



**PÁGINA DE INTERNET PARA ANÁLISE DE ARCOS ESTRUTURAIS SEMICIRCULARES
SIMPLESMENTE APOIADOS**
WEB PAGE FOR THE ANALYSIS OF SIMPLY SUPPORTED SEMICIRCULAR STRUCTURAL ARCHES

Beatriz Carvalho Rosa
Graduanda em Engenharia Civil
IFSP/ Campus Votuporanga
carvalhorosabeatriz@gmail.com

Gustavo Cabrelli Nirschl
Mestre em Engenharia de Estruturas/ USP
IFSP/ Campus Votuporanga
nirschl@ifsp.edu.br

ARTIGO INFO. Recebido: 03.06.2025 Aprovado: 06.08.2025 Disponibilizado: 10.09.2025

RESUMO

Existem inúmeros programas de computador que realizam quase todos os cálculos de engenharia civil, mas a maioria mostra somente os resultados finais ou apenas alguns passos para se chegar até eles. Neste contexto, um grupo de pesquisa cadastrado no CNPq vem criando programas on-line que não só fazem cálculos, mas também demonstram todo o procedimento realizado. Neste trabalho, apresenta-se um ambiente gráfico para a análise e o dimensionamento de arcos estruturais semicirculares simplesmente apoiados. O ambiente gráfico contém a entrada de dados, onde o usuário define a geometria, as vinculações e as ações. O programa calcula os esforços da estrutura, gerando os diagramas de esforço normal, cortante e momento fletor. O desenvolvimento das aplicações do grupo, incluindo a aqui apresentada, é realizado nas linguagens HTML e JavaScript. Os cálculos mostraram-se exatos em relação a outro *software* e a geração do relatório completo em PDF é o grande diferencial alcançado.

Palavras-chave: Programa *on-line*; Arcos; Base gráfica; Análise estrutural.

ABSTRACT

There are numerous computer programs that perform almost all civil engineering calculations, but most only show the final results or just a few steps leading to them. In this context, a research group registered with CNPq has been developing online programs that not only perform calculations but also demonstrate the entire procedure. In this paper, a graphical environment is presented for the analysis and design of simply supported semicircular structural arches. The graphical environment includes a data input section, where the user defines the geometry, supports, and loads. The program calculates the structural forces, generating the normal force, shear force, and bending moment diagrams. The development of the group's applications, including the one presented here, is carried out using HTML and JavaScript. The calculations have proven to be accurate compared to other software and the generation of a complete report in PDF is the main distinguishing feature achieved.

Keywords: Online Program; Arches; Graphical Interface; Structural Analysis.

Introdução

Silva (2017) define os arcos como estruturas cujo elemento estrutural principal segue um eixo que possui formato curvo. Como exemplo de uma estrutura em arco construída, apresenta-se a figura 1.

Conforme Silva (2017), normalmente os arcos trabalham de maneira que os esforços de compressão sejam preponderantes. Isto acarreta uma diminuição dos efeitos da flexão, grandeza principal em estruturas de alcance horizontal, que buscam vencer grandes vãos.

A curvatura de um arco pode ser formada, segundo Silva (2017), por uma geratriz parabólica, circular, elíptica etc.

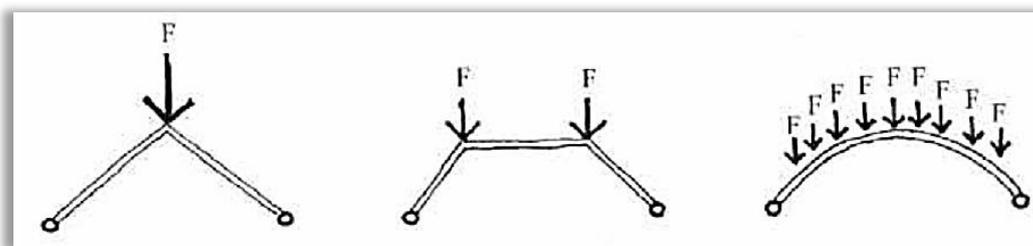
Figura 1: Exemplo de estrutura com arcos estruturais (centro esportivo da Universidade Federal de Uberlândia/MG).



Fonte: Comunica UFU (2016), citado por Silva (2017).

Segundo Sales (2005) e conforme ilustrações da figura 2, o arco, quando é um rebatimento do cabo (ou seja, quando sua forma é um polígono funicular para ações concentradas e uma catenária - ou parábola, por simplificação- para ações distribuídas), somente transmite esforço de compressão.

Figura 2: Arcos com formato do rebatimento do cabo equivalente, de acordo com as ações.



Fonte: Fay (2006).

A figura 3 mostra um exemplo de análise estrutural de um arco semicircular simplesmente apoiado submetido a uma ação concentrada, dado por Sussekind (1977). Com relação à nomenclatura das partes de um arco típico, considera-se a figura 4.

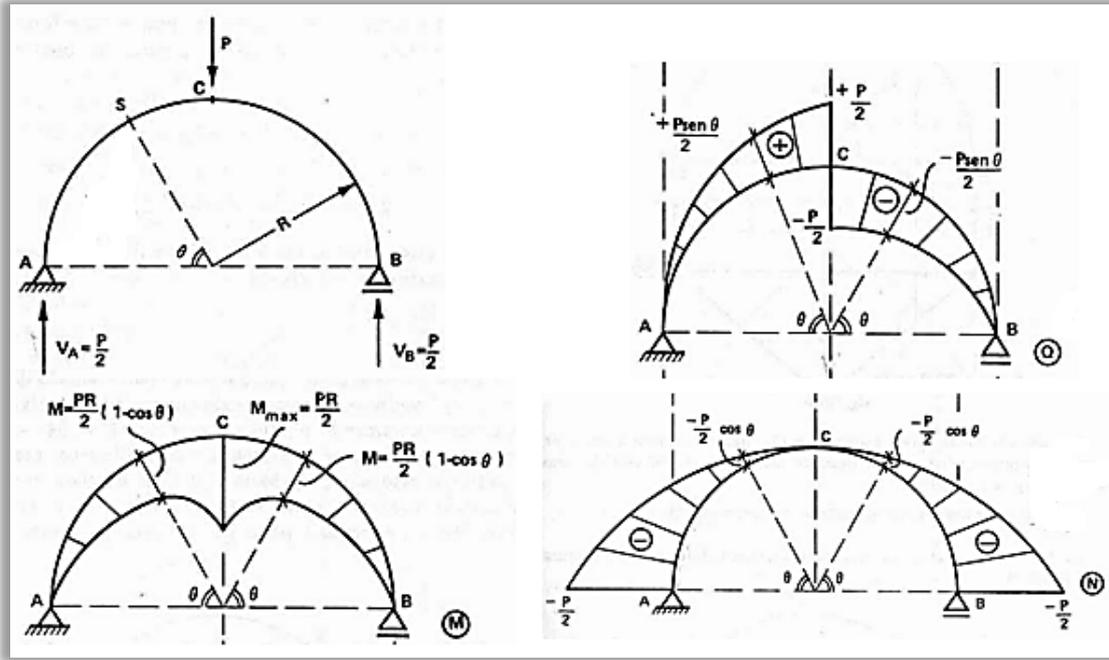
Segundo Silva (2017), o ponto mais alto do arco, mostrado como “fecho” na figura 4, é também chamado de *chave* do arco.

Além dos simplesmente apoiados (figura 5f), os arcos podem, de uma maneira geral, ser classificados em cinco tipos básicos, de acordo com Silva (2017) e Sales (2005): arco triarticulado (figura 5a), arco biengastado (figura 5b), arco biarticulado (figura 5c), arco atirantado (figura 5d) e arco biengastado com articulação intermediária (figura 5e).

Sales (2005) expõe que as seções transversais dos arcos típicos podem ser retangulares, em I, caixão ou treliçada, podendo também ser dimensionadas com seção variável.

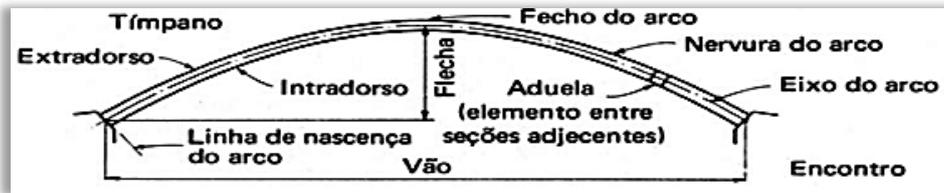
Diversos softwares, como RFEM 5 (DLUBAL (2022)), STRAP (2020) e STRUCTX (2022), estão disponíveis para a análise e dimensionamento de arcos, sendo utilizados tanto em ambientes comerciais quanto acadêmicos. No entanto, não demonstram todo o procedimento realizado.

Figura 3: Análise estrutural de um arco semicircular, resultando nos diagramas de esforço normal, cortante e momento fletor.



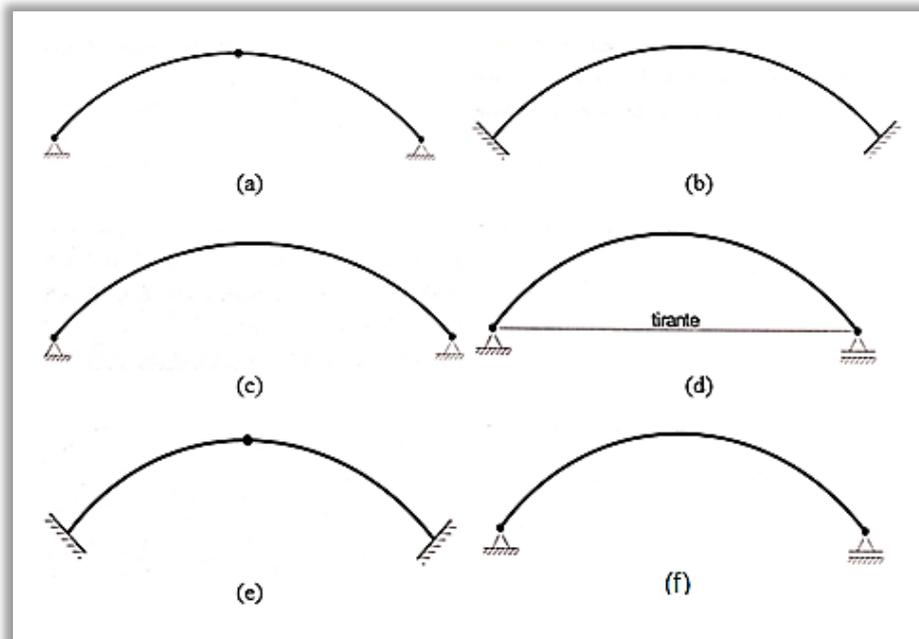
Fonte: Sussekind (1977).

Figura 4: Nomenclatura das partes de um arco típico.



Fonte: Adaptado de Calil Jr. et. al. (2006).

Figura 5: Tipos básicos de arco, de acordo com suas vinculações.



Fonte: Adaptado de Sales (2005).

Segundo Soriano (2014), em barras curvas no plano, o eixo geométrico da barra é tangente ao eixo de referência dos esforços seccionais. Dessa forma, o esforço normal atua ao longo desse eixo geométrico, enquanto o esforço cortante tem sua linha de ação passando pelo centro de curvatura da barra.

A partir do equilíbrio de um segmento infinitesimal da barra, sob a ação de forças transversais (qt) e axiais (p), obtêm-se relações diferenciais entre os esforços seccionais. Considerando um segmento diferencial ds , tem-se a equação de equilíbrio de momentos em relação a um ponto A, conforme apresentado na Figura 6.

Com a simplificação dos termos de ordem superior, chega-se à relação fundamental:

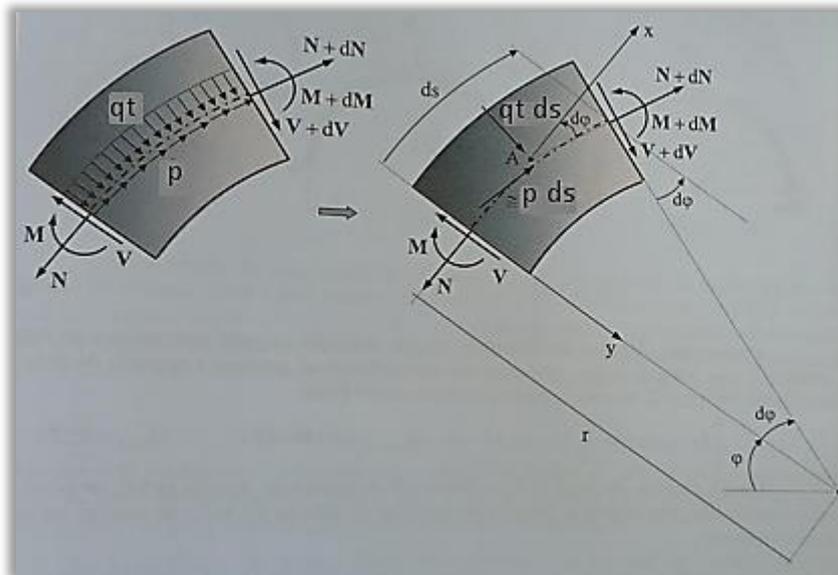
$$\frac{dM}{ds} = V \quad (1)$$

Em que, conforme a Figura 6, M representa o momento fletor, V o esforço cortante, e ds uma porção do comprimento do arco. Além disso, utilizando a relação $ds = r d\varphi$, em que r é o raio de curvatura e $d\varphi$ é a rotação da seção transversal, pode-se reescrever essa equação na forma:

$$\frac{1}{r} \frac{dM}{d\varphi} = V \quad (2)$$

Na figura 6, N é o esforço normal. Essas equações permitem descrever a variação dos esforços ao longo da estrutura em arco, sendo fundamentais para a análise de seu comportamento mecânico.

Figura 6: Elemento infinitesimal de barra curva em pórtico plano.



Fonte: Adaptado de Soriano (2014).

Metodologia

O que se apresenta neste artigo é a criação de um ambiente gráfico (disponibilizado *on-line* em <https://vtp.ifsp.edu.br/nev/lfestrut-arcos/lfestrut-arcos.html>), relacionado aos esforços de arcos semicirculares simplesmente apoiados.

A fundamentação teórica para o desenvolvimento do ambiente gráfico baseia-se em programação HTML/Javascript, especificamente utilizando o comando *Canvas*, conforme indicado em W3Schools (2020).

Para a formulação das equações utilizadas no cálculo dos esforços nos arcos, adotou-se o referencial teórico descrito por Soriano (2014). Para cada carga aplicada no arco, foram deduzidas as expressões dos esforços gerados — momento fletor, força cortante e força normal — considerando as diferentes configurações de apoio, com ênfase no arco simplesmente apoiado, que possui um apoio fixo e outro móvel, cuja ordem pode ser definida pelo usuário. Os cálculos foram realizados com base no equilíbrio das forças, com a dedução das equações necessárias para determinar cada esforço ao longo dos pontos fornecidos pelo usuário, de acordo com a carga aplicada.

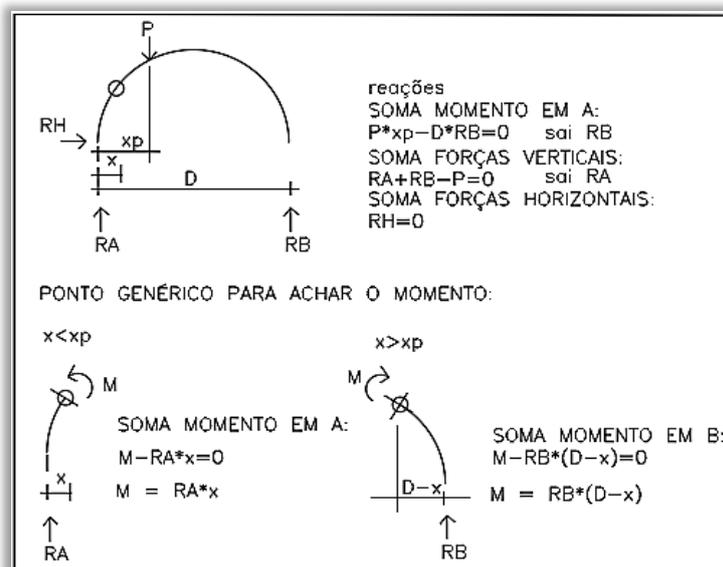
A seguir, serão apresentadas as equações utilizadas para a geração de cada diagrama com os valores dos esforços, juntamente com as respectivas deduções realizadas.

- **Momento fletor:**

Para as cargas aplicadas em qualquer ponto do arco, a uma distância “ x_p ” do vínculo esquerdo, conforme a figura 7, foram consideradas as condições de equilíbrio estático, onde a soma das forças horizontais deve ser zero, a soma das forças verticais deve ser zero e a soma dos momentos em relação a um ponto específico também deve ser zero, como pode ser observado nas figuras 7 a 11.

Para a carga concentrada na vertical, na mudança de ordem dos vínculos (apoio móvel na esquerda ou na direita), não há alteração nas equações, portanto foi feita a dedução apenas para apoio fixo à esquerda e móvel à direita, sendo esses os pontos A e B, respectivamente, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7: Equilíbrio estático e cálculo do momento fletor gerado por uma carga vertical concentrada.



Fonte: A própria autora.

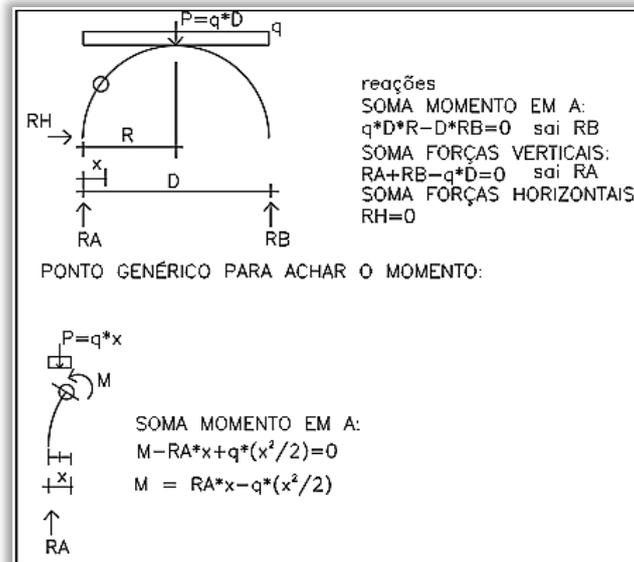
Após realizar o equilíbrio estático da estrutura, escolhemos uma seção específica onde desejamos calcular o momento fletor. Em seguida, realizamos um “corte imaginário” nesse ponto, dividindo a estrutura em duas partes. Para a carga pontual aplicada no arco, foram escolhidas duas seções, uma antes do ponto de aplicação, localizado em x_p , e uma depois do ponto de aplicação, como pode ser observado na Figura 7, sendo a distância x , a distância a partir do vínculo esquerdo.

Analisamos uma dessas partes como um corpo livre, considerando todas as forças externas e as reações de apoio. Para as cargas de momento e força vertical pontuais, como o corte foi feito antes e depois do ponto de aplicação da ação, as cargas aplicadas não estão incluídas. A análise para ação vertical distribuída é mostrada na Figura 8.

Para a carga pontual na direção horizontal aplicada sobre o arco, o diagrama de momento fletor varia de acordo com a ordem dos vínculos escolhidos para o arco biarticulado, pois o valor de reação horizontal do apoio fixo não vale zero, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

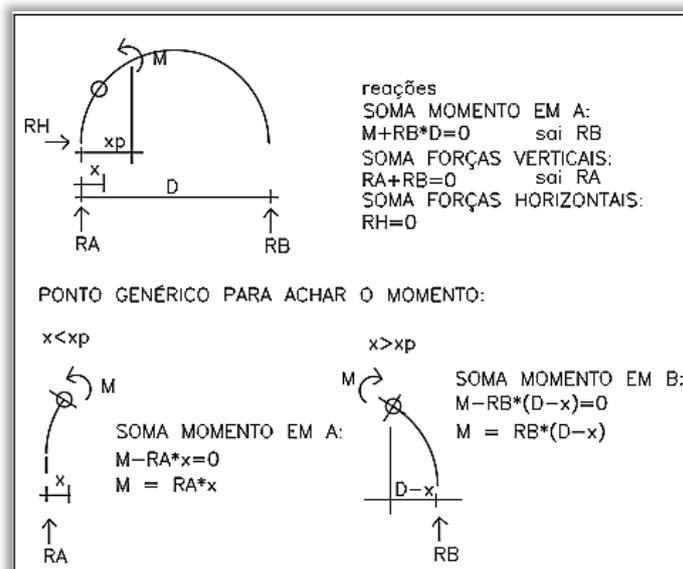
Na realização do somatório dos momentos, consideramos positivo o momento tracionando a parte inferior do arco.

Figura 8: Equilíbrio estático e cálculo do momento fletor gerado por uma carga uniformemente distribuída.



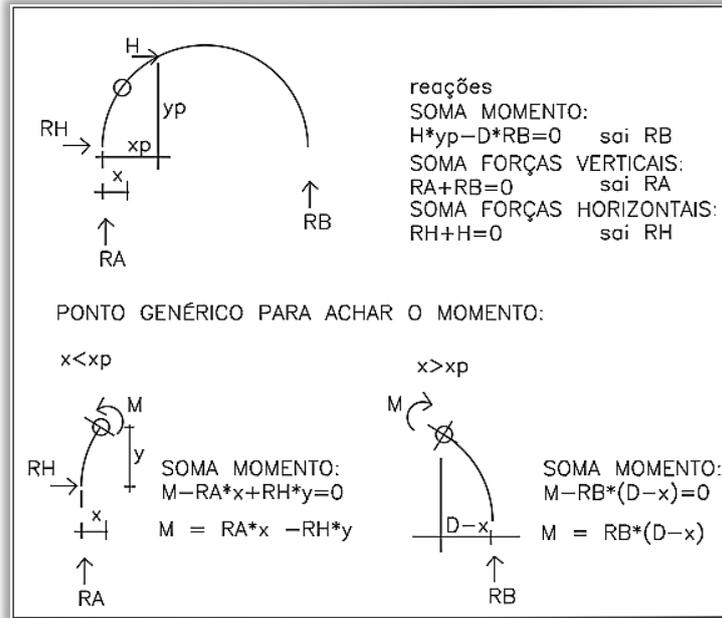
Fonte: A própria autora.

Figura 9: Equilíbrio estático e cálculo do momento fletor gerado por uma carga de momento concentrado.



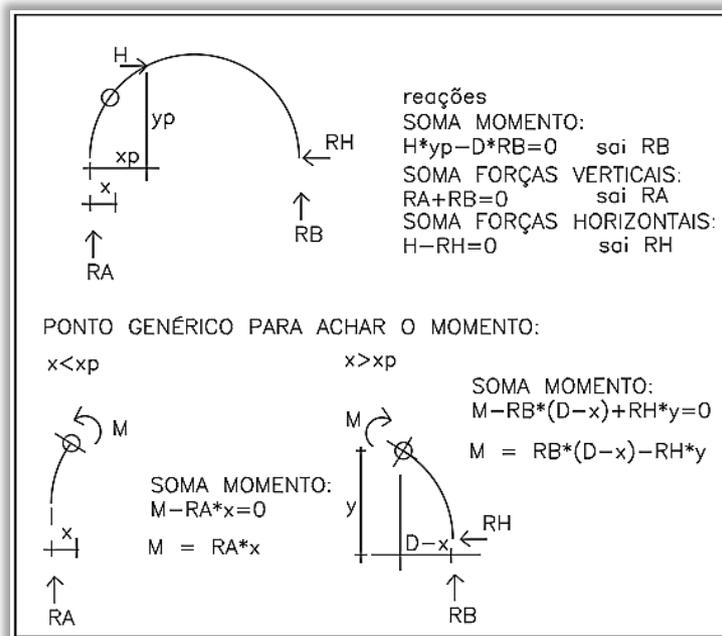
Fonte: A própria autora.

Figura 10: Equilíbrio estático e cálculo do momento fletor gerado por uma carga concentrada na horizontal com apoios fixo em A e móvel em B.



Fonte: A própria autora.

Figura 11: Equilíbrio estático e cálculo do momento fletor gerado por uma carga concentrada na horizontal com apoios fixo em B e móvel em A.



Fonte: A própria autora.

Nas Figuras 7 a 11, as variáveis representadas são: q, carga uniformemente distribuída; P, carga pontual vertical; M, momento concentrado; H, carga pontual horizontal; x, coordenada no eixo horizontal correspondente ao ponto em análise; xp, coordenada no eixo horizontal correspondente ao ponto de aplicação da carga; y, coordenada no eixo vertical correspondente ao ponto em análise; yp, coordenada no eixo vertical correspondente ao ponto de aplicação da carga; R, raio do arco; D, diâmetro do arco; RA, reação de apoio vertical no ponto A; RB, reação de apoio vertical no ponto B; e RH, reação de apoio horizontal.

Aplicando as equações de reações e fazendo as manipulações necessárias, as equações de momento fletor usadas no programa, de acordo com cada carga e a localização em relação ao ponto da carga, estão descritas na sequência.

Carga uniformemente distribuída q

$$M(x) = q * x * \left(R - \frac{x}{2}\right) \quad (3)$$

- **Para $x < xp$:**

Carga pontual vertical P

$$M(x) = x * P * \left(\frac{-xp}{D} + 1\right) \quad (4)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio fixo – apoio móvel

$$M(x) = (H * y) - \left(\frac{H * yp}{D} * x\right) \quad (5)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio móvel – apoio fixo

$$M(x) = \frac{-H * yp * x}{D} \quad (6)$$

Momento concentrado M

$$M(x) = \frac{M}{D} * x \quad (7)$$

- **Para $x > xp$:**

Carga pontual vertical P

$$M(x) = \left(\frac{P * xp}{D}\right) * (D - x) \quad (8)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio fixo – apoio móvel

$$M(x) = \left(\frac{H * yp}{D}\right) * (D - x) \quad (9)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio móvel – apoio fixo

$$M(x) = \left(\frac{H * yp}{D}\right) * (D - x) - (H * y) \quad (10)$$

Momento concentrado M

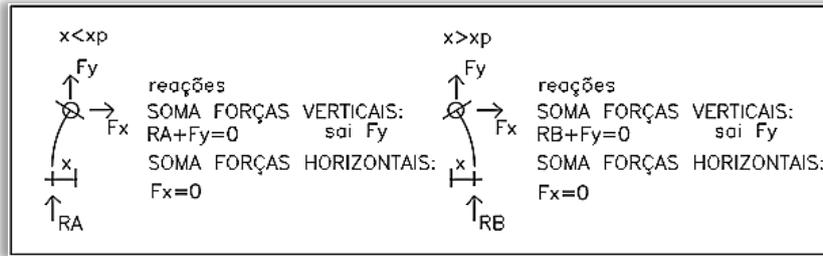
$$M(x) = \frac{-M}{D} * (D - x) \quad (11)$$

- **Cortante e Normal:**

De forma semelhante ao cálculo do momento fletor, os esforços cortante e normal foram determinados por meio do equilíbrio estático, considerando duas resultantes nas seções cortadas: uma componente vertical (F_y) e uma horizontal (F_x), conforme ilustrado na Figura 12. A partir dessas componentes, foram obtidos o esforço normal (N), representado pela componente tangente ao arco, e o esforço cortante (V), correspondente à componente perpendicular ao arco, como mostrado na Figura 12.

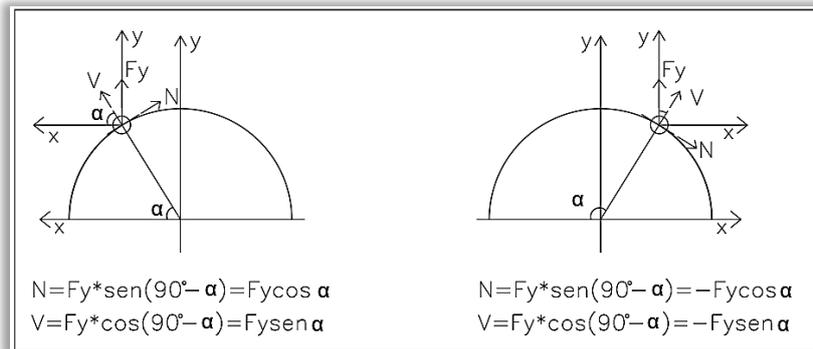
A convenção de sinais adotada estabelece que o esforço cortante é considerado positivo quando atua no sentido horário e negativo no sentido anti-horário. Para o esforço normal, foi definido que valores de tração são positivos, enquanto valores de compressão são negativos.

Figura 12: Equilíbrio estático para resultantes aplicadas em seções do arco, para ações verticais concentradas ou momento fletor concentrado.



Fonte: A própria autora.

Figura 13: Representação dos esforços normal (N) e cortante (V) em seções de um arco semicircular para ações verticais concentradas ou momento fletor concentrado.

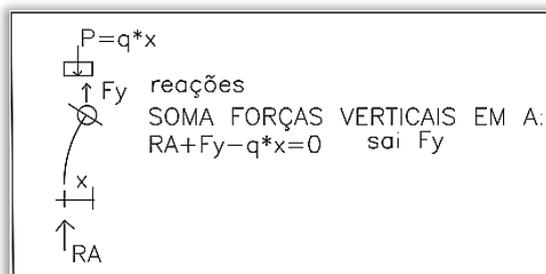


Fonte: A própria autora.

Na figura 13, alfa (α) é o ângulo, medido no sentido horário, entre o ponto em análise e o eixo horizontal (x). As ações pontuais verticais e de momento concentrado não possuem resultante F_x , então as equações dos esforços Normal e Cortante são os apresentados na dedução feita na Figura 13 com a parcela Vertical.

De maneira semelhante, o comportamento da carga distribuída também não gera componente horizontal. A Figura 14 mostra o cálculo de componente F_y para este caso, sendo os esforços normal e cortante dados pela Figura 13.

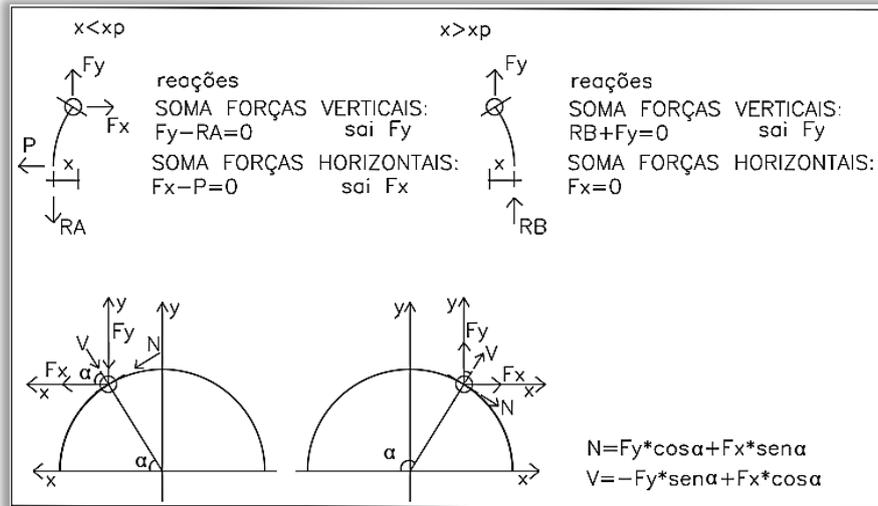
Figura 14: Equilíbrio de forças para uma seção de um arco com carga distribuída.



Fonte: A própria autora.

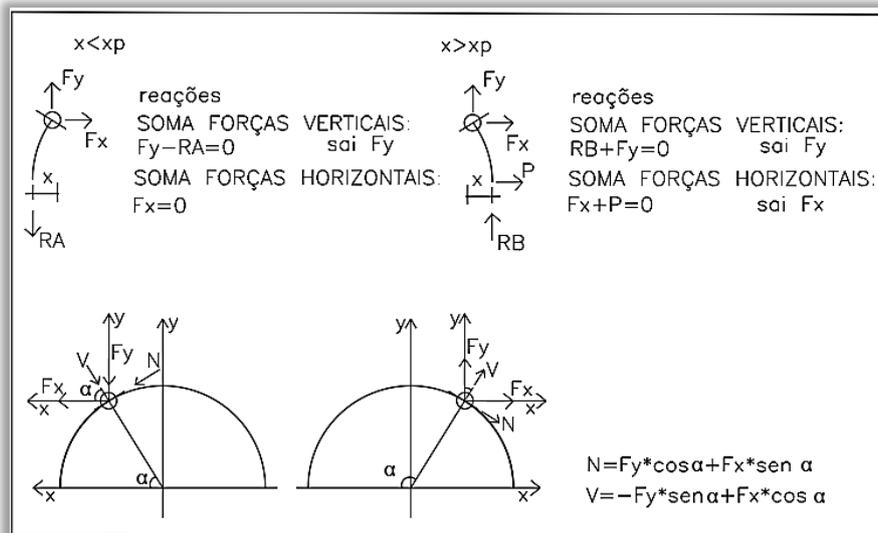
A carga pontual aplicada na direção horizontal gera uma componente também na direção horizontal, cujos valores resultantes variam conforme a disposição dos vínculos. Por isso, foi realizada a dedução para os dois possíveis casos de vinculação, como ilustrado nas Figuras 15 e 16.

Figura 15: Distribuição de Esforços Normais e Cortantes em Seções de um Arco Estrutural, devido a aplicação de carga concentrada na horizontal, com distribuição de vínculos fixo – móvel.



Fonte: A própria autora.

Figura 16: Distribuição de Esforços Normais e Cortantes em Seções de um Arco Estrutural, devido a aplicação de carga concentrada na horizontal, com distribuição de vínculos móvel – fixo.



Fonte: A própria autora.

Aplicando as equações das reações e fazendo as manipulações necessárias, as equações de esforço normal e esforço cortante utilizadas no programa, de acordo com cada tipo de carga e a localização em relação ao ponto de aplicação, estão descritas na sequência.

Embora algumas expressões, como $N(x)$ e $V(x)$, não apresentem x explicitamente, o ângulo α nelas presente depende de x , conforme definido na função 12. Assim, essas equações continuam sendo funções de x , ainda que de forma implícita.

$$\alpha(x) = \cos^{-1} \left(\frac{x}{R} \right) \tag{12}$$

Carga uniformemente distribuída q

$$N(x) = (q * x) - (q * R) * \cos(\alpha) \tag{13}$$

$$V(x) = -(q * x) - (q * R) * \sin(\alpha) \tag{14}$$

- Para $x < x_p$:

Carga pontual vertical P

$$N(x) = -P * \left(1 - \frac{xp}{D}\right) * \cos(\alpha) \quad (15)$$

$$V(x) = -P * \left(1 - \frac{xp}{D}\right) * \sin(\alpha) \quad (16)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio fixo – apoio móvel

$$N(x) = \left(\frac{H * yp}{D}\right) * \cos(\alpha) + H * \sin(\alpha) \quad (17)$$

$$V(x) = -\left(\frac{H * yp}{D}\right) * \sin(\alpha) + H * \cos(\alpha) \quad (18)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio móvel – apoio fixo

$$N(x) = \left(\frac{H * yp}{D}\right) * \cos(\alpha) + 0 * \sin(\alpha) \quad (19)$$

$$V(x) = -\left(\frac{H * yp}{D}\right) * \sin(\alpha) + 0 * \cos(\alpha) \quad (20)$$

Momento concentrado M

$$N(x) = \left(-\frac{M}{D}\right) * \cos(\alpha) \quad (21)$$

$$V(x) = \left(-\frac{M}{D}\right) * \sin(\alpha) \quad (22)$$

- Para $x > xp$:

Carga pontual vertical P

$$N(x) = P * \left(\frac{xp}{D}\right) * \cos(\alpha) \quad (23)$$

$$V(x) = P * \left(\frac{xp}{D}\right) * \sin(\alpha) \quad (24)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio fixo – apoio móvel

$$N(x) = \left(\frac{H * yp}{D}\right) * \cos(\alpha) + 0 * \sin(\alpha) \quad (25)$$

$$V(x) = -\left(\frac{H * yp}{D}\right) * \sin(\alpha) + 0 * \cos(\alpha) \quad (26)$$

Carga pontual horizontal H na configuração de apoio móvel – apoio fixo

$$N(x) = \left(\frac{H * yp}{D}\right) * \cos(\alpha) - H * \sin(\alpha) \quad (27)$$

$$V(x) = -\left(\frac{H * yp}{D}\right) * \sin(\alpha) - H * \cos(\alpha) \quad (28)$$

Momento concentrado M

$$N(x) = -\left(\frac{M}{D}\right) * \cos(\alpha) \quad (29)$$

$$V(x) = -\left(\frac{M}{D}\right) * \sin(\alpha) \quad (30)$$

Resultados

A criação do programa, disponibilizado em <https://vtp.ifsp.edu.br/nev/lfestrut-arcos/lfestrut-arcos.html>, foi realizada utilizando a linguagem HTML/Javascript (Figura 17), sendo que o arco é exibido em uma tela 2D. Quando o usuário insere os dados de geometria, rigidez e vínculos para o desenho do arco e clica no botão 'DESENHAR', a linguagem é utilizada para que o arco seja representado com o tamanho correto e em escala, facilitando a visualização e análise do comportamento estrutural, conforme ilustrado na Figura 17.

Para a inserção das ações no arco, o programa permite a adição de diferentes tipos de cargas. Os valores dessas cargas e suas respectivas coordenadas são armazenados em vetores, facilitando a manipulação matemática dos dados durante o processo de cálculo. Cada vetor

contém informações sobre a magnitude, a direção e a posição de cada carga, possibilitando a construção de diagramas de esforços. As ações disponíveis incluem força distribuída, força concentrada e momento concentrado, conforme demonstrado na Figura 17. Os botões 'ADICIONAR' permitem ao usuário inserir cargas no arco. É possível adicionar múltiplas ações concentradas, mas permite-se apenas uma ação distribuída.

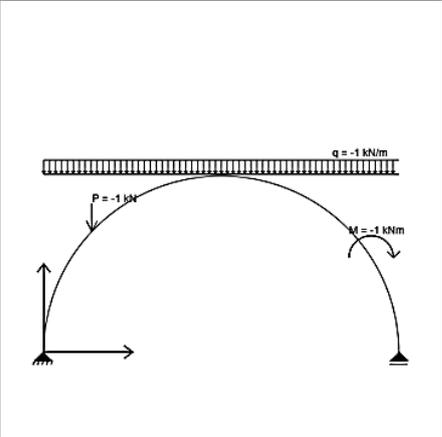
Os valores da rigidez do arco (momento de inércia da seção transversal, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson do material do arco) não foram utilizados nos cálculos deste primeiro módulo do programa (por se tratar de arcos isostáticos), mas poderão ser usados em módulos futuros que calcularem, por exemplo, arcos hiperestáticos e/ou deformações em arcos.

A lista suspensa exibida na parte inferior da tela da Figura 17, com o título "FUNÇÕES", possui as opções de cálculo, a opção de limpar a tela e de redesenhar a tela. Neste trabalho, foi criada a função para a análise estrutural do arco semicircular simplesmente apoiado, com os cálculos feitos por equilíbrio de forças e superposição dos efeitos das ações. A partir das cargas aplicadas sobre o arco, o programa exibe os diagramas de esforços.

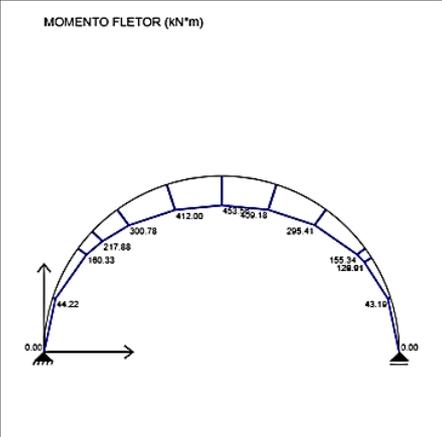
Figura 17: Página criada e disponibilizada na web (<https://vtp.ifsp.edu.br/nev/ifestrut-arcos/ifestrut-arcos.html>).

ARCOS ESTRUTURAIIS

<p>GEOMETRIA E RIGIDEZ</p> <p>Raio R (m): <input type="text" value="30"/></p> <p>Momento de inércia I (m⁴): <input type="text" value="0,00106666"/></p> <p>Módulo de elasticidade E (GPa): <input type="text" value="210"/></p> <p>Coefficiente de poisson v: <input type="text" value="0,3"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="DESENHAR"/></p>	<p>VÍNCULOS</p> <p>Esquerda: <input type="button" value="Apoio fixo"/></p> <p>Direita: <input type="button" value="Apoio móvel"/></p>	<p>AÇÃO</p> <p>Carga distribuída q(kN/m): <input type="text" value="-1"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="ADICIONAR"/></p>	<p>AÇÃO</p> <p>Carga pontual P(kN): <input type="text" value="-1"/></p> <p>Coordenada x(m): <input type="text" value="8,13"/></p> <p>Direção: <input type="button" value="vertical"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="ADICIONAR"/></p>	<p>AÇÃO</p> <p>Momento Concentrado M(kN*m): <input type="text" value="-1"/></p> <p>Obs: convenção= horário negativo(-), anti horário positivo(+)</p> <p>Coordenada x(m): <input type="text" value="55,33"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="ADICIONAR"/></p>
---	--	--	--	--



MOMENTO FLETOR (kN*m)



NÚMERO MÍNIMO DE PONTOS - DIAGRAMA:

NÚMERO DE CASAS DECIMAIS - DIAGRAMA:

TAMANHO DOS TEXTOS - DIAGRAMA:

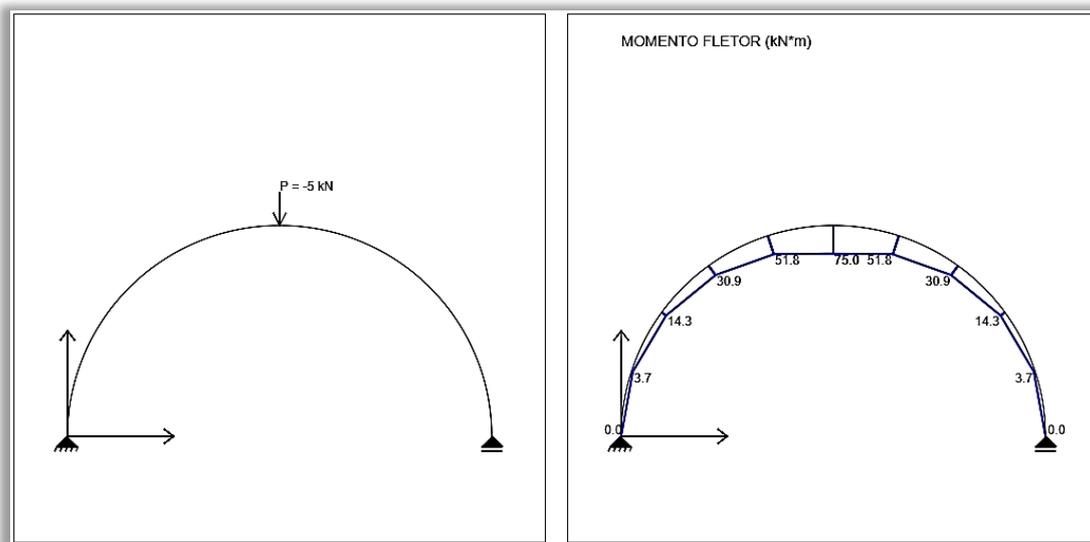
Fonte: A própria autora usando o programa criado.

A lista suspensa exibida na parte inferior da tela da Figura 17, com o título "FUNÇÕES", possui as opções de cálculo, a opção de limpar a tela e de redesenhar a tela. Neste trabalho, foi criada a função para a análise estrutural do arco semicircular simplesmente apoiado, com os cálculos feitos por equilíbrio de forças e superposição dos efeitos das ações. A partir das cargas aplicadas sobre o arco, o programa exibe os diagramas de esforços.

Para o cálculo dos esforços, o usuário especifica o número de pontos ao longo do arco e o número de casas decimais para a apresentação dos valores no diagrama, conforme mostrado na Figura 17.

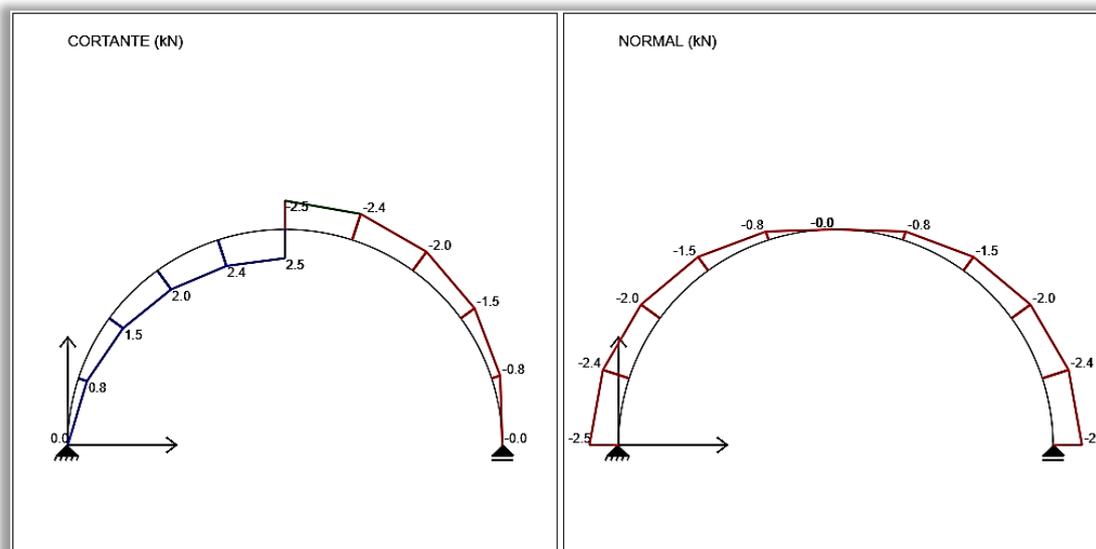
Por exemplo, ao aplicar uma carga pontual de 5 kN no centro do vão e considerar 11 pontos de cálculo, obtêm-se os diagramas de esforços de momento fletor, cortante e normal, apresentados nas Figuras 18 e 19. Eles aparecem do lado direito da página, ao apertar o botão correspondente, conforme mostra a figura 17.

Figura 18: Exemplo de estrutura e carga e seu diagrama de momento fletor.



Fonte: A própria autora usando o programa criado.

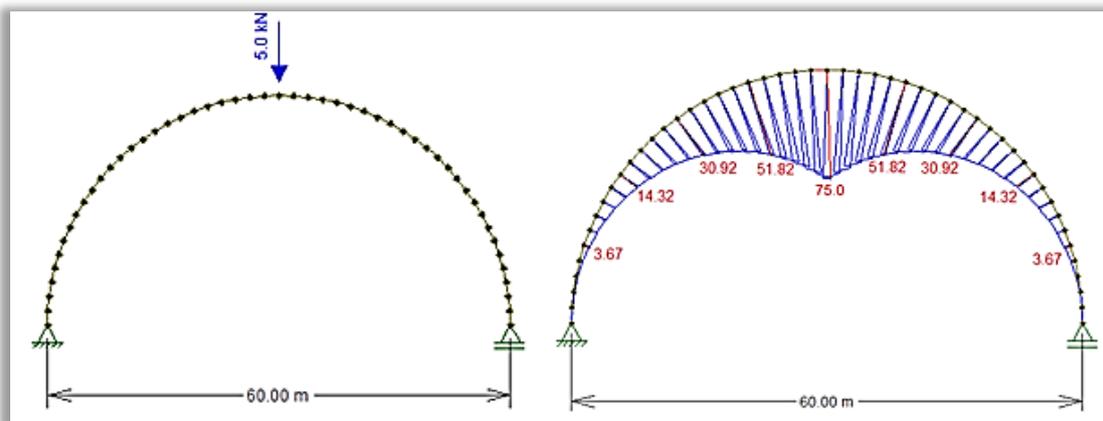
Figura 19: Diagrama de esforço cortante e normal para a estrutura da figura 18.



Fonte: A própria autora usando o programa criado.

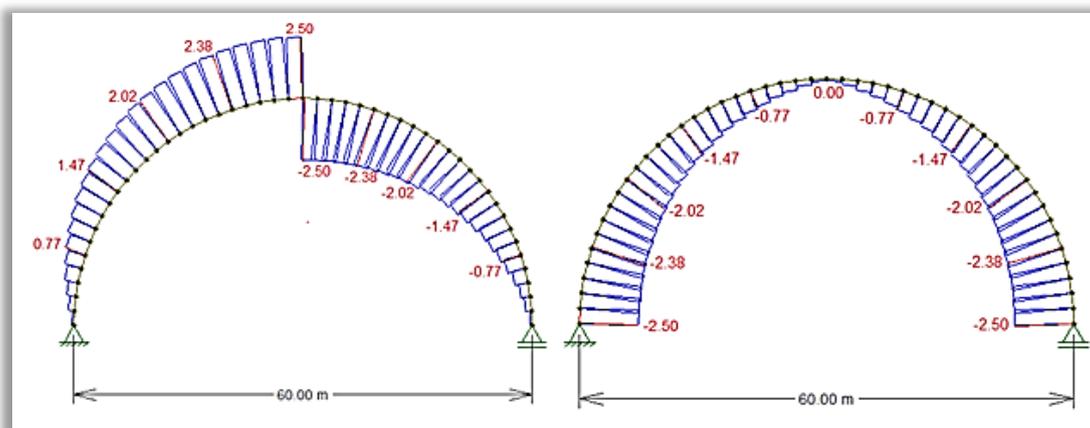
Para validar os resultados obtidos, o mesmo arco das figuras 18 e 19 foi aproximado por 50 pontos formando segmentos de barras no *software* Ftool, de Martha (2017), conforme a Figura 20. Os resultados obtidos pelo Ftool foram iguais aos mostrados pelo programa aqui apresentado (figuras 18 e 19), como pode ser observado nas Figuras 20 e 21.

Figura 20: Arco semicircular simplesmente apoiado modelado no *software* Ftool, com a carga aplicada e o respectivo diagrama de momento fletor gerado pelo programa.



Fonte: Ftool (Martha, 2017).

Figura 21: Diagrama de esforço cortante e de esforço normal gerado pelo Ftool para a estrutura da figura 20.

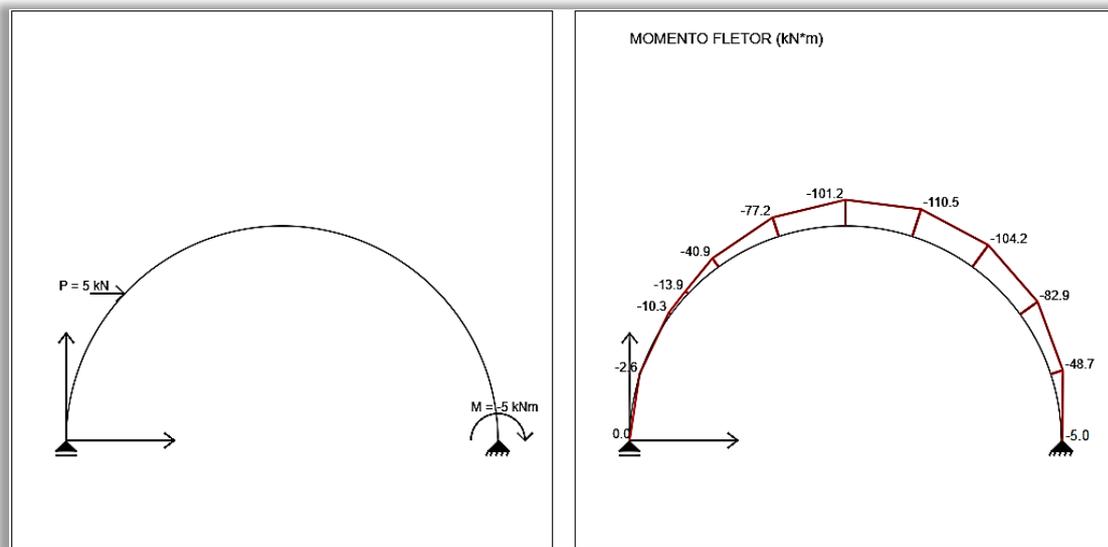


Fonte: Ftool (Martha, 2017).

Outro exemplo, contendo mais de uma ação, a fim de validar a superposição dos efeitos, é apresentado nas Figuras 22 e 23. A comparação com o Ftool, de Martha (2017), é apresentada nas figuras 24 e 25.

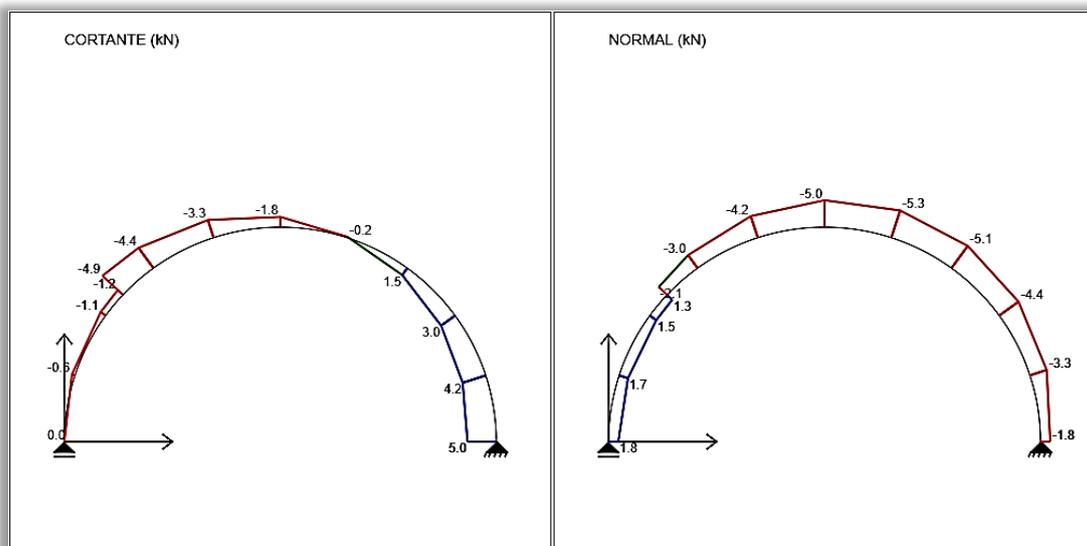
Como resultado principal deste trabalho, após a exibição dos esforços selecionados, o usuário pode obter o relatório de cálculo clicando no botão 'RELATÓRIO', mostrado na Figura 17. Nas figuras 26 e 27, tem – se um exemplo de relatório onde são demonstrados todos os procedimentos realizados para o cálculo dos esforços, como aqui foi apresentado, juntamente com os diagramas.

Figura 22: Arco com aplicação de cargas simultâneas e o diagrama de esforço de momento fletor gerado pelo programa criado.



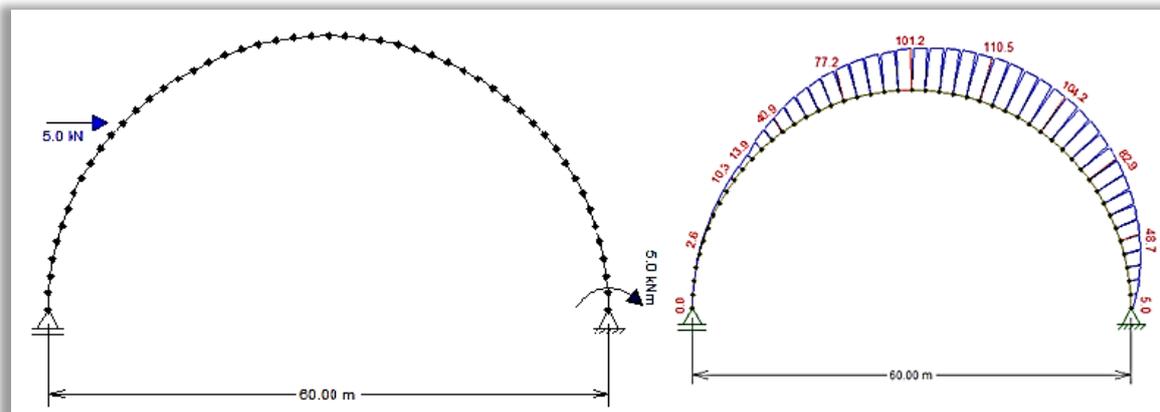
Fonte: A própria autora usando o programa criado.

Figura 23: Diagrama de esforço cortante e de esforço normal para a estrutura da figura 22.



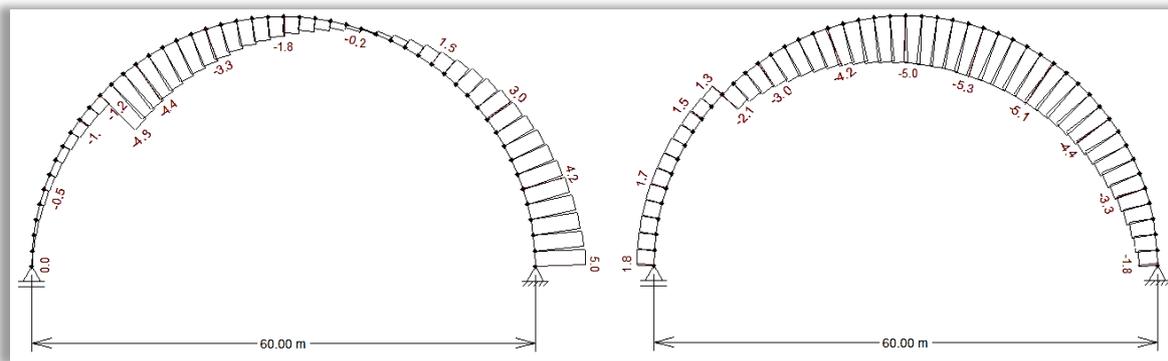
Fonte: A própria autora usando o programa criado.

Figura 24: Arco da figura 22 modelado no software Ftool, de Martha (2017), e o respectivo diagrama de esforço de momento fletor gerado.



Fonte: Ftool (Martha, 2017).

Figura 25: Diagrama de esforço cortante e de esforço normal gerado pelo Ftool para a estrutura da figura 24.



Fonte: Ftool (Martha, 2017).

Figura 26: Parte inicial de um relatório de cálculo exemplo gerado pelo programa.

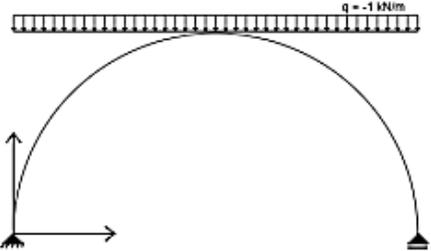
TO TRANSLATE THIS DOCUMENT, DOWNLOAD THE PDF REPORT AND TRANSLATE ON <https://www.onlinedoctranslator.com/pt/> (FREE - GENERATE COMPLETE PDF TRANSLATED FILE) OR TRANSLATE ON <https://translate.google.com/> (SELECT DOCUMENTS - FREE - BUT ONLY TRANSLATE TEXT)



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
SÃO PAULO
Campus Itapetininga

NEV: Núcleo de Engenharia Virtual
 Título: Programa On-line para análise estrutural de arcos semicirculares simplesmente apoiados
 Autor: Beatriz Carvalho Rosa
 Orientador: Prof. Gustavo Cabrelli Nirschl
 Tipo: Iniciação Científica com Bolsa Institucional
 Curso: Engenharia Civil
 Data da versão original: 30/11/2024
 Data da última atualização: 30/11/2024
 Data da geração do relatório: 30/5/2025

CÁLCULO DE ARCO SEMICIRCULAR SIMPLEMENTE APOIADO



Arco semicircular com raio definido pelo usuário: $R = 20,00\text{ m}$

Momento Fletor

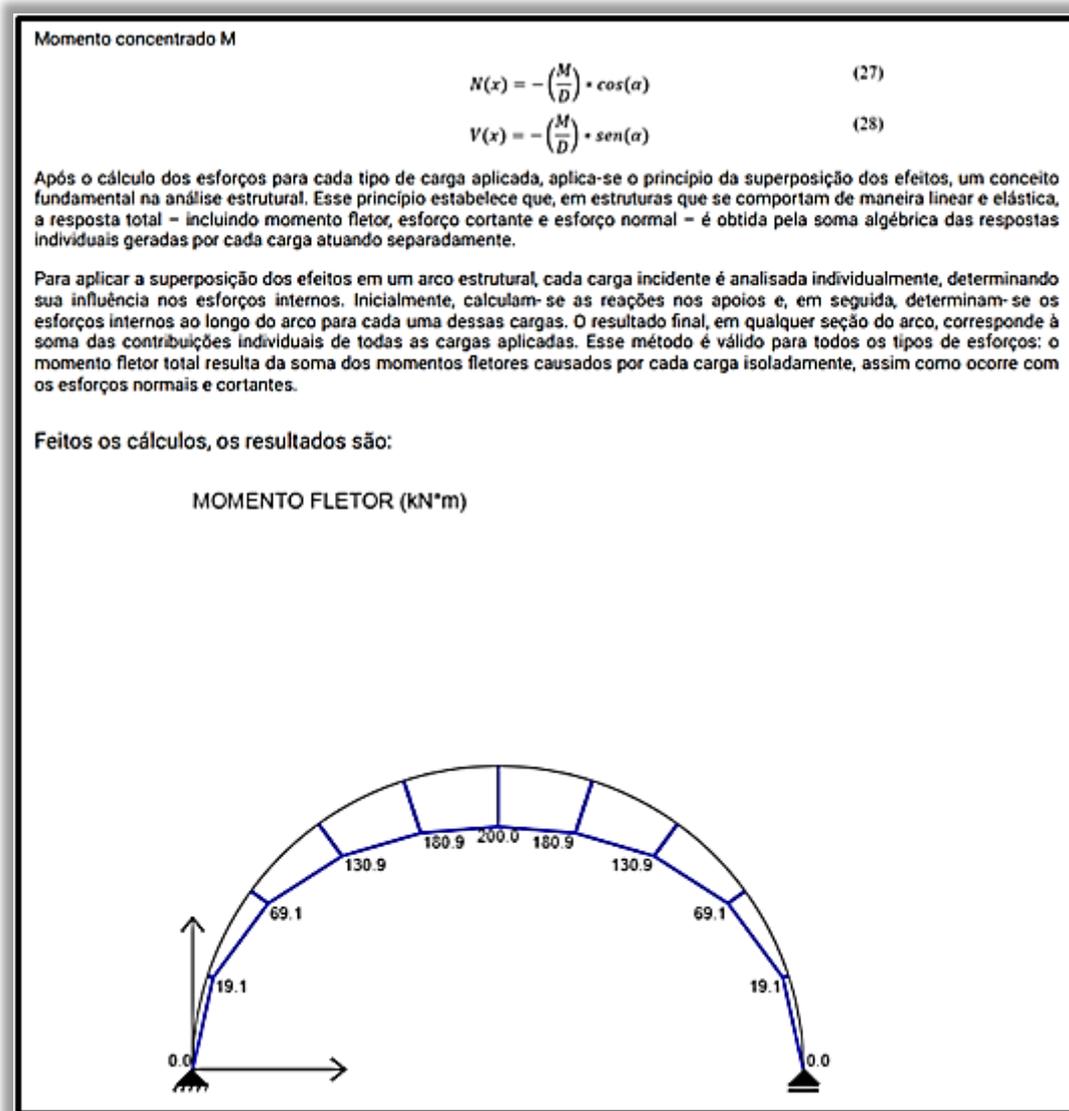
Para as cargas aplicadas em qualquer ponto do arco, a uma distância "xp" do vínculo esquerdo, conforme a figura 1, foram consideradas as condições de equilíbrio estático, onde a soma das forças horizontais deve ser zero, a soma das forças verticais deve ser zero e a soma dos momentos em relação a um ponto específico também deve ser zero, como pode ser observado nas figuras 1 a 5.

Para a carga concentrada, na vertical, na mudança de ordem dos vínculos (apoio móvel na esquerda ou na direita), não há alteração nas equações, portanto foi feita a dedução apenas para apoio fixo à esquerda e móvel à direita, sendo esses os pontos A e B, respectivamente, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Equilíbrio estático e cálculo do momento fletor gerado por uma carga vertical concentrada.

Fonte: A própria autora usando o programa criado.

Figura 27: Parte final de um relatório exemplo gerado pelo programa.



Fonte: A própria autora usando o programa criado.

Considerações finais

A criação do ambiente gráfico 2D para arcos estruturais, desenvolvido em linguagem de internet, foi realizada, atendendo os objetivos inicialmente propostos, ou seja: permite a entrada gráfica de arcos, inclui a definição de geometria, vínculos e ações; realiza o cálculo dos esforços para arcos semicirculares simplesmente apoiados; e fornece um relatório que documenta de forma detalhada todos os cálculos realizados durante a análise estrutural, descrevendo os procedimentos seguidos. Esse programa servirá como base para o desenvolvimento futuro de módulos de análise estrutural de arcos, a ser utilizado por professores de engenharia civil, especialmente da área de estruturas, que fazem parte do grupo de pesquisa cadastrado e ativo no CNPq. O uso do programa por professores, estudantes e profissionais da área de estruturas contribui para o entendimento dos cálculos de arcos, melhorando a prática profissional.

Referências

Calil Jr., C., et al. (2006). *Manual de projeto e construção de pontes de madeira*. Suprema.

DLUBAL. (2022). *RFEM 5: Programa estrutural de MEF para uso profissional* (Versão 5.28.03). DLUBAL.

<https://www.dlubal.com/en/products/rfem-fea-software/what-is-rfem>

Fay, L. (2006). *Estruturas arquitetônicas: Composição e modelagem*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Martha, L. F. (2017). *Ftool: Two-dimensional frame analysis tool* (Versão 4.00.03) [Software]. Instituto Tecgraf/PUC-Rio. <http://www.ftool.com.br>

Sales, J. J., et al. (2005). *Sistemas estruturais*. Departamento de Engenharia de Estruturas – EESC-USP.

Silva, F. C. (2017). *Análise de sistemas estruturais metálicos em arco para centros esportivos* (Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia.

Soriano, H. L. (2014). *Estática das estruturas* (4ª ed. rev.). Editora Ciência Moderna.

STRAP. (2020). *STRAP* [Software]. http://www.sae.eng.br/software/strap/info_strap.html

STRUCTX. (2022). *STRUCTX* [Software]. <https://structx.com/>

Süssekind, J. C. (1977). *Curso de análise estrutural – Vol. 1: Estruturas isostáticas*. Editora Globo.