

Modelo Funcional de Automatização de Representações do Tabuleiro de Pontes: Planos, Perspectivas e Estrutura Discretizada

Alcínia Zita Sampaio
Dep. Eng^a. Civil, IST
Av. Rovisco Pais, 1049-001Lisboa
zita@civil.ist.utl.pt

Alfonso Recuero
Instituto Eduardo Torroja
C/Serrano Galvache s/n
28033 Madrid, Espanha
recuero@pinar1.csic.es

↑ 3.5-4

Sumário

Num projecto, os processos de carácter geométrico dependem directamente da forma real apresentada pela estrutura. Contudo, a informação geométrica da forma não é utilizada de um modo automático na definição daquelas fases. No caso de pontes, em que a configuração apresentada pelo tabuleiro é normalmente complexa, torna-se morosa a execução com rigor de determinadas representações requeridas no projecto de pontes.

Esta comunicação apresenta um modelo integrado funcional capaz de proporcionar a automatização das representações planas específicas do tabuleiro, de perspectivas e, ainda, da discretização da estrutura. O modelo baseia-se no conceito de modelação geométrica de objectos por varrimento, considerando a secção transversal como o elemento gerador do tabuleiro. A informação, relativa a secções geradas ao longo do tabuleiro, é utilizada na execução automática de modelos geométricos do tabuleiro de interesse num projecto. A implementação do modelo dirige-se ao tabuleiro em caixão unicelular, uma das soluções estruturais mais utilizada.

Palavras-chave

Modelação geométrica, integração e automatização, tabuleiro de pontes.

1. CONFIGURAÇÃO DO TABULEIRO

A configuração de um tabuleiro pode ser observada como sendo gerada por uma secção transversal que percorre o seu eixo longitudinal. Nessa trajectória a secção é modificada, em forma e orientação, influenciada por duas componentes morfológicas longitudinais:

- a evolução longitudinal da altura e da espessura das almas e banzos do tabuleiro, concebida pelo projectista de pontes;
- a geometria do traçado da via de comunicação, definida para a zona de implantação da ponte.

Esta interpretação da morfologia de um tabuleiro é baseada na noção de geração de objectos por varrimento [Anand93]. O contorno de uma secção transversal actua como o elemento gerador da superfície envolvente do tabuleiro e o movimento por ele tomado é caracterizado pela sobreposição geométrica das duas componentes longitudinais referidas.

2. METODOLOGIA

Através da aplicação deste processo de modelação é possível, não só, descrever de um modo exacto a forma apresentada pelo tabuleiro, uma vez que são identificadas as componentes geométricas que a definem:

- a configuração de uma secção transversal (geradora);
- as leis analíticas definidas para a evolução da altura e da espessura dos elementos laminares do tabuleiro;
- a geometria das componentes do traçado (directriz, rasante e sobrelevação).

mas também, estabelecer um modo de gerar secções ao longo do tabuleiro baseado na definição das alterações impostas à configuração de uma secção (tomada como inicial) ao percorrer uma determinada trajectória.

Por outro lado, da análise de diversos projectos de pontes em caixão unicelular e, no que respeita ao tabuleiro, verifica-se que tanto na obtenção das projecções ortogonais usuais (secções transversais e corte longitudinal), como do modelo tridimensional (composto por elementos de superfície plana) ou do modelo discretizado (em elementos finitos laminares) é utilizada a informação da forma real do tabuleiro apenas em determinadas secções transversais.

A metodologia proposta é a seguinte:

1. Descrição da forma exacta do tabuleiro através da caracterização das três componentes que a determi-

nam. O conjunto dos dados descritivos constitui uma base de dados geométrica do tabuleiro;

2. Estabelecer o modo de determinação de secções transversais do tabuleiro geradas em função das duas componentes longitudinais que actuam em simultâneo sobre a forma de uma secção transversal (inicial) quando ela é movida ao longo do eixo do tabuleiro;
3. Manipular a informação geométrica relativa às secções geradas com o objectivo de obter as representações do tabuleiro de acordo com a apresentação com que normalmente são definidas num projecto.

As distintas fases da metodologia apresentada foram implementadas num programa [Sampaio98] (elaborado no âmbito da tese de doutoramento efectuada por A. Sampaio [SampaioA98]). De seguida, são referidos os principais aspectos dos procedimentos incluídos nos distintos módulos do programa (relativos a cada uma das fases, Figura 1).

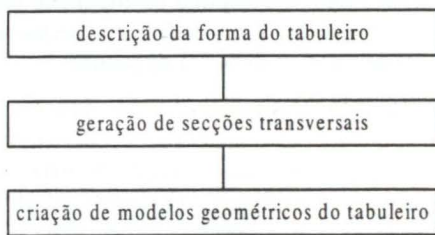


Figura 1: Estrutura modular do programa de implementação.

3. DESCRIÇÃO DA FORMA DO TABULEIRO

O utilizador do programa deverá iniciar por indicar qual a geometria apresentada num caso concreto. A caracterização geométrica das três componentes morfológicas longitudinais mencionadas (e esquematizadas na Figura 2) é proporcionada pela utilização do módulo descritivo (Figura 1).

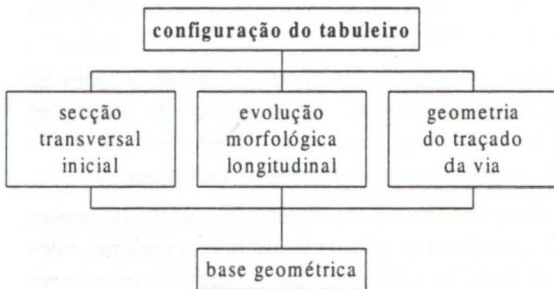


Figura 2: Constituição da base geométrica relativa à configuração do tabuleiro.

Na selecção do processo descritivo a adoptar houve a preocupação de utilizar as características geométricas familiares ao projectista, de modo a tornar fácil e directa esta fase inicial.

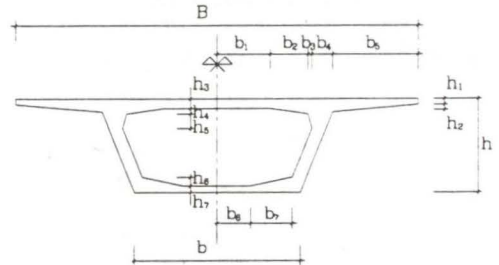
3.1 Secção Transversal

A caracterização da configuração de uma secção transversal é efectuada através de uma forma genérica para-

metrizada. O esquema estabelecido para a secção em caixão unicelular (apresentado na Figura 3) foi definido com detalhes suficientes à descrição de uma vasta gama de casos.

Figura 3: Forma genérica parametrizada da secção transversal em caixão unicelular.

O conjunto de dados atribuídos aos parâmetros definem



de um modo completo a configuração de uma secção.

3.2 Morfologia Longitudinal

De modo a possibilitar a descrição da configuração longitudinal apresentada pelo tabuleiro, ele é inicialmente subdividido em semi-tramos. A caracterização geométrica de um segmento é efectuada classificando os modos de variação relativos à altura do tabuleiro e à espessura dos banzos e almas. Foram considerados como modos de variação: a evolução parabólica (Figura 4) e linear da altura do tabuleiro e o incremento linear da espessura dos elementos laminares. Por tipo foram estabelecidos os esquemas genéricos parametrizados utilizados na descrição das leis analíticas apresentadas em cada caso concreto (Figura 4).

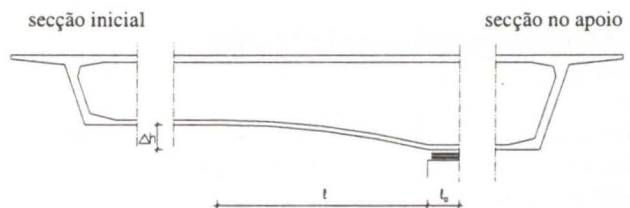


Figura 4: Variação parabólica da altura do tabuleiro.

3.3 Traçado da Via

Procede-se ainda à descrição do traçado da via na zona de implantação da ponte. Na indicação da geometria da directriz, da rasante e da sobrelevação são empregues os parâmetros e dados característicos usuais (informação incluída na documentação do programa preliminar fornecida ao projectista). Com base nestes dados é possível determinar automaticamente as características do traçado em qualquer ponto da via.

Concluída a descrição das três componentes fica criada uma base de dados geométrica representativa da forma exacta apresentada pelo tabuleiro.

4. GERAÇÃO DE SECÇÕES TRANSVERSAIS

O módulo do programa, que efectua a geração de secções transversais do tabuleiro (Figura 1), recorre directamente aos dados da base geométrica criada. Procede, inicial-

mente, à obtenção da configuração de uma secção (definida em função unicamente das leis de evolução morfológica longitudinal), seguindo-se a sua adaptação à geometria do traçado da via (exigida no ponto quilométrico de localização da secção). Deste modo, a secção fica correctamente definida em forma e posição espacial.

4.1 Definição da Configuração da Secção

Na obtenção da configuração da secção o eixo do tabuleiro é admitido recto e horizontal. Considere-se a determinação da configuração da secção S incluída num segmento do tabuleiro submetido, simultaneamente, a variação parabólica da altura do tabuleiro (Figura 5) e a variação da espessura do banzo inferior (Figura 6). A sua forma é obtida impondo translações aos vértices da secção inicial (S_0) envolvidos em cada tipo de variação.

Assim, para os vértices do banzo inferior da secção S , são calculados os incrementos Δx_1 e Δz_1 devidos à variação da altura do tabuleiro (Figura 5).

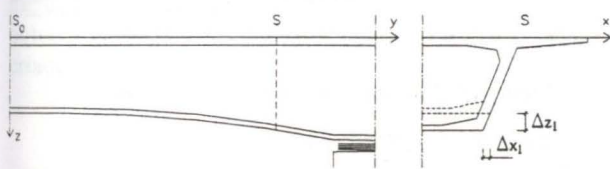


Figura 5: Incrementos de coordenadas devidos à alteração da altura do tabuleiro.

Em relação aos vértices internos, são ainda determinados os incrementos Δx_2 e Δz_2 impostos pelo aumento da espessura do banzo inferior (Figura 6).

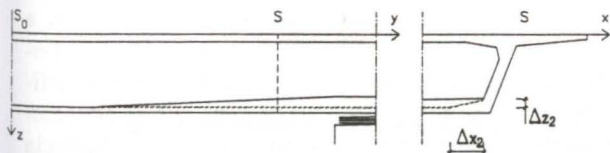


Figura 6: Incrementos de coordenadas devidos à variação de espessura do banzo inferior.

A lista de coordenadas $x(i)$ e $z(i)$ dos vértices da secção S é obtida por adição às coordenadas $x_0(i)$ e $z_0(i)$ da secção inicial S_0 das translações impostas a cada um dos seus vértices (os incrementos dos vértices não afectados são nulos):

$$\begin{aligned} x(i) &= x_0(i) + \Delta x_1(i) + \Delta x_2(i) \\ z(i) &= z_0(i) + \Delta z_1(i) + \Delta z_2(i) \end{aligned} \quad (1)$$

4.2 Adaptação da Secção ao Traçado da Via

A secção definida é adaptada à geometria concebida para a via de comunicação onde a ponte se insere. Primeiro, a secção é submetida a uma rotação como corpo rígido em função da sobrelevação (SE) calculada no ponto quilométrico correspondente à secção (Figura 7).

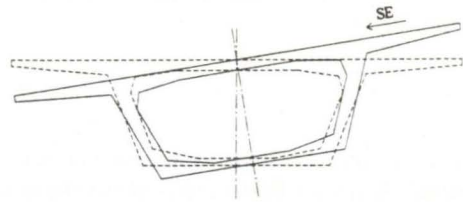


Figura 7: Rotação da secção por adaptação à sobrelevação.

De seguida, a secção é colocada e orientada no referencial cartográfico e altimétrico, de acordo com os dados de natureza geométrica da directriz (M, P e rumo) e da rasante (cota) relativos à secção. As coordenadas $x_0(i)$, $y_0(i)=0$ e $z_0(i)$ dos vértices da secção são afectadas de uma matriz de transformação espacial na obtenção da posição final da secção $x(i)$, $y(i)$ e $z(i)$:

$$\begin{bmatrix} x(1) & y(1) & z(1) & 1 \\ x(2) & y(2) & z(2) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0(1) & 0 & z_0(1) & 1 \\ x_0(2) & 0 & z_0(2) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \times [T] \quad (2)$$

com

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\beta & 0 & 0 \\ -\sin\beta & \cos\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -cota & 0 \\ \hline M & P & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

sendo, $\beta = -\text{rumo}$.

Deste modo, as secções definidas ao longo do tabuleiro e adaptadas à sobrelevação, ficam posicionadas, de um modo exacto, em relação ao referencial tridimensional considerado. As listas de coordenadas dos vértices destas secções são utilizadas na execução automática de representações do tabuleiro.

5. GERAÇÃO DE MODELOS GEOMÉTRICOS DO TABULEIRO

Finalmente, o programa (Figura 1) possibilita a definição dos distintos modelos geométricos do tabuleiro necessários na elaboração de um projecto: cortes e secções, modelo geométrico tridimensional e modelo discretizado.

As representações planas usuais resultam da execução de cortes específicos sobre o tabuleiro, não correspondendo portanto a projecções da sua configuração tridimensional sobre planos. Assim, as secções transversais são obtidas por intersecção do tabuleiro segundo planos normais ao seu eixo e um corte longitudinal resulta da planificação da superfície de corte definida ao longo do eixo. Estas representações são conseguidas utilizando ficheiros de secções adaptadas apenas parcialmente ao traçado da via. Isto é, na representação de uma secção transversal, o seu contorno deve ser definido através de uma lista de coordenadas planas referenciada ao seu próprio plano de suporte (e, portanto, a secção não deve ter sido transformada por incorporação da directriz nem da rasante) e, na execução do corte longitudinal, as secções a utilizar de-

uma solução de discretização transversal satisfatória. As hipóteses ensaiadas podem ser visualizadas solicitando a criação do respectivo ficheiro DXF (Figura 12).



Figura 12: Secção transversal discretizada.

A discretização transversal escolhida é, de seguida, aplicada sobre um série de secções consecutivas e, assim, é gerada uma malha espacial definida de acordo com a configuração apresentada pelos contornos de cada uma das secções utilizadas. Deste modo, são determinadas as coordenadas espaciais de cada nó e fica estabelecida a topologia dos elementos finitos através das relações entre nós (nós adjacentes em cada secção e nós de idêntica numeração entre secções consecutivas). É possível ainda obter o ficheiro DXF da representação da malha espacial criada (Figura 13).

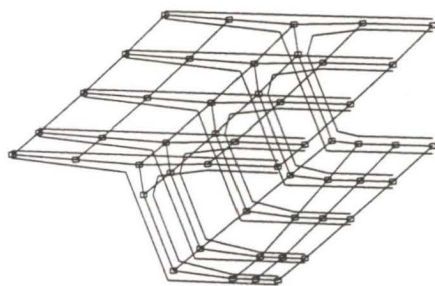


Figura 13: Malha de elementos finitos.

6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Procedeu-se à descrição de um caso concreto de tabuleiro [GRID95] de modo a obter-se a respectiva base geométrica de dados. A secção transversal representada na Figura 14 [GRID95], foi descrita utilizando a secção paramétrica representada na Figura 3. Os valores atribuídos a cada parâmetro estão representados como dimensões na Figura 14.

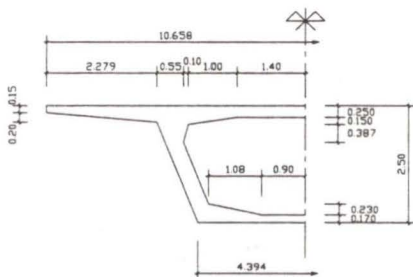


Figura 14: Secção transversal inicial.

O segmento do tabuleiro a que diz respeito a secção é caracterizado por uma variação parabólica definida através das seguintes dimensões (valores que foram atribuí-

dos aos parâmetros apresentados no esquema genérico incluído na Figura 4).

$$\Delta h = 1.00m \quad \ell = 32.25m \quad \ell_a = 1.50m$$

A espessura do banzo inferior varia linearmente de acordo com os seguintes valores:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= 0.23m & \epsilon_2 &= 0.15m & \epsilon_3 &= 0.00m \\ \ell_1 &= 22.65m & \ell_2 &= 8.50m & \ell_3 &= 1.10m \\ & & \ell_a &= 1.50m & & \end{aligned}$$

Atribuídos aos parâmetros associados ao esquema genérico definido para este tipo de evolução (apresentado na Figura 15).

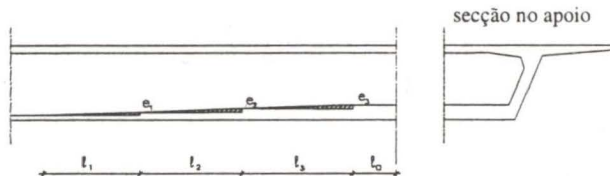


Figura 15: Variação linear da espessura do banzo inferior.

Descrita ainda a geometria do traçado da via foi possível gerar uma série de secções localizadas em juntas construtivas e pontos necessários à definição de representações longitudinais.

O desenho incluído na Figura 8 corresponde a uma das secções calculadas e na Figura 10 é apresentado um pormenor do corte longitudinal obtido sobre o segmento do tabuleiro (aqui descrito). Do mesmo segmento foi possível criar o ficheiro DXF correspondente ao modelo de superfícies projectado da Figura 15 (utilizando as secções nele visualizadas), assim, como gerar a malha representada na Figura 13 (definida com base nos ficheiros de algumas daquelas secções).

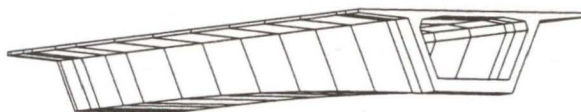


Figura 16: Projecção axonométrica do segmento do tabuleiro.

7. CONCLUSÕES

Nesta comunicação, foi apresentado um processo integrado baseado na modelação geométrica do tabuleiro por varrimento. Através dele é possível descrever a configuração exacta apresentada pelo tabuleiro (e, assim, criar uma base geométrica da sua forma) e obter a geração automática de secções transversais do tabuleiro definidas correctamente em forma e localização espacial. Posteriormente, a informação geométrica dessas secções é utilizada na automatização da elaboração de processos de carácter geométrico requeridos num projecto de pontes.

A utilização do programa desenvolvido constitui um apoio importante ao projecto nomeadamente nas fases de concepção, análise e execução da documentação gráfica relativa ao tabuleiro.

8. REFERÊNCIAS

- [Anand93] V. Anand. Computer graphics and geometric modeling for engineers. *John Wiley & Sons, Inc.*, 1993.
- [AutoCAD97] AutoCAD - User manual, Release 14. *Autodesk, Inc.*, 1997.
- [GRID95] GRID. Projecto da via rápida do Funchal, 1ª fase - Projecto da Ponte da Quinta. Lisboa, 1995.
- [Jones91] F. Jones, L. Martin. The AutoCAD database book - Accessing and managing CAD drawing information. *Ventana Press, E.U.A.*, 4ª ed., 1991.
- [Sampaio98] A. Sampaio. Programa de modelação geométrica de tabuleiros em caixão unicelular. *Relatório IC, A112/98, I.S.T.*, Lisboa, 1998.
- [SampaioA98] A. Sampaio. Modelação geométrica de tabuleiros. *Tese de doutoramento, I.S.T.*, Lisboa, 1998.