

Fachada Cinética: aplicando aritmética modular para controlar padrões de movimento

Kinetic facade: applying modular arithmetic for controlling movement patterns.

José Luis Menegotto

Departamento de Expressão Gráfica, Escola Politécnica,
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
jlmnegotto@poli.ufrj.br

ABSTRACT

This article reports the experience of creating a support application for designing kinetic facades. The tool's goal is the creation of a visual simulation system that permits full control over the movement of geometric patterns. In this case, we try to control the variation of polarized glasses used on architectural facades. The study presents a modeling technique of geometrical grids created and controlled by modular arithmetic operations. The programmed algorithm allows performing periodic geometric patterns. The research is aimed at formalizing a library of patterns and types of possible movements through ratings and an abstract symbolic representation.

KEYWORDS: BIM; AutoCAD; kinetics facades; AutoLISP.

1. Introdução.

A arquitetura contemporânea vem incorporando dispositivos mecânicos dinâmicos integrados aos elementos construtivos das edificações. O faz embasada em pesquisas e experimentos teóricos que começaram a surgir a partir da segunda metade do século XX. Como consequência dessa incorporação, a estética arquitetônica vê-se diante do problema de controlar e aprimorar a variável "movimento" dentre as suas preocupações de projeto.

Iniciadas entre as décadas de 1960 e 1970, pesquisas integradas a essa área de conhecimento vêm ganhando força, sendo denominadas genericamente Arquitetura Cinética (*Kinetic Architecture*) e Arquitetura Responsiva (*Responsive Architecture*). Em ambos os casos está implícita a ideia da arquitetura como uma arte performática. O artigo relata a experiência de criação de aplicativo de apoio ao projeto de fachadas cinéticas, implementado em linguagem AutoLISP no ambiente AutoCAD. Ele visa assistir projetistas na simulação visual de padrões de movimento que serão posteriormente transferidos para componentes dinâmicos concretos do edifício. Neste caso, busca-se

controlar a variação de vidros polarizados aplicados sobre fachadas. A tecnologia de vidros polarizados permite mudar a transparência do vidro pela aplicação de corrente elétrica. A passagem ou a obstrução da corrente pelo vidro permite que as moléculas do material se alinhem ou desalinhem, conferindo-lhe o aspecto de transparência ou opacidade. Partindo dessa possibilidade, o programa procura estabelecer uma forma de criar padrões de passagem ou obstrução da corrente para produzir um efeito visual correlato. A técnica de modelagem de tramas geométricas apoia-se em séries numéricas controladas mediante operações de aritmética modular que permitem obter tramas geométricas regulares e variáveis.

2. Desenvolvimento.

Aritmética modular postula a existência de congruência entre dois números inteiros no módulo m quando m é fator de $(a - b)$, expresso pela fórmula:

$$a \equiv b \pmod{m}$$

Se a , b e m são números inteiros diferentes de 0, diz-se que a é congruente com b módulo m , se m divide $(a - b)$ com resto 0. Pode-se encontrar o congruente modular

de qualquer número inteiro com relação a um módulo definido. Assim,

16 é congruente modular de $4_{\text{mod}12}$, pois $(16 - 4)/12 = 1$

Para um número qualquer em relação com um módulo qualquer:

25 é congruente modular de $4_{\text{mod}7}$, pois $(25 - 4)/7 = 3$

Na tabela 1 mostra-se a operação de adição modular tendo 12 como módulo. Os números 1, 13, 25, 37... seriam congruentes modulares no módulo 12.

2.1. Tramas de múltiplos.

O método utilizado para projetar o estado dos vidros (ON-OFF) que outorgue à fachada uma característica dinâmica "cinética" baseia-se na manipulação numérica de múltiplos. Podemos representar esse tipo de transformação por uma matriz de filas e colunas numeradas sequencialmente. Os números na linha horizontal da matriz representam a posição ordinal do elemento construtivo processado em determinado

momento. A primeira coluna da esquerda da matriz, numerada de baixo para cima em sentido crescente são números denominados "múltiplos verificadores". Cada uma das células da trama foi preenchida com pontos que representam uma congruência de múltiplo para o objeto processado. Lendo cada coluna em sentido ascendente é colocado um ponto cada vez que o múltiplo verificador seja múltiplo do ordinal definido na linha horizontal da matriz. O primeiro múltiplo a aparecer, começando a contar por cima representa o índice do ponto que acionaria o comando liga-desliga da corrente elétrica (Fig. 1)

2.2 A organização do modelo 3D em AutoCAD.

Para testar o algoritmo foi utilizada a fachada do edifício proposto para a ampliação do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Rio de Janeiro. O edifício destinado a funções acadêmicas e administrativas é composto por um volume horizontal, dividido internamente em três setores, dois dos quais estão separados do terceiro por uma ligação ponte no terceiro pavimento, sob a qual passa uma rua do complexo universitário.

Módulo 12			
0 + 1 = 1	6 + 1 = 7	12 + 1 = 1	18 + 1 = 7
1 + 1 = 2	7 + 1 = 8	13 + 1 = 2	19 + 1 = 8
2 + 1 = 3	8 + 1 = 9	14 + 1 = 3	20 + 1 = 9
3 + 1 = 4	9 + 1 = 10	15 + 1 = 4	21 + 1 = 10
4 + 1 = 5	10 + 1 = 11	16 + 1 = 5	22 + 1 = 11
5 + 1 = 6	11 + 1 = 0	17 + 1 = 6	23 + 1 = 0

Tabela 1. Aritmética modular.

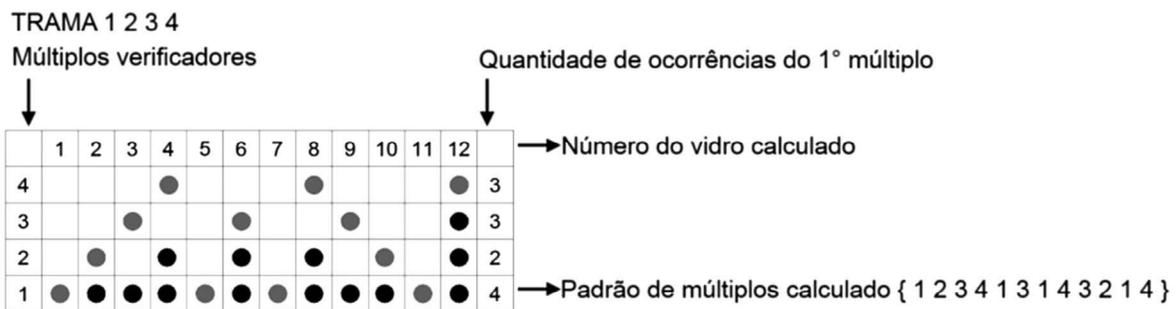


Fig. 1. Trama de múltiplos (fonte: o autor).

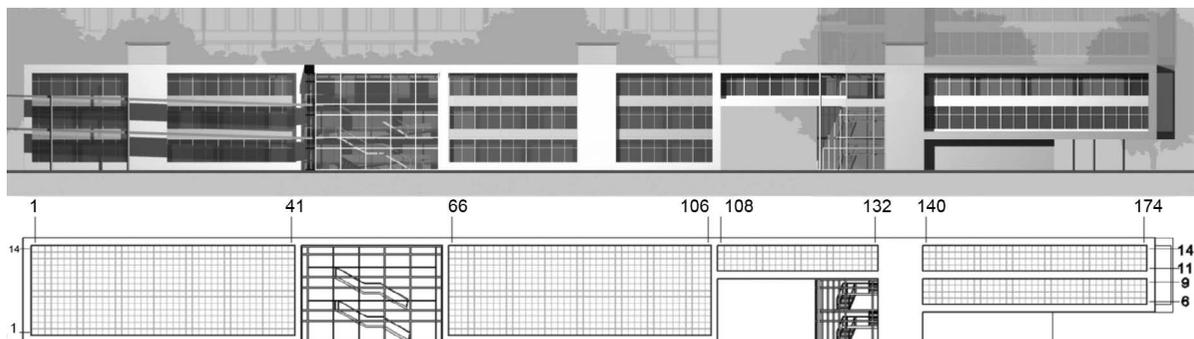


Fig. 2. Render e matriz de vidros da fachada (fonte: o autor).

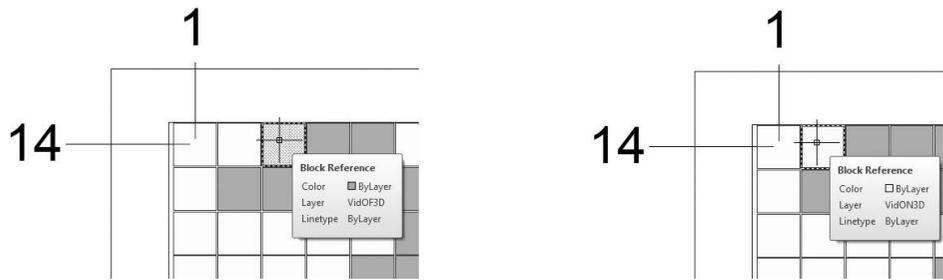


Fig. 3) Diferenciação do bloco da fachada (fonte: o autor).

Dentre as propostas plásticas estudadas, imaginou-se uma solução de pele de vidro cobrindo cada um dos três setores, excluídos os acessos. A pele é composta de elementos superficiais quadrados com dimensão 0.625m x 0.625m. Forma-se uma matriz de vidros polarizados numerada de acordo com o esquema da figura 2.

Cada vidro pode funcionar em dois estados: ligado e desligado. O objetivo do algoritmo é formar tramas geométricas pela diferenciação visual do estado do vidro. No modelo 3D preparou-se um layer específico com cor diferente para cada estado (VidOF3D e VidON3D). O vidro é um *Box* 3D coberto por uma entidade *Solid* e transformado em *Block* com nome Mod625. O algoritmo seleciona todos os *Blocks* de nome Mod625 e faz o cálculo dos múltiplos comparando a posição numérica do vidro dentro da matriz retangular de fileiras e colunas com uma condição de congruência modular estipulada arbitrariamente. Se a condição é cumprida, muda-se o layer do bloco. O layer VidOF3D tem cor RGB 118,163,108, já o layer VidON3D tem cor RGB 255,255,255.

3. O algoritmo codificado em VisualLisp.

A seguir se apresenta o código da seção principal da função. Ele inicia as variáveis de ambiente e gera as variáveis *filann* contendo listas de números no intervalo 1 a 175 e estrutura [(1 1) (1 2) (1 3)... (1 175)].

```
;; Função inicial
(defun c:cinetica ()
  (EchoOF) (pickOF) (ambiente_AX) (VidrosON)
  (setq fila01 (fila 1) fila06 (fila 6) fila11 (fila 11)
        fila02 (fila 2) fila07 (fila 7) fila12 (fila 12)
        fila03 (fila 3) fila08 (fila 8) fila13 (fila 13)
        fila04 (fila 4) fila09 (fila 9) fila14 (fila 14)
        fila06 (fila 6) fila10 (fila 10)
        multiplo 1 temporizador 5 intervalo 0)
  (Ciclo_de_filas) (pickON) (EchoON))

;; Formação de lista de filas e colunas na forma (x y)
(defun coluna (X) (mapcar '(lambda (m) (list X m)) (numeros 14)))
(defun fila (Y) (mapcar '(lambda (m) (list m Y)) (numeros 175)))

(defun numeros (n / i lst) (setq i 1) (repeat n (setq lst (cons i lst) i (1+ i))) (reverse lst))
(defun veloc () (+ temporizador intervalo))
(defun pulo (n) (+ multiplo n))

;; Verifica se o número p é múltiplo de n
(defun es_mult? (p n) (and (not (zerop p)) (zerop (rem p n))))
;; Calcula o ponto de seleção baseado na dimensão do vidro quadrado de 0.625
(defun Mod (x y) (mapcar '+ '(0 0 0) (list (- (* 0.625 x) 0.3125) (- (* 0.625 y) 0.3125))))
```

No código que segue se processa ciclicamente o estado da fachada em ciclo de 5 estados (função *repeat* com parâmetro=5). Cada ciclo calcula as 14 fileiras horizontais da fachada de acordo a um ordenamento arbitrário. Neste exemplo, o cálculo inicia-se pelas fileiras centrais 07 e 08, evoluindo em sentido ascendente e descendente por fileiras adjacentes: 06 descendente, 09 ascendente; 05 descendente, 10 ascendente; 04 descendente, 11 ascendente, sucesivamente até a fileira mais baixa 01 e a mais alta 14.

```
(defun Ciclo_de_filas () (repeat 5 [(Provid fila07 (Pulo 1) (veloc)) (Provid fila08 (Pulo 1) (veloc))
  (Provid fila06 (Pulo 2) (veloc)) (Provid fila09 (Pulo 1) (veloc))
  (Provid fila05 (Pulo 3) (veloc)) (Provid fila10 (Pulo 1) (veloc))
  (Provid fila04 (Pulo 4) (veloc)) (Provid fila11 (Pulo 1) (veloc))
  (Provid fila03 (Pulo 5) (veloc)) (Provid fila12 (Pulo 1) (veloc))
  (Provid fila02 (Pulo 1) (veloc)) (Provid fila13 (Pulo 1) (veloc))
  (Provid fila01 (Pulo 2) (veloc)) (Provid fila14 (Pulo 1) (veloc))
  (command "_delay" 1000)
  (setq multiplo (if (= multiplo 5) 1 (1+ multiplo))))))

(defun Provid (lis mult tempo) (mapcar '(lambda (m) (cond [(es_mult? (car m) mult)]
  (setq ptsel (Mod (car m) (cadr m))
        vidro (ssget ptsel '[(0 . "INSERT") (2 . "Mod625")]))
  (if vidro (Trocaestado vidro mult))
  (command "_delay" tempo))) lis))

(defun Trocaestado (vid mod) (setq obj (vlax-ename->vla-object (ssname vid 0)) layerVidro (vla-get-layer obj))
  (vla-put-layer obj (if (= "VidON3D" layerVidro) "VidOF3D" "VidON3D")))
```

4. Resultados.

Os resultados apresentados podem ser vistos em sequências animadas gravadas em formato *Mp4* no seguinte endereço https://sites.google.com/a/poli.ufrj.br/dc_menegotto/programacao-autolisp/ArqCin

A aritmética modular mostrou ser uma ferramenta matemática versátil para gerar tramas e estudar esteticamente o movimento da fachada. A pesquisa encaminha-se para a formalização de bibliotecas de padrões e tipos de movimentos, através de uma representação simbólica abstrata que leve em conta a forma geométrica estática dos elementos construtivos associando-as com as formas dinâmicas derivadas dos padrões de movimento programados. O método pode ser estendido para o controle dinâmico de outros elementos arquitetônicos (brises, esquadrias, fachadas multicamadas) visando inter-relacionar parâmetros ambientais de eficácia energética.

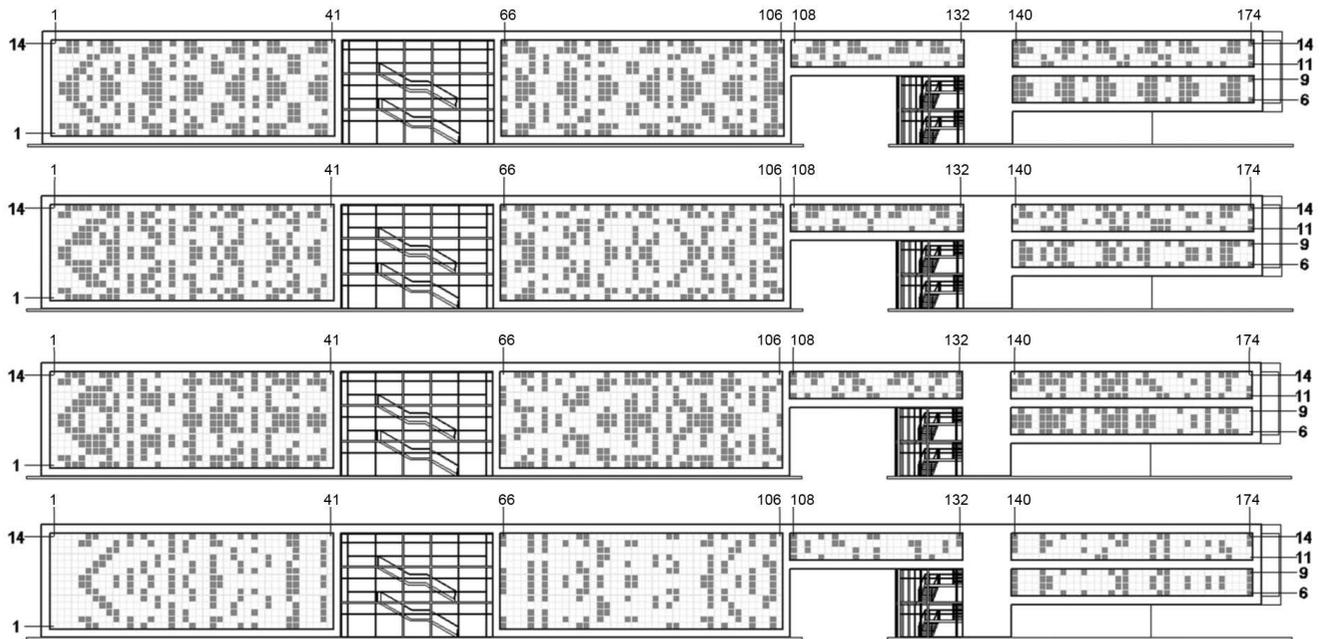


Fig. 4. Alguns estados da fachada (fonte: o autor).

Referências

Menegotto, José Luis. A caixa de música. Contraponto formal entre a arquitetura e a música. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2009.

Moloney, Jules. *Designing kinetics for Architectural Facades: State Change*. Routledge. London, New York, 2009.