relativamente alto no mercado, também pelos cuidados especiais necessários, como tratamento contra corrosão, mencionado por Bellei (2010). Vale ressaltar que para o galpão estudado não se considerou a proteção contra incêndio para a estrutura em aço. Segundo Cozza (1998), esta proteção poderia onerar cerca de 10 a 30% do custo total da estrutura, reduzindo ainda mais a sua competitividade.

Segundo Perdrix (1992), a estrutura em concreto pré-fabricado é mais durável e necessita de pouca ou nenhuma manutenção. Porém, possui como desvantagem, de acordo com Philippsen (2011), a possível ocorrência de patologias no concreto. Além disso, de acordo com El Debs (2000), a dificuldade para adaptação à topografia pode tornar inviável em determinados casos.

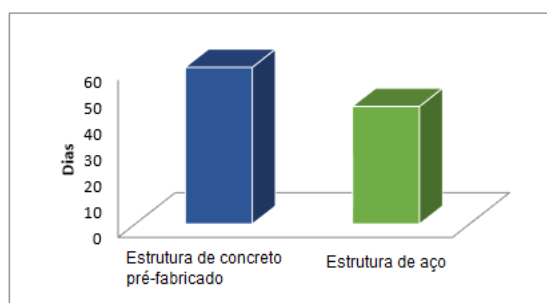
Na Figura 6 é possível visualizar que o custo de montagem da estrutura de aço está maior que a solução em concreto pré-fabricado (246,26% mais cara que o concreto). Essa diferença pode ser devida a mão de obra do aço ser mais especializada, tornando-se mais cara do que a estrutura de concreto, conforme relatado por Braz (2008). No entanto, é importante ressaltar que as empresas consultadas não forneceram uma descrição completa do que cada estrutura necessita para a sua montagem, dificultando a análise desse item.

Braz (2008) e Dias (2000) afirmam que a estrutura em aço é mais leve, o que proporciona menores solicitações na fundação, gerando uma economia na infraestrutura. Para a obra em estudo, a fundação da estrutura em concreto ficou 7,06% mais cara do que a fundação da estrutura em aço (Tabela 3, Tabela 4 e Fig. 6). Com o intuito de avaliar a influência do peso da estrutura no dimensionamento da fundação, na Tabela 5 consta o peso próprio das estruturas e o volume dos blocos de fundação. Podemos observar que a estrutura em aço, por possuir menor peso, permite a redução nas cargas de fundações e, consequentemente, blocos com menores volumes e uma menor movimentação de terras.

Tabela 5. Peso total das estruturas e volume do concreto nas fundações

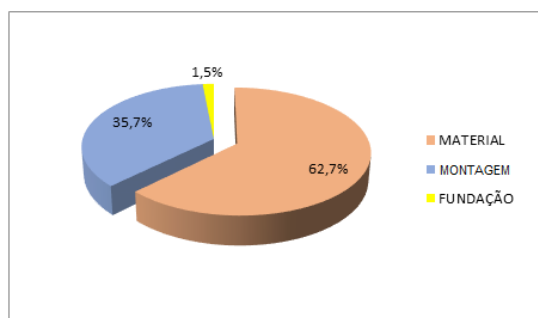
	Estrutura em aço	Estrutura em concreto pré-fabricado
Peso total da estrutura (kg)	35.570	85.200
Volume de concreto (m ³)	0,176	0,256

Além disso, segundo Braz (2008) e Dias (2000), a estrutura em aço apresenta maior eficiência construtiva, com maior agilidade na sua execução. Para esses autores, uma das maiores vantagens do aço é a redução do prazo de execução quando comparado com outras soluções estruturais. Na Figura 7 constam os prazos médios para a execução das estruturas tratadas neste trabalho, fornecidos pelas empresas consultadas. A estrutura de concreto pré-fabricado pode ser executada em um prazo médio de 60 dias, enquanto a de aço em 45 dias.

**Figura 7. Prazos de execução das estruturas em aço e em concreto pré-fabricado**

Outra vantagem na escolha do aço, citada por Cosipa (2013) e Liubartas *et al* (2015), é a possibilidade de aumento dos vãos e das cargas através de reforços estruturais, utilizando o processo de soldagem de chapas nos perfis de aço. Como a estrutura em análise é de um galpão industrial, pode-se ter um repotenciamento da ponte rolante, sendo necessário avaliar a necessidade de reforço da estrutura existente.

De modo a tornar possível observar o que é mais oneroso em cada solução estudada geraram-se gráficos com a composição de cada sistema construtivo. Na Figura 8 temos a distribuição dos custos da estrutura em aço, onde o material representa 62,7% do custo total analisado. Em seguida, temos os gastos com a montagem, que corresponde a 35,7% e, por fim, os custos com a fundação de 1,5%.

**Figura 8. Distribuição de custos na estrutura em aço**

A Figura 9 apresenta a distribuição de custos da estrutura em concreto pré-fabricado. Assim como o aço, nessa estrutura o material representa uma maior parcela do custo total analisado, 74,8%. Como a mão de obra para as estruturas em concreto pré-fabricado é menos qualificada do que nas estruturas em aço, observa-se que a parcela de montagem nas estruturas em concreto representa uma menor porcentagem do custo total (21,8%). Além disso, devido às estruturas em concreto serem mais pesadas, há um maior custo com fundação do que nas estruturas em aço, representando 3,5% do custo total.

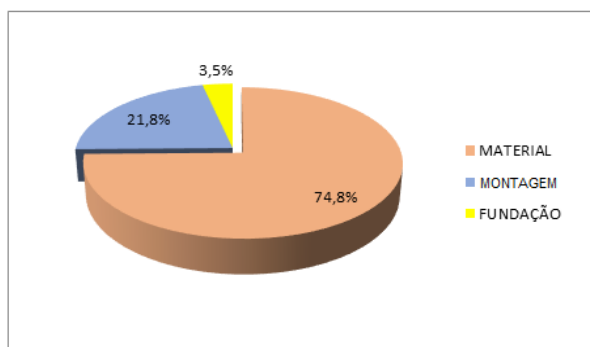


Figura 9. Distribuição de custos na estrutura em concreto pré-fabricado

Não foram analisados os custos referentes a transporte, uma vez que estão diretamente relacionados à distância entre a obra e a empresa fornecedora. O custo do transporte das peças pré-moldadas é significativamente maior do que o dos perfis de aço, devido ao maior peso e cuidados exigidos. Esta informação é confirmada por El Debs (2000), o qual cita que os custos de transporte do concreto pré-fabricado são de 5% a 15% do custo total do empreendimento. Porém, mesmo com maior custo de transporte o concreto pré-fabricado ainda é a estrutura mais vantajosa do ponto de vista financeiro.

4 CONCLUSÃO

Neste artigo foram levantados os custos para a execução de um galpão com ponte rolante de capacidade igual a 10 toneladas, dimensionado em estrutura de concreto pré-fabricado e estrutura de aço. Para essas tipologias, pode-se observar que ao comparar os custos com material, montagem e fundação, a estrutura em concreto pré-fabricado é mais vantajosa. No entanto, a decisão de qual solução será utilizada deve ser feita após um estudo comparativo criterioso, definindo com o cliente quais características são relevantes.

Em algumas situações, o projeto de arquitetura ou características da topografia podem inviabilizar o uso do concreto pré-fabricado, devido a suas particularidades e imposições. Além disso, em alguns momentos, há necessidade de aumento dos vãos e das cargas na estrutura existente, sendo necessário realizar reforços estruturais. Isso tornaria a estrutura em aço mais viável comparada ao concreto pré-fabricado.

Na análise comparativa de soluções estruturais é necessário não se levar somente em conta o consumo de materiais e o custo do empreendimento, mas, também, os aspectos qualitativos e prazo para a execução. Como a edificação em estudo é comercial, a maior agilidade no prazo é desejável para se obter um rápido retorno do investimento. Essa necessidade de controle de prazo torna a estrutura em aço mais vantajosa do que a estrutura em concreto pré-fabricado, uma vez que o prazo de execução do aço é menor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) e à Fundação de Assistência e Educação (FAESA) pelo apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Acker, A.V., 2002. *Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto*. São Paulo: ABCIC.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 6122:2010 *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 6123:1988 *Forças Devidas ao Vento em Edificações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 6355:2012 *Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 8800:2008 *Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 9062:2006 *Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 14762:2010 *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*. Rio de Janeiro.
- Bellei, I.H., 2010. *Edifícios Industriais: Projeto e Cálculo em Aço*. 6 ed. São Paulo: PINI.
- Braz, J.C.R., 2008. *Análise Comparativa de Custos entre Edifícios Residenciais de Quatro Pavimentos Utilizando Alvenaria Estrutural e Estrutura Mista de Concreto e Aço*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Campinas.
- Brentano, L.I., 2010. *Estudo Comparativo de Custos para uma Estrutura em Concreto Pré-moldado e Moldado in Loco*. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Estado do Mato Grosso.
- Brumatti, D., 2008. *O Uso de Pré-Moldados: Estudo e Viabilidade*. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais.
- Buchanan, A.H., 2001. *Structural Design For Fire Safety*. 1 ed. Chichester: Wiley.
- Cardoso, S.O., 2014. *Estudo Comparativo entre Estrutura Metálica e Estrutura Pré-moldada*. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Planalto Catarinense.
- Chaves, M.R., 2007. *Avaliação do Desempenho de Soluções Estruturais para Galpões Industriais Leves*. Trabalho de conclusão de curso de Pós-graduação de Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto.
- COSIPA, 2013. *Uso do Aço na Construção Civil*. Companhia Siderúrgica Paulista, São Paulo.
- Cozza, E., 1998. Uma Nova Era para o Aço. *Téchne: Revista de Tecnologia da Construção*, vol. 7, n. 36, pp. 18-23.
- Dias, L.A.M., 2000. *Estruturas de aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem*. 1 ed. São Paulo: Ziguarte.

- El Debs, M. K., 2000. *Concreto Pré-moldado: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Edusp.
- IOPES., 2015. *Tabelas de Custos Referenciais*. Instituto de Obras Públicas do Estado do Espírito Santo.
- Liubartas, D., Silva, E.A.S.B., Santos, E.A.M., Silva, J.E., Formigoni, A., 2015. A sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas. *Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 3, n.1, pp. 92-110.
- Mattos, A.D., 2014. *Como Preparar Orçamentos de Obras*. 2 ed. São Paulo: PINI.
- Mehta, P. K., Monteiro, P.J.M, 1994. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1 ed. São Paulo: PINI.
- Melo, C.E.E., 2004. *Manual de Projetos em Concreto Pré-fabricado*. São Paulo: PINI.
- Migliore, G., 2008. *Dimensionamento e Utilização de Laje Alveolar Protendida*. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil - Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos.
- Nardin, S., Souza, A.S.C., Perreira, M.F., Serafim, J.A., 2012. Análise Comparativa de Soluções de Pilares para Galpões: Pilares de Aço, Pré-moldados e Mistos de Aço e Concreto. *ConstruMetal 2012: Congresso Latino-Americano da Construção Metálica*, pp.1-24.
- Neto, S.R., Serra, S.M.B., Ferreira, M.A., 2010. Logística no Transporte e Montagem de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto. *4º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado Sustentável*, pp.1-12.
- Perdrix, M.C.A., 1992. *Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras*. São Paulo: PINI.
- Philippsen, R., 2011. *Manifestações Patológicas Oriundas do Processo Produtivo de Elementos Pré-Moldados de Concreto Armado*. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- PINI., 2014. *Tabela de Composição de Preços para Orçamentos*. São Paulo.
- Salgado, R.A., Calenzani, A.F.G., Ferreira, W. G., 2013. Análise Estrutural e Dimensionamento de Vigas de Rolamento de Aço de Acordo com a NBR 8800:2008. *Cilamce 2013 – XXXIV Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering*, pp. 1-20.
- Santos, A.P., 2010. *Análise Estrutural de Galpões Atirantados de Concreto e Concreto Pré-fabricado*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas – Universidade Federal de São Carlos.
- Veríssimo, G. S., César, K.M.L., 1998. *Concreto Protendido: Fundamentos Básicos*. 4 ed. Viçosa: UFV.