Notas sobre a visibilidade nas arquibancadas

EDUARDO DUARTE DE SOUSA AGUIAR
Diretor da Divisão de Obras do M.E.S.

INTRODUÇÃO

O CONCURSO para a escolha dos projetos do Estádio Nacional e da Escola Nacional de Educação Física e Desportos, ora aberto pelo Ministério da Educação e Saude, focalizou os problemas de composição e de construção relativos aos trabalhos em cotejo.

A Comissão Julgadora do concurso, desobrigando-se do encargo que lhe competia, teve oportunidade de ventilar assuntos sobre as condições técnicas indispensáveis a essas construções, secundando estudos postos em prática pelos arquitetos que se aprestaram para o certame. Assuntos que merecem divulgação e estudo pela importância e pela atualidade deles, uma vez que o Governo fomenta o desenvolvimento da educação física e estuda condições melhores para os nossos desportos.

Com esta ordem de propósitos aquí apresentamos algumas notas que nos parece possam ser úteis àqueles que precisarem confeccionar planos de edificações para recreio e para ensino. O tema é o relativo à determinação da visibilidade indispensavel aos espectadores, no sentido de oferecer condições iguais em todas as ordens de lugares, quer nas arquibancadas retilíneas quer nos anfiteatros.

Este problema nos mereceu especial atenção por ter sido unânime o desacerto de quantos atenderam ao convite do edital do concurso. Aliás o erro justifica-se. Bastará considerarem-se apenas dois fatores: o prazo de que dispuzeram os candidatos, quasi restrito ao tempo necessário ao desenho e à deficiência da literatura técnica pertinente ao caso. Efetivamente o que compulsamos a respeito de visibilidade, embora com notícia de publicações americanas que o momento não nos permitiu obter, não oferece meios bastante cômodos com os quais possa, de pronto, quem quer que seja, avaliar exatamente a visibilidade. E' que os meios apontados pelos compendistas que pudemos consultar, são todos gráficos e, por isso, demandam cuidados de execução para que a visibilidade não seja ilusória. No caso dos estádios em que os desenhos são de proporções extensas, o gráfico dá ensejo a erros.

Na determinação da secção transversal, por exemplo, as vezes pela "tolerância gráfica" resultante da escala do desenho, outras porque sendo a verificação gráfica feita sobre a reta representativa do raio visual ao ponto visado (o mais próximo do início da arquibancada) com a condição de que este raio visual tangencie a cabeça do espectador de ordem de degrau imediatamente inferior, fica sujeita a um possivel empeno da régua de grande dimensão.

Por esses motivos, tais processos, com frequência, deixam mal o verificador, porque desejoso de dar à arquibancada que projeta a menor altura possivel, levado por conveniências de composição, de construção e sobretudo econômicas, negligencia a exatidão do desenho.

O processo gráfico para indicação da visibilidade, desde que se tomem os cuidados indispensáveis, é convincente e expressivo. O cálculo porém é mais preciso e ocorre logo a quem precisa certificar-se da exatidão do corte de um projeto de arquibancada. Dele nos utilizamos para julgar a visibilidade no sentido transversal, no procedimento que se segue:

A fig. 1 representa em corte vertical a sucessão de dois degraus quaisquer.

1.º — Marcam-se os pontos *o* e *c*, correspondentes respectivamente ao olho e a cabeça dos assistentes, segundo as dimensões adotadas para a determinação do corte transversal da arquibancada.

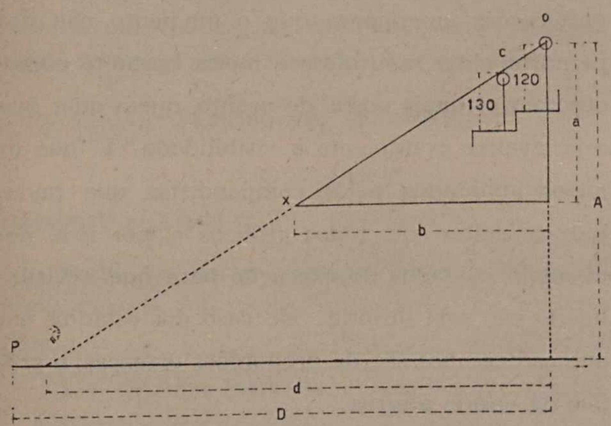

FIG. 1

2.º — Medem-se os valores de A e de D na escala adotada, sem preocupação da escala do desenho.

3.º — Liga-se *o* e *c* até uma extensão qualquer *x*, a maior possivel e medem-se as componentes *a* e *b*.

Temos evidentemente:

$$\frac{A}{a} = \frac{d}{b}$$

donde se extrai

$$d = \frac{Ab}{a}$$

4.º — Se $d \leq D$, — há visibilidade
Se $d > D$, — não há visibilidade.

5.º — Leve-se em consideração o erro gráfico, como tolerância.

No caso, não é, entretanto, a verificação de um projeto o que mais interessa. Dispor-se de meios que indiquem com exatidão o que se deseja projetar evitando os erros a que nos induzem o processo gráfico, será muito mais vantajoso. Esse é o nosso intento que aquí expomos, nada mais sendo do que a aplicação numérica do gráfico.

O PROBLEMA

O problema se nos apresenta com os seguintes elementos a determinar e a explicar para que as arquibancadas de um estádio tenham forma conveniente à visibilidade, em qualquer ponto:

a) forma da planta.

b) forma do corte.

FORMA DA PLANTA

A forma da planta deve obedecer a duas condições:

1) Permitir aos espectadores a visibilidade em todas as direções sobre o campo do estádio.

2) Permitir a disposição dos lugares que melhor atenda ao interesse do público para observar o conjunto dos jogos.

1.ª Condição:

A forma em planta de uma arquibancada depende da área a ser vista; consegue-se este desiderato determinando-se a curva limite de visibilidade sobre o campo.

Vejamos como determiná-la e em que nos baseamos:

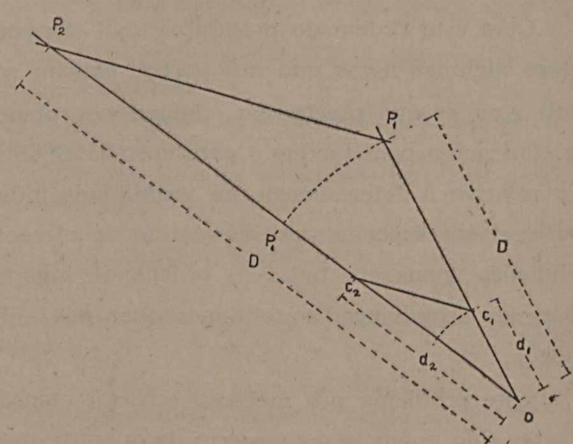

FIG. 2

1 — Suponhamos (fig. 2 em projeção horizontal) um espectador *o*, qualquer, e dois espectadores c_1 e c_2 situados num mesmo degrau imediatamente à frente de *o*. Seja P_1 o ponto mais próximo visado de *o* sobre a cabeça de c_1 e P_2, sobre a cabeça de c_2. Transportando por uma rota-

ção em torno de o, c_1 P_1 sobre o P_2, teremos no plano vertical o P_2 a seguinte figura (fig. 3):

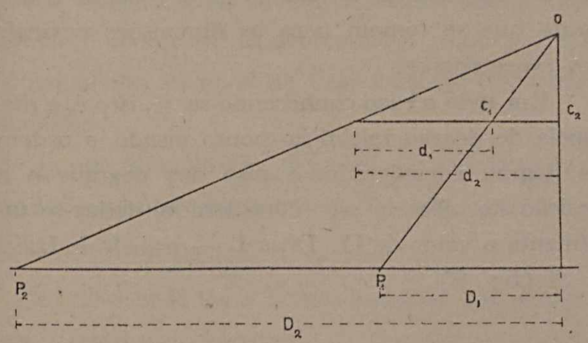

FIG. 3

Nele deduzimos por semelhança de triângulos:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

Esta relação prova que na fig. 2 a reta c_1 c_2 é paralela à P_1 P_2 e a figura, formada pelos pontos P, é homotética da formada pelos pontos c ocupados pelos espectadores imediatamente à frente do espectador o (centro de homotetia).

2 — Se os espectadores c estiverem sobre uma mesma linha reta evidentemente os pontos P estarão sobre uma reta paralela à primeira.

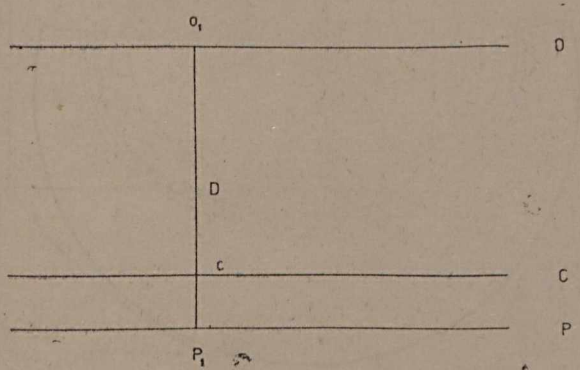

FIG. 4

3 — Deslocando-se os espectadores *o* sobre uma reta paralela à dos espectadores c (fig. 4) o lugar geométrico dos pontos P será uma paralela a ambos que represente o limite curto de visibilidade.

À normal o_1 P_1 chamaremos D.

4 — No caso em que os espectadores *o* e c se achem sobre curvas quaisquer, o lugar geométrico dos pontos P será uma curva policêntrica (em virtude dos numerosos centros de homotetia *o*).

5 — Suponhamos que a curva dos pontos *o* e a dos pontos c sejam duas circunferências concêntricas em *r* (fig. 5).

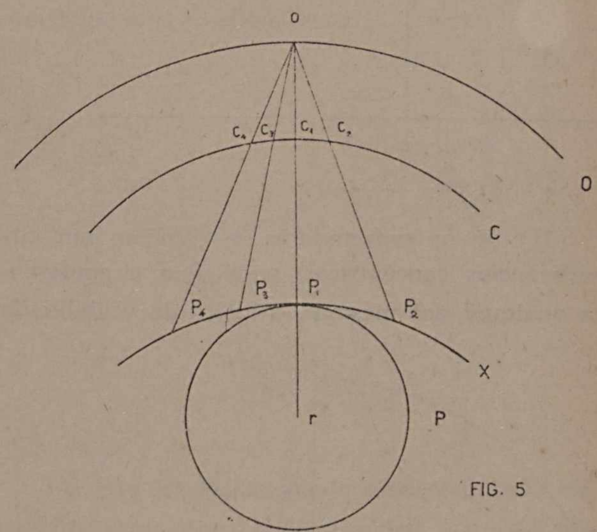

FIG. 5

O lugar dos pontos P situados sobre os raios dessas circunferências será uma circunferência de centro *r* tal que:

$$o\ P_1 = D$$

Sendo D a distância do ponto mais próximo.

Supondo-se o caso particular de um espectador o e variando-se a posição do espectador c (c_1 c_2 ...) os pontos P ($P_1 P_2$ ...) dispor-se-ão sobre uma curva homotética da circunferência C (vide § 1.º) isto é, sobre uma outra circunferência tangente à circunferência *P* no ponto P_1 do raio ro.

Portanto a circunferência P é a envolvida por todas as circunferências X, obtidas analogamente deslocando-se o ponto *o* sobre a sua curva.

6 — Sintetizando temos pois:

1) Se os espectadores se dispõem em retas paralelas, para uma linha qualquer dos mesmos, o limite de visibilidade será também uma reta para-

lela a mesma tal que a distância entre ambas é igual a D (fig. 6).

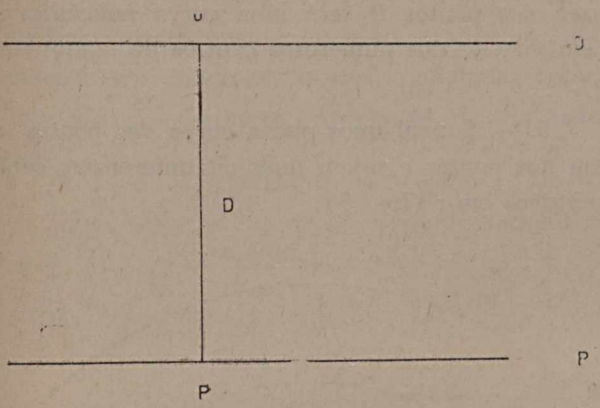

FIG. 6

II) Se os espectadores se dispõem em circunferências concêntricas, para uma circunferência qualquer dos mesmos, o limite de visibilidade

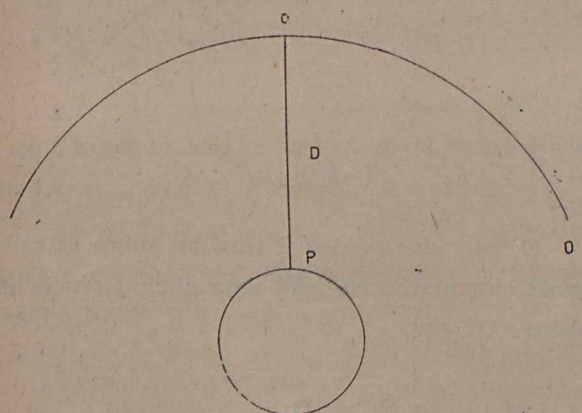

FIG. 7

será uma outra circunferência concêntrica tal que a distância entre ambas é igual a D (fig. 7).

III) Como sabemos, D é a distância horizontal obtida projetando-se sobre o plano do es-

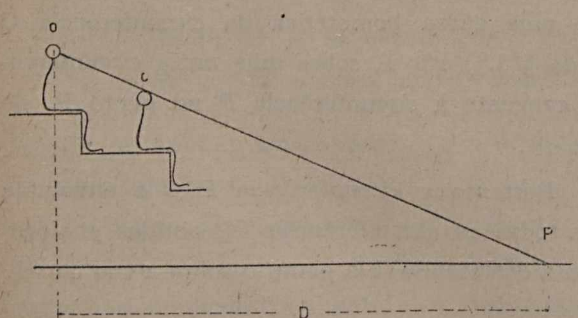

FIG. 8

tádio a linha que partindo do olho do espectador, da fileira considerada, tangencia a cabeça do espectador seguinte (fig. 8).

A diferença da altura do degrau considerado é função dessa distância D, da largura de cada degrau, do número de ordem desse degrau e dos dados que se tomam para as dimensões pessoais dos espectadores.

Em todo o caso conhecendo-se $\triangle$, isto é, a distância do degrau inicial ao ponto visado, a ordem do degrau considerado, o piso dos degraus e a posição do olho no piso considerado, deduz-se facilmente o valor de D. $D = L - a + L + L \ldots + \triangle$ (fig. 9).

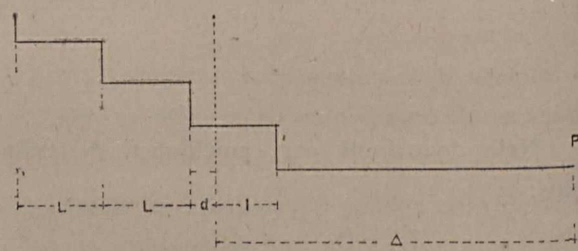

FIG. 9

7 — As observações anteriores permitem-nos executar praticamente a construção gráfica da curva limite mínima de visibilidade, pois um arco qualquer de uma fileira de espectadores poder-se-á sempre assimilar, com pequeno erro, seja a uma reta (obs. I) seja a uma circunferência (obs. II) e mediante o conhecimento de D (obs. III) construir a curva homotética. E como facilmente se depreende das mesmas observações a suposição de

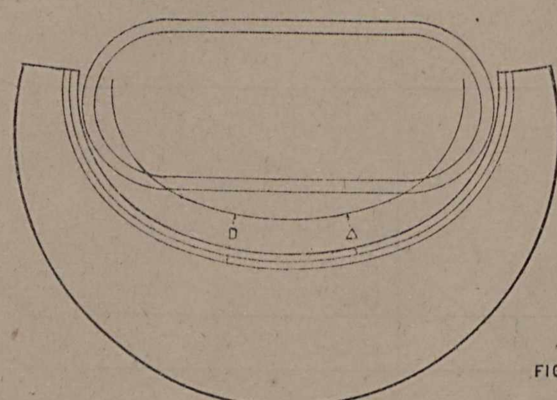

FIG: 10

que os diversos andares formam círculos concêntricos ou retas paralelas. A construção da referida curva fica determinada partindo-se de um andar qualquer, apenas com o conhecimento de D relativo a este andar.

8 — Tal processo foi aplicado no exemplo abaixo, no qual a curva considerada E é a de um andar qualquer de degraus do estádio (Podemos para facilidade tomar o segundo) (fig. 10).

2.ª Condição:

Ideal seria que todos os pontos do estádio fossem vistos a uma distância menor que 65 m (*punctum remotum* da acomodação visual). Isto é possivel nos campos de desportos de pequenas dimensões.

Já que tal condição não pode ser satisfeita nos grandes estádios, procuram os espectadores colocações que sejam:

a) Distanciadas o menos possivel dos pontos mais afastados do estádio;

b) Situadas a distâncias aproximadamente iguais aos referidos pontos;

c) Dispostas no sentido da maior dimensão do estádio em virtude da orientação dos jogos.

Tal tendência, explicada naturalmente pela lei do menor esforço, tem consequências práticas interessantes. Senão vejamos: (fig. 11).

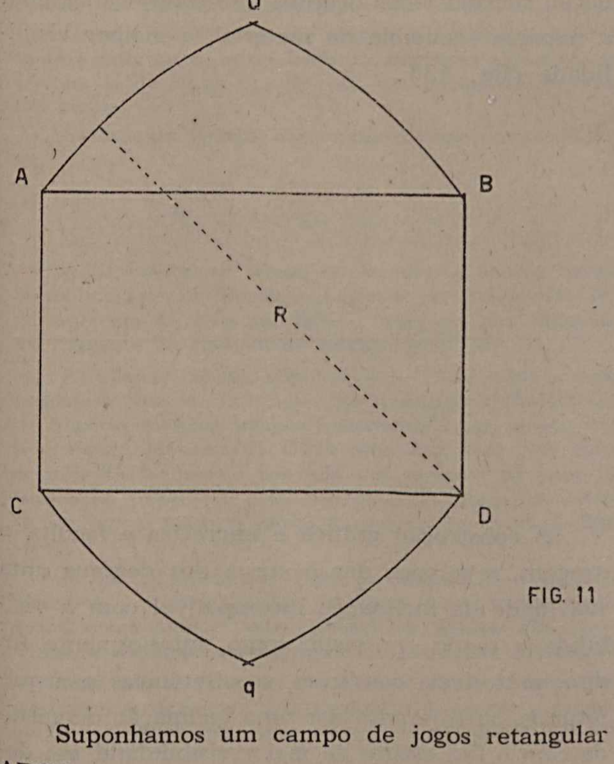

FIG. 11

Suponhamos um campo de jogos retangular ABCD.

Os espectadores procurarão tomar as colocações em frente aos lados maiores, AB e CD. Para os que se acham do lado de AB, por exemplo, os pontos mais afastados são: C e D. O lugar geométrico dos pontos desse local afastados dos citados pontos extremos a uma distância menor do que um valor dado R é a superfície (AQB) limitada por AB e por arcos de circunferência AD e CB de raio R e centros respectivamente em C e D.

E por esta razão, os espectadores à medida que vão ocupando as arquibancadas, dirpor-se-ão sobre uma superfície de forma análoga ao lugar geométrico acima estabelecido.

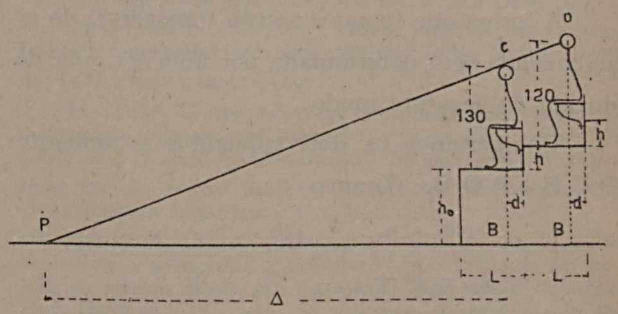

FIG. 12

Tal fato foi praticamente observado pelo engenheiro americano Gavin Hadden (citação em Finetti-Stadi) que lhe atribuiu um carater de espontaneidade do público, assemelhando a superfície preferencial a um semicírculo, forma que, tende-se a adotar com ligeiras deformações determinadas pela procura de uma distância visual mínima, para as arquibancadas dos estádios modernos.

FORMA EM CORTE

Para a determinação da secção transversal das arquibancadas, parte-se de um certo número de dados fundamentais. A suposição de que os espectadores fiquem de pé ou sentados, que apresentem as dimensões de um indivíduo normal ou que, tomando a pior das hipóteses, o espectador anterior tenha as dimensões de um homem medianamente alto e o posterior de um homem medianamente baixo, conduzem-nos a variados resultados, que, diga-se de passagem, são todos expressos em uma fórmula geral.

Para o nosso caso tomamos os seguintes elementos (fig. 12).

1) Espectadores sentados.

2) Altura do banco — 40 cm.

3) Altura da parte do corpo do espectador compreendida entre o banco e o seu olho — 80 cm (77 cm segundo dados do livro o "Normotipo brasileiro" do Dr. Izaac Brown).

4) Distância entre o olho e o cimo da cabeça — 10 cm (10,8 segundo o citado livro).

5) Afastamento da vertical do olho ao encosto do banco — 20 cm.

A forma que tomar a secção transversal da arquibancada será determinada por uma fórmula deduzida do seguinte modo:

Comparemos os dois triângulos semelhantes P C B e P O B_1. Temos:

$$\frac{130 + h_0}{L - 20 + \triangle} = \frac{120 + h + h_0}{2L - 20 + \triangle}$$

Generalizando para um degrau n, temos:

$$\frac{130 + \Sigma h_{n-1}}{nL - 20 \triangle} = \frac{120 + hn + \Sigma h_{n-1}}{(n + 1 \triangle) L - 20 + \triangle}$$

onde

$$\Sigma h_{n-1} = h_0 + h_1 + h_2 + \ldots + h_{n-2} + h_{n-1}$$

Dessa expressão tiramos:

$$h_n = \frac{10n + \Sigma h_{n-1} + \left[10\left(\frac{\triangle - 20}{L}\right) + 130\right]}{n + \left(\frac{\triangle - 20}{L}\right)}$$

onde os dois termos entre parêntesis são constantes para valores dados de $\triangle$ e L.

A presente fórmula sob o aspecto acima facilita a determinação sucessiva dos degraus.

Suponhamos que para um degrau n tenhamos obtido:

$$h_n = \frac{A_n}{B_n}$$

Teremos evidentemente:

$$h_{n+1} = \frac{A_n + h_n + 10}{B_n + 1}$$ para o degrau seguinte, ou

$$H_{n-1} = \frac{A_n - 10}{B_n}$$ para o degrau anterior.

e dum modo geral:

$$H_{n-k} = \frac{A_n - K.10 - (h_{n-1} + h_{n-2} + \ldots h_{n-k+1})}{B_n - k + 1}$$

GENERALIZAÇÃO

Tal fórmula poderá ser generalizada, tomando a seguinte expressão:

$$h_n = \frac{dn + \Sigma h_{n-1} + \left[d\left(\frac{\triangle - a}{L}\right) + H\right]}{n + \left(\frac{\triangle - a}{L}\right)}$$

onde

d é a diferença entre a altura H do homem da frente tomada até a cabeça e a altura do homem de trás tomada até a linha dos olhos;

a é a distância horizontal do olho ao encosto do assento.

Exemplo de aplicação:

$\triangle$ = 15.00
L = o.75
h_0 = 0, para o 1.º lanço.

A aplicação da fórmula é relativamente facil e pode ser mecanizada, conduzindo-nos à determinação sucessiva dos degraus que proporciona, com a máxima economia de material, a melhor visibilidade (fig. 13).

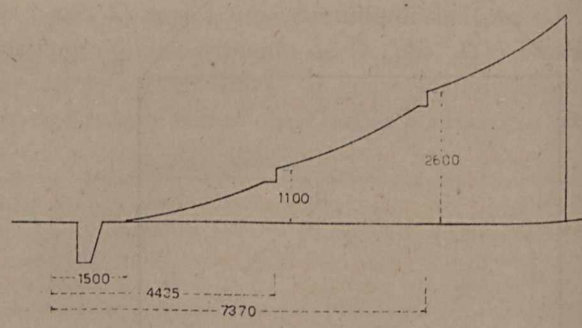

FIG 13

A construção gráfica é imprecisa e faculta o exagero, seja para dar à curva dos degraus uma suavidade de inclinação incompativel com a visibilidade tendo em vista, como anteriormente foi dito, preferíveis condições arquitetônicas e arquiteturais, ou seja para dar uma inclinação demasiada com o fim estrito de maior visibilidade, em detrimento da economia.

Outra vantagem do cálculo é dar exatamente a todos os espectadores um ponto visado comum o que por maior que seja a inclinação, não acontecerá com as secções transversais retilíneas empregadas comumente.