

Análise de sistemas estruturais arqueados em aço para centros esportivos

Analysis of arch steel structural systems for sports centers

Fabício Costa Silva(1); Gregório Sandro Vieira(2)

1 Engenheiro Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

E-mail: fabricao_costa_silva@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4263-6221>

2 Doutor em Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

E-mail: gregorio.vieira@ufu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7771-005X>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 5, n. 2, p. 20-34, Jul.-Dez. 2018 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Dezembro 22, 2017; Aceito: Outubro 31, 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i2.2352>

Endereço correspondente / Correspondence address

Universidade Federal de Uberlândia, Centro de Ciências
Exatas e Tecnologia, Faculdade de Engenharia Civil. Bl Y1,
Santa Mônica
38400902 - Uberlândia, MG - Brasil

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*
Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

Neste trabalho, foi realizado um estudo da variação de parâmetros de estruturas para coberturas curvas com intuito de avaliar mudanças na taxa de consumo de aço. Diversos modelos foram concebidos com diferentes geometrias e condições de vinculação. Em um primeiro momento, esses modelos foram divididos em três grupos ou sistemas estruturais, com o objetivo de determinar o mais eficiente do ponto de vista de massa da estrutura. Em seguida, o grupo que apresentou o melhor desempenho foi analisado com uma quantidade maior de dados. O dimensionamento estrutural foi realizado através do programa computacional STRAP® e com base nas prescrições dispostas na norma técnica ABNT NBR 8800:2008. Calculados os modelos, verificou-se que a taxa de aço pode sofrer grandes variações de uma geometria para outra e, em um mesmo sistema, varia consideravelmente em relação ao vão e ao espaçamento entre os pórticos. Para determinadas condições de vinculações e um determinado vão, observou-se que a utilização de pequenos espaçamentos entre pórticos com o intuito de diminuir o carregamento sobre cada quadro curvo pode ocasionar grandes taxas de aço. Averiguou-se que esse fenômeno se dá em decorrência da limitação da esbeltez de peças comprimidas. Por outro lado, grandes espaçamentos resultam em grandes áreas de influência que, por sua vez, exigem seções maiores para resistirem aos esforços solicitantes. Assim, existe um espaçamento intermediário que fornece a menor taxa de consumo de material, possibilitando a elaboração de projetos estruturais mais econômicos.

Palavras-chave: Estruturas arqueadas. Estruturas em aço. Arcos. Taxa de aço.

Abstract

In this work, a study of the variation of the parameters of structures for curved roofs was carried out in order to evaluate changes in the rate of steel consumption. Several models have been designed with different geometries and bonding conditions. At first, these models were divided into three groups or structural systems, in order to determine the most efficient from the mass point of view of the structure. Then, the group that presented the best performance was analyzed with a larger amount of data. Structural design was performed using the STRAP® software and based on the requirements of the technical standard ABNT NBR 8800:2008. Calculating the models, it has been found that the steel rate can vary greatly from one geometry to another and, in the same system, it varies considerably with respect to span and spacing between porticos. For certain support conditions and a certain span, it was observed that the use of small spacing between porticos in order to decrease the load on each curved frame can lead to high steel rates. It has been found that this phenomenon occurs due to the limitation of the slenderness of compressed members. On the other hand, large spacing results in large surrounding areas that, in turn, require larger sections to resist soliciting stresses. Thus, there is an intermediate or optimal spacing that offers a lower rate of material consumption, allowing for the elaboration of more economical structural projects.

Keywords: Arch structures. Steel structures. Arches. Steel rate.

1 Introdução

Os estádios e centros esportivos fazem parte da vida dos brasileiros e estão presentes em praticamente todo o mundo. Eles simbolizam as paixões esportivas vivenciadas por todos os povos. Esses tipos de construção chamam a atenção pela sua beleza e impressão arquitetônica marcante, uma característica das estruturas arqueadas.

Estruturas em arco são utilizadas em diversos tipos de obra, tais como pontes, viadutos, estádios, centros esportivos, etc. Entretanto, seu impacto estético não é a única característica vantajosa desse sistema. Os arcos possuem uma forma que possibilita um ganho expressivo de desempenho estrutural.

Pensando nisso, o presente trabalho foi elaborado com o objetivo de analisar diferentes sistemas estruturais em aço em arco para centros esportivos. De maneira particular, estudou-se a variação da taxa de consumo de aço (massa estrutural por unidade de área projetada) dessas estruturas sob condições de projeto.

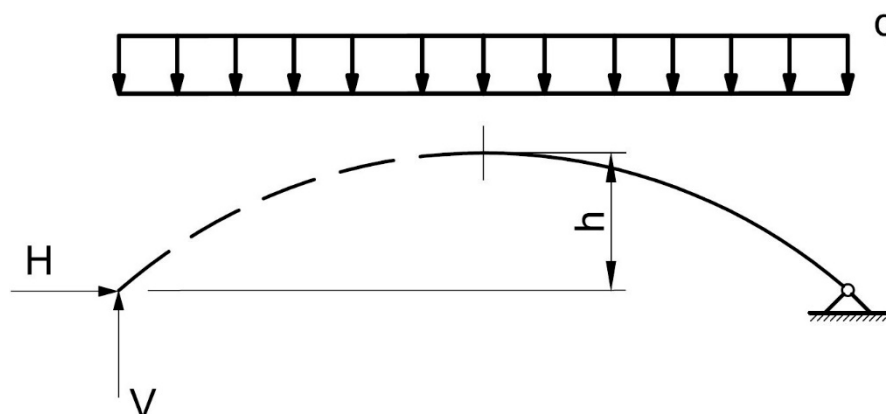
Das numerosas variáveis presentes em um projeto de estruturas em aço, optou-se pela abordagem de duas bastante características em projetos de centros esportivos e até mesmo de galpões industriais: espaçamento entre pórticos ou quadros curvos e vão principal.

Nesse sentido, cita-se o trabalho do mestre em engenharia civil Nogueira (2009), que analisou a variação da taxa de aço em arcos treliçados, entre outras tipologias de galpões industriais. Já no campo das grandes obras, Oliveira e Galgoul (2012) realizaram um estudo comparativo da taxa de aço em sistemas estruturais treliçados e em cabo. Todos esses trabalhos evidenciam a importância da concepção estrutural. Eles fornecem informações valiosas a profissionais envolvidos em projetos de centros esportivos e estádios.

1.1 Arcos

Segundo Leet *et al.* (2009), os arcos são membros fortemente solicitados em compressão direta normalmente sob seu peso próprio. Para estar em compressão pura, e em um estado de tensão eficiente, o arco deve ser projetado de modo que a resultante das forças internas de cada seção passe pelo centroide.

O sistema viga-pilar convencional é caracterizado pela presença de grandes momentos fletores, principalmente em barras horizontais e placas. Uma das grandes vantagens dos elementos estruturais em forma de arco é o fato de eles possibilitarem uma minimização dos efeitos da flexão (SEWARD, 2009). A presença de empuxos nas nascenças ou apoios do arco geram uma componente horizontal que atua em sentido contrário ao do momento fletor da seção em análise. A Figura 1 ilustra esquematicamente o funcionamento dos arcos.

Figura 1. Esquema estático do funcionamento de arcos

Fonte: Autor, 2017.

A teoria dos arcos é fundamentada no teorema geral dos cabos. Os cabos são elementos que não possuem rigidez à flexão. Logo, estão submetidos a esforços resultantes que passam pelo centroide da seção, paralelamente ao seu eixo. O teorema geral dos arcos pode ser expresso pela seguinte expressão:

$$M_z = Hh_z \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

- M_z : momento fletor em uma viga biapoiada
- H : empuxo na nascente do arco
- h_z : altura do arco em relação ao nível dos apoios

Assim, a partir da constatação do funcionamento dos cabos, foi possível inferir que os arcos poderiam se comportar de maneira semelhante. Enquanto aqueles trabalham à tração, estes trabalham à compressão.

Em arcos de geratriz parabólica (função quadrática), é possível anular completamente o momento fletor para um carregamento uniformemente distribuído específico. O mesmo não ocorre em arcos circulares. Apesar disso, os momentos fletos podem ser bastante reduzidos. Esse fato, aliado à maior facilidade de execução na obra, faz com que os arcos circulares sejam frequentemente utilizados.

2 Método

A análise foi dividida em duas etapas: a primeira busca estudar comparativamente três sistemas estruturais distintos, com diferentes condições de vinculações; a segunda etapa analisa detalhadamente a variação da taxa de aço para o sistema mais eficiente em termos de massa da estrutura. A Figura 2 mostra os três sistemas estruturais analisados na primeira etapa.

Figura 2. Sistemas estruturais analisados

Fonte: Autor, 2017.

Foram efetuadas modelagens computacionais tridimensionais de diversos arranjos estruturais através do uso do programa STRAP®, versão de 2009. A direção de maior inércia dos pilares foi orientada no sentido de menor inércia da edificação como um todo. Contraventos foram considerados nas extremidades dos modelos e a cada dois a três vãos, conforme a quantidade de pórticos. Na primeira etapa, foram elaborados vinte e sete modelos. Na segunda, trinta e seis.

Para efeito de cálculo das ações do vento, foi considerada a velocidade básica de 34 m/s; fator topográfico S1 igual a 1,00; fator S2 de 0,88 e; fator estatístico S3 igual a 1,00, de acordo com características específicas dos modelos. Conforme estabelece a ABNT NBR 6123:1986, o vento foi considerado atuando nas direções 0° e 90°.

Assim, procurou-se obter soluções estruturais ótimas para distintas configurações geométricas, sendo que em todas as situações foram empregados arcos circulares.

2.1 Programa utilizado nas análises

O programa STRAP®, cuja abreviatura deriva de *Structural Analysis Program*, é um programa computacional israelense desenvolvido pela empresa *ATIR Engineering Software Development Ltda.* Esse programa foi utilizado no cálculo de todos os modelos.

Suas aplicações são várias como dimensionamento de estruturas em aço, mistas aço-concreto, concreto armado, concreto protendido dentre outros recursos. Possui uma interface prática e intuitiva, e possibilita a análise de estruturas 2D e 3D.

Neste trabalho, utilizaram-se os módulos referentes ao projeto de estruturas tridimensionais. Através desse programa computacional, foram determinados os diagramas de esforços solicitantes para diferentes combinações de ações, a saber: combinações últimas normais (considerando as diversas ações, como peso próprio estrutural, sobrecarga, temperatura etc.) e combinações de serviço. Em seguida, foram dimensionados os elementos estruturais.

2.2 Características geométricas dos modelos analisados

Entre os diversos parâmetros presentes em um projeto de estrutura em aço, optou-se por estudar o impacto causado na taxa de consumo de aço devido a duas

grandezas pré-estabelecidas, quais sejam: espaçamento entre quadros curvos (pórticos) e vão principal. A Figura 3 ilustra as grandezas supracitadas, bem como aquelas que se mantiveram inalteradas.

Figura 3. Variáveis envolvidas na análise



Fonte: Autor, 2017.

A tabela 1 traz as características geométricas dos modelos da primeira etapa.

Tabela 1. Características geométricas dos modelos analisados

Modelo	Vão (m)	Profundidade (m)	Espaçamento (m)	Flecha (m)	Altura total (m)	Raio de curvatura (m)	Relação prof./vão	Relação flecha/vão
A 25x36x6	25	36	6	4,0	12,0	21,53	1,44	0,16
A 25x36x9	25	36	9	4,0	12,0	21,53	1,44	0,16
A 25x36x12	25	36	12	4,0	12,0	21,53	1,44	0,16
B 30x36x6	30	36	6	4,8	12,8	25,84	1,20	0,16
B 30x36x9	30	36	9	4,8	12,8	25,84	1,20	0,16
B 30x36x12	30	36	12	4,8	12,8	25,84	1,20	0,16
C 35x36x6	35	36	6	5,6	13,6	30,14	1,03	0,16
C 35x36x9	35	36	9	5,6	13,6	30,14	1,03	0,16
C 35x36x12	35	36	12	5,6	13,6	30,14	1,03	0,16

Fonte: Autor, 2017.

2.3 Ações consideradas

2.3.1 Ações permanentes

As ações permanentes decorrentes do peso próprio estrutural foram calculadas pelo programa computacional STRAP®, em função dos perfis empregados. O peso próprio de elementos de ligação e acessórios (chapas, parafusos, correntes etc.) foi considerado através da majoração em 5 % do peso próprio estrutural total.

O peso das telhas da cobertura foi obtido através de catálogos de fabricantes, considerando um espaçamento entre terças constante para todos os modelos e igual a 2,0 m. Para telha em aço trapezoidal de 0,65 mm de espessura, o peso é de aproximadamente 0,06 kN/m².

2.3.2 Sobrecarga

De acordo com recomendações presentes no anexo B da ABNT NBR 8800:2008, deve-se considerar uma sobrecarga característica mínima de 0,25 kN/m² em coberturas em aço comuns. Essa prescrição busca prever eventuais cargas oriundas de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamentos térmico e acústico e de pequenas peças fixadas na cobertura.

2.3.3 Forças devidas ao vento

Para cálculo das pressões estáticas em abóbadas cilíndricas, foram consideradas as prescrições normativas da ABNT NBR 6123:1988 (especialmente as resoluções dispostas em seu Anexo E).

A ação do vento foi considerada nas duas direções da edificação (0° e 90°), bem como o efeito de ponta nas bordas da cobertura. Todos os modelos foram considerados fechados por paredes em seu perímetro.

Devido à necessidade de complementação de informações para o cálculo das forças devidas ao vento em abóbadas cilíndricas, foram considerados as orientações do professor Joaquim Blessmann, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Essas orientações se encontram em suas obras *O vento na engenharia estrutural* (BLESSMANN, 1995), e *Ação do vento em telhados* (BLESSMANN, 1991).

2.3.4 Temperatura

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, recomenda-se a adoção de um valor considerando 60 % da diferença entre as temperaturas médias máxima e mínima, no local da obra, com um mínimo de 10 °C. Em muitas cidades brasileiras, ao longo do ano, as temperaturas médias mensais variam pouco. Assim sendo, foi considerado uma variação de temperatura positiva na direção axial das barras de 10 °C.

2.4 Dimensionamento

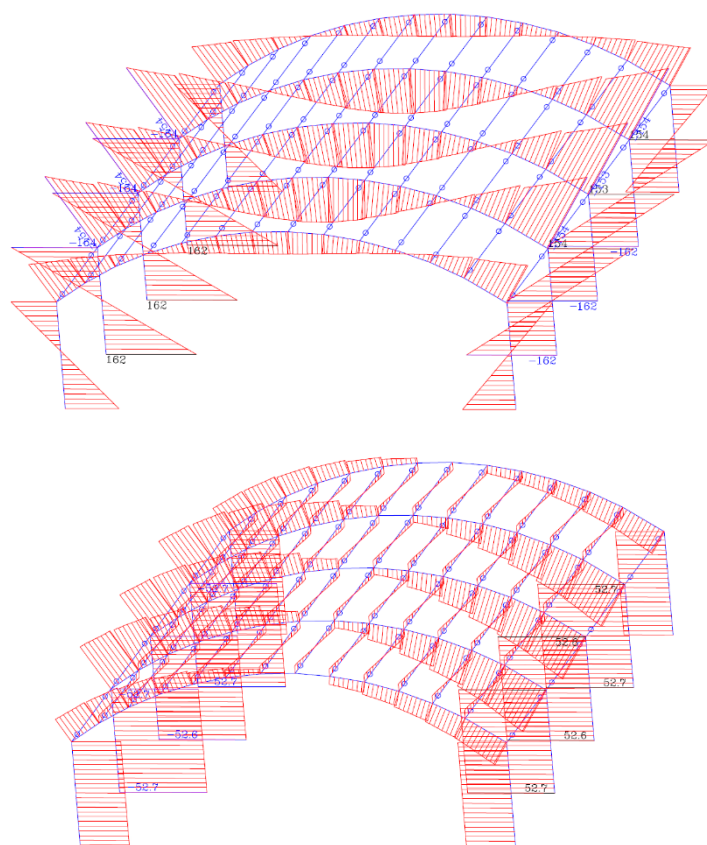
Definidas as características geométricas principais dos modelos, bem como estimadas as forças atuantes, deu-se início à análise estrutural e dimensionamento dos elementos.

No dimensionamento estrutural, foram considerados perfis laminados do tipo “I” de alma cheia para a estrutura principal (colunas e arcos) e perfis formados a frio do tipo U enrijecido para as terças (perfil duplo U enrijecido e soldado de frente). Entretanto, salienta-se que o programa computacional STRAP® realiza o dimensionamento de perfis laminados e soldados através da norma brasileira (ABNT NBR 8800:2008) e utiliza a norma americana (AISI S100:2007 - *Method for cold-formed steel structural members*) na determinação dos perfis formados a frio. Ambas as normas foram utilizadas neste trabalho.

Em suma, as normas ABNT NBR 8800:2008, ABNT NBR 6123:1988, ABNT NBR 6120:1980, ABNT NBR 8681:2003 e AISI S100:2007 foram os documentos técnicos basilares para a elaboração deste trabalho.

A Figura 4 apresenta o diagrama de momento fletor e esforço cortante de uma das combinações do modelo A 25x36x9 do sistema 2 (quadro curvo contínuo engastado). Observação: os contraventos foram suprimidos da imagem para melhorar a representação dos diagramas de esforços.

Figura 4. Diagrama de momento fletor (imagem superior) e esforço cortante



Fonte: Autor, 2017.

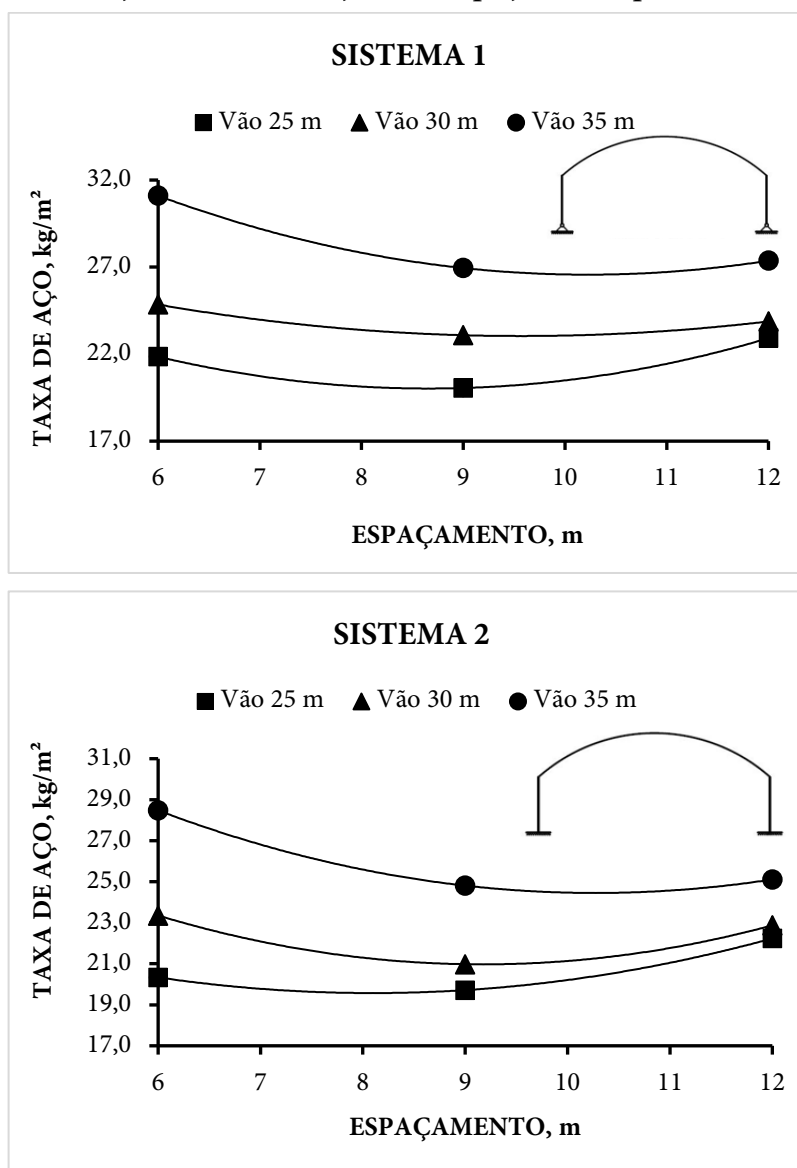
3 Resultados e Discussões

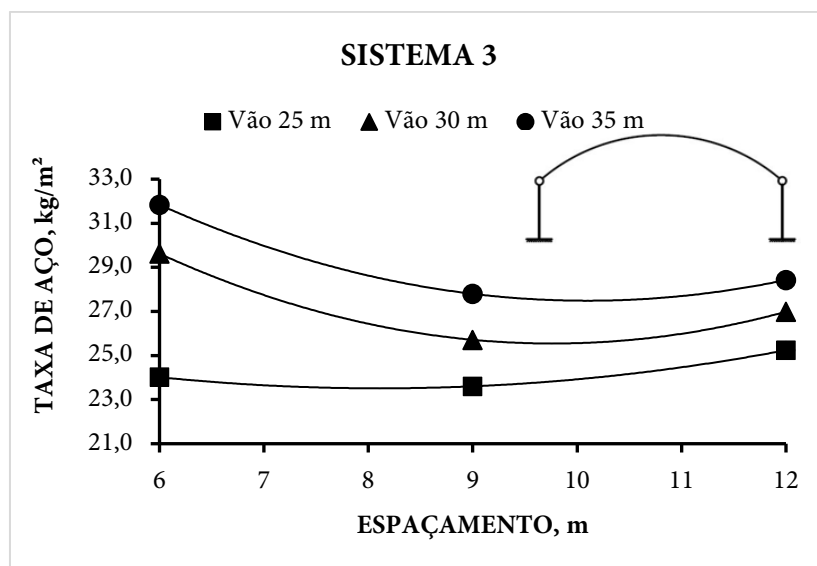
Após o dimensionamento dos modelos, os resultados foram tratados em forma de tabelas e gráficos. Buscou-se avaliar comparativamente os três sistemas estruturais de modo a selecionar o mais econômico do ponto de vista de massa estrutural. Após essa etapa, o melhor sistema foi analisado de maneira mais detalhada, com configurações ou arranjos adicionais, possibilitando a obtenção de resultados mais precisos.

3.1 Primeira etapa

O gráfico 1 mostra os resultados obtidos na primeira etapa para os três sistemas analisados.

Gráfico 1. Variação da taxa de aço com espaçamento para o sistema 1





Fonte: Autor, 2017.

Ao se observar os resultados obtidos, foi notado que, na maioria dos modelos, aqueles de espaçamento entre pórticos de 6 metros apresentaram a maior taxa de consumo de aço. Apesar de cada pórtico possuir uma menor área de influência, observa-se que há uma maior concentração de pórticos no sentido longitudinal da estrutura. Assim, a diminuição da massa da estrutura não se faz na mesma proporção da diminuição do espaçamento entre quadros curvos.

Um dos principais motivos dessa perda de rendimento para modelos de espaçamento de 6 metros está na consideração da esbeltez das peças. Um dos critérios de dimensionamento a ser verificado é a limitação da esbeltez de peças comprimidas e tracionadas.

O índice de esbeltez máximo é de 200 para peças comprimidas, e de 300 para peças tracionadas. Deste modo, para um mesmo vão, existem seções mínimas para que esses valores sejam respeitados. O problema passa a ter um caráter geométrico. Por exemplo, se é prescrito normativamente que um pilar tenha uma esbeltez máxima de 200, mesmo que esse pilar esteja submetido a pequenas forças de compressão, terá que respeitar esse critério. Essa restrição busca resguardar a segurança estrutural frente a possibilidade de instabilidades.

Essa ocorrência se dá em modelos de pequeno espaçamento entre pórticos. Apesar de a área de influência de cada pórtico diminuir, o vão extenso impossibilita a diminuição das seções na mesma proporção.

Outro fato constatado foi a consequência da adoção de seções idênticas ou repetidas (por exemplo, é uma prática comum adotar seções iguais para todas as colunas das edificações em prol da produtividade na fabricação e montagem da estrutura). A distribuição desigual dos esforços ao longo da estrutura, especialmente devido às forças de vento, faz com que haja uma diminuição considerável do

rendimento das terças em particular. Terças próximas à ação do vento do vento a 0° e a 90° são mais solicitadas, gerando uma redução no aproveitamento das terças da região central da cobertura. Poder-se-ia trabalhar com diversos perfis diferentes para as terças e obter um menor peso estrutural total. Entretanto, esse procedimento não é comumente praticado em projetos de porte médio, pois diminui a produtividade em obra e aumenta o risco de erros.

Já os modelos com espaçamento de 9 metros apresentaram a melhor eficiência em todos os casos analisados. Para um mesmo vão, o modelo com espaçamento de 12 metros possui terças mais solicitadas e pesadas que transmitem esforços aos arcos em uma área de influência maior. Desse modo, há a ocorrência de grandes esforços e consequentemente de perfis mais pesados para os arcos e as colunas.

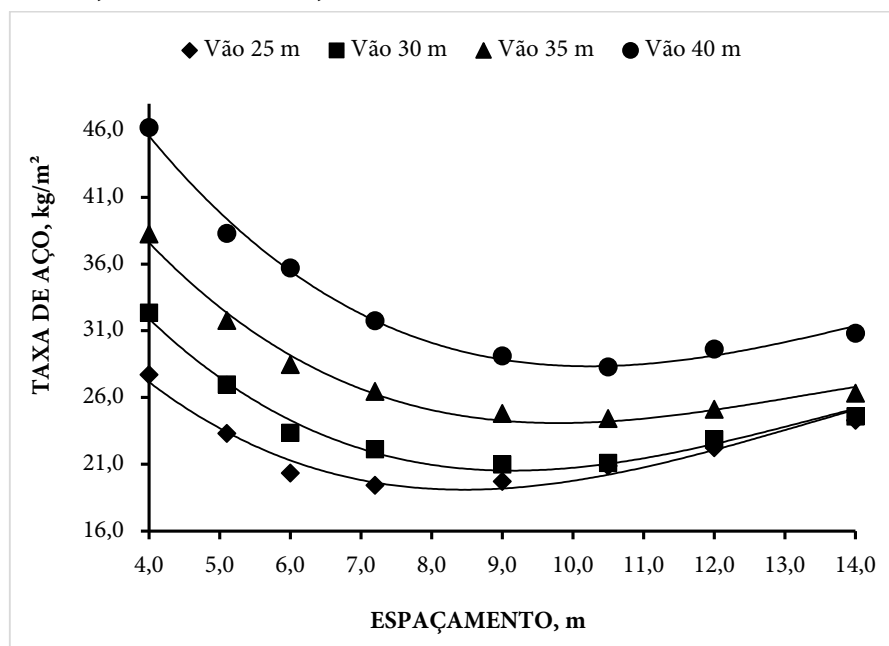
3.2 Segunda etapa

Como o sistema 2 (quadros curvos engastados) apresentou os melhores resultados do ponto de vista de massa estrutural, foram adicionados outros modelos intermediários para estudar a variação da taxa de aço de maneira mais precisa (modelos com espaçamento entre pórticos de 4,0m, 5,1m, 6,0m, 7,2m, 9,0m, 10,5m, 12,0m e 14,0m e vãos de 25m, 30m, 35m e 40m).

Nessa análise, o principal objetivo foi o de avaliar a variação da taxa de aço em relação ao espaçamento entre pórticos. Ao todo, foram calculados nove modelos para cada vão, perfazendo um total de trinta e seis modelos. O Gráfico 2 mostra os resultados obtidos na segunda etapa.

Observou-se que a taxa de aço passa por um ponto de mínimo para cada vão analisado. Nota-se que à esquerda do ponto correspondente ao espaçamento ótimo há uma tendência de crescimento rápido. Assim, a medida que se procura diminuir o espaçamento entre pórticos, ocorre um aumento acentuado da taxa de aço.

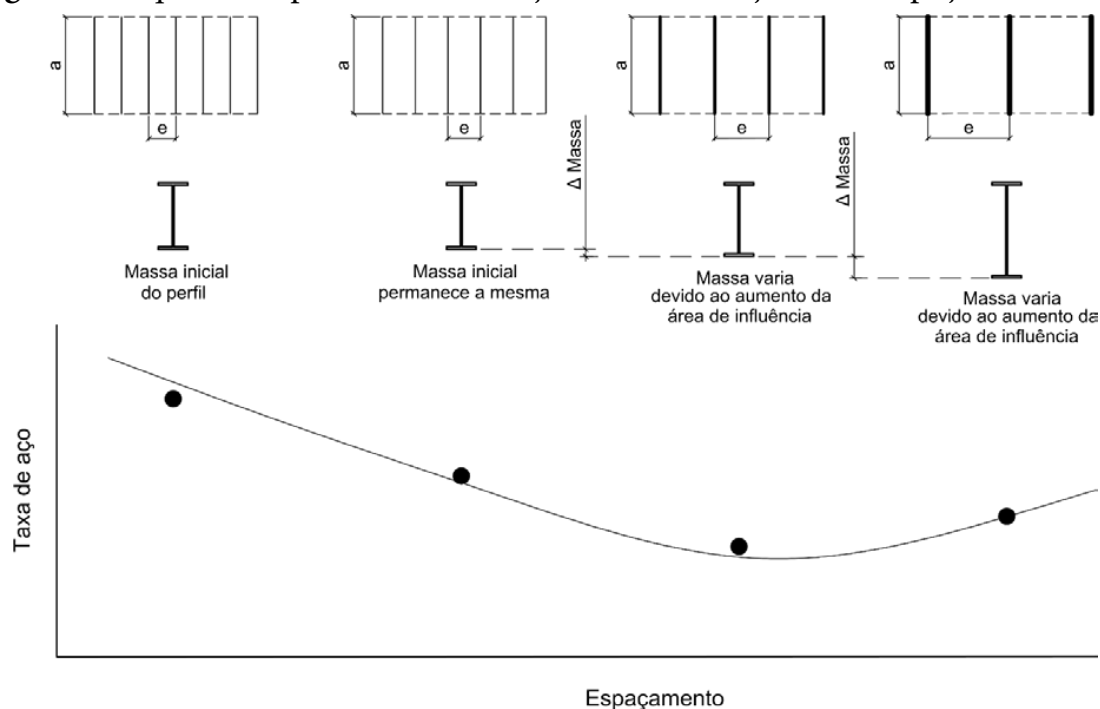
O uso de pequenos espaçamentos, como já mencionado, provoca alta concentração de peças de aço ao longo do comprimento. A diminuição da área de influência de cada quadro curvo não acompanha a redução das seções. Seções menores são muitas vezes limitadas pelo seu elevado índice de esbeltez, que deve ser restringido a valores máximos previsto em norma.

Gráfico 2. Variação da taxa de aço dos modelos do sistema 2 - análise detalhada


Fonte: Autor, 2017.

À direita do espaçamento ótimo, há pontos representados por modelos que possuem perfis “robustos”, de menor esbelteza. Os perfis são eficientemente utilizados e limitados por sua capacidade de resistir a solicitações. Entretanto, a massa estrutural total varia com o aumento da área de influência dada por um determinado espaçamento, causando crescimento na taxa de aço.

O processo supracitado é esquematicamente exemplificado na Figura 5.

Figura 5. Esquema do processo de variação da taxa de aço com o espaçamento


Fonte: Autor, 2017.

4 Considerações finais

Neste trabalho, demonstrou-se a importância do cálculo estrutural na economicidade de projetos de estruturas em aço para centros esportivos.

A escolha do sistema mais adequado às condições e critérios de projeto traz benefícios ao contratante de serviços de engenharia e ao executor desses serviços. Estruturas otimizadas possibilitam um menor consumo de material e consequente menor custo, sem prejudicar a segurança necessária.

Ao se analisar os resultados obtidos de três sistemas estruturais distintos para um vão de 30 m, por exemplo, observou-se que a taxa de aço variou entre 21 kg/m² e 30 kg/m². Esses valores mostram a importância da concepção estrutural.

O sistema 2 foi o mais eficiente do ponto de vista de menor massa da estrutura. A massa estrutural total variou entre 17,7 t e 35,9 t, correspondendo a taxas de aço de 19,7 kg/m² e 28,5 kg/m², respectivamente. Em contrapartida, o sistema 3 foi o de menor eficiência. A massa estrutural total desse sistema variou entre 21,2 t e 40,1 t, correspondendo a taxas de aço de 23,6 kg/m² e 31,8 kg/m², respectivamente.

Ao se analisar um dos sistemas concebidos com uma quantidade maior de dados, notou-se que a taxa de aço pode variar consideravelmente em relação ao espaçamento entre pórticos.

No sistema 2 de vão igual a 25 m, por exemplo, a taxa variou entre 19 kg/m² (espaçamento de aproximadamente 8 m) e 28 kg/m² (espaçamento de 4 m). Assim, diminuir o espaçamento entre pórticos com o intuito de minimizar as cargas sobre cada quadro curvo pode não ser a melhor solução. Por outro lado, utilizar grandes espaçamentos com o objetivo de diminuir a concentração de pórticos no sentido longitudinal da estrutura também pode levar a taxas de aço elevadas.

Assim, para cada vão analisado, existe um espaçamento ótimo que leva a uma taxa de aço mínima. Notou-se que, para o sistema 2, o espaçamento ótimo está compreendido em um intervalo de 7 m a 11 m, no sentido do menor para o maior vão.

Chegado ao término desta obra, espera-se que os resultados obtidos possam servir de referência para engenheiros e acadêmicos que possam vir a ter contato com estruturas em aço em arco.

Para engenheiros construtores e projetistas calculistas, os resultados apresentados podem auxiliar na escolha do sistema estrutural mais adequado na fase de concepção da estrutura. Podem também fornecer estimativas da taxa de aço que se adequem melhor ao projeto que estejam desenvolvendo.

Aos acadêmicos pesquisadores, salienta-se a importância de se aprimorar o presente trabalho com estudos novos ou complementares. Sugere-se, por exemplo, que seja realizado um estudo comparativo a respeito de diferentes sistemas estruturais. Assim, pode-se comparar arcos treliçados com arcos de seção variável ou até mesmo

vigas de eixo reto inclinadas, destacando o sistema mais eficiente do ponto de vista de consumo de material.

Agradecimentos

Agradeço à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia e a seu corpo docente pela contribuição imprescindível à realização desta obra.

Referências

- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. *AISI S100-2007: Method for cold-formed steel structural members*. American Iron and Steel Institute. Washington, DC, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. *NBR 6123: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1988.
- _____. *NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.
- BLESSMANN, J. *O vento na engenharia estrutural*. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
- BLESSMANN, J. *Ação do vento em telhados*. Porto Alegre: SAGRA, 1991.
- LEET, K. M.; UANG, C. M. *Fundamentals of structural analysis*. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 2009.
- NOGUEIRA, G. S. *Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio*. 2009. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- OLIVEIRA, E. P.; GALGOUL, N. S. *Consumo de aço em coberturas de estádios: sistema estrutural em treliça x cabos*. *Engenharia Estudo e Pesquisa*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 14-28, jan/jun. 2012.
- SEWARD, D. *Understanding structures: analysis, materials, design*. 4ª ed. New York: Palgrave Macmillan, 2009.