

# Mosaicos Artísticos

CRISTINA NADER VASCONCELOS, PAULO ROMA CAVALCANTI.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Laboratório de Computação Gráfica,  
Centro de Tecnologia, Bloco H s/n, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
cristina@dcc.ufrj.br  
roma@lcg.ufrj.br

**Resumo:** A Computação Gráfica imita a arte da construção de mosaicos. Observa-se nessas composições duas propriedades principais entre seus tijolos: proximidade e obediência à orientação das arestas idealizadas pelo artista. Este trabalho sugere um método de escolha automática de tamanhos variados para os tijolos para simulação de mosaicos. Esta variação, ao mesmo tempo, soluciona o problema do detalhamento, atenua a sobreposição entre tijolos e aumenta o preenchimento do espaço da imagem.

## Palavras chave

Mosaico. Diagrama de Voronoi. Frame-buffer. Z-buffer. Proximidade entre polígonos. Aceleração por hardware gráfico. Gradiente.

## 1. Introdução

O mosaico procura explorar a abstração do olho humano ao visualizar a imagem que os tijolos produzem. Esta arte já era explorada pelos povos da antiguidade.

Com base na definição original de composição formada por pedras coloridas, a Computação Gráfica simula a arte através do desenho e posicionamento de polígonos coloridos, espalhados de forma a compor uma imagem.

O trabalho *Simulating Decorative Mosaics* de Alejo Hausner[1] estabelece um algoritmo para construção de mosaicos a partir de uma imagem. O problema de posicionar os polígonos sobre a imagem do mosaico é apenas uma aplicação da resolução do problema maior de encontrar um método para posicionar um conjunto de partículas em uma configuração com energia mínima. A implementação utiliza o hardware gráfico para acelerar a busca e processamento dos cálculos da interação entre um polígono e sua vizinhança [2].

## 2. Construção de Mosaicos

Simular mosaicos consiste em gerar uma composição formada pelo posicionamento de “tijolos”, pequenos quadrados coloridos, de forma a transmitir a idéia de uma imagem idealizada pelo artista.

## 2.1 Resolução versus Percepção

A capacidade do ser humano em detectar detalhes ao observar uma cena é chamada acuidade visual[3]. A nossa percepção de detalhes depende basicamente de três fatores: 1. a distância entre a imagem e o olho; 2. a densidade de resolução da imagem e 3. a abertura do olho.

Ao se distanciar do mosaico o observador tende a integrar os tijolos e abstrair o espaço em branco existente entre eles, formando uma imagem que se aproxima da originalmente idealizada pelo artista.

## 2.2 Posicionamentos e número de tijolos

Os artistas tradicionais posicionam os tijolos com a técnica de embrechamento. Essa técnica consiste em colocar os tijolos um a um e deslocar suavemente os tijolos seus vizinhos, já posicionados sobre a composição. Novos tijolos vão sendo inseridos pelo artista, até que o mosaico seja considerado cheio o suficiente para permitir a visualização de uma imagem contínua.

O posicionamento dos tijolos dentro da imagem procura deixá-los os mais próximos possíveis uns dos outros minimizando a argamassa visível na imagem resultante. A intenção do artista é aumentar a qualidade de percepção da imagem idealizada. Essa qualidade também está diretamente vinculada ao número de tijolos. Imagens compostas por poucos tijolos tendem a não expressar detalhes, enquanto o aumento do número de peças tende a melhor defini-los.

## 2.3 Influência das arestas

Os tijolos devem seguir a influência da orientação dos contornos dos objetos da imagem idealizada pelo compositor do mosaico. O artista, para obter esse efeito,

inclina os tijolos de modo a seguirem a orientação da aresta mais próxima.

A informação da inclinação contida na aresta é passada adiante para os tijolos vizinhos de forma a manter uma continuidade na vizinhança.

Quanto mais perto um tijolo estiver da aresta, maior deve ser a influência dessa angulação sobre ele.

### 2.4 Área de cobertura versus Influência das arestas

O objetivo de maximizar a área da imagem coberta pelos tijolos é contrário ao de alinhá-los segundo a orientação das arestas, já que a área máxima possível de ser encontrada acontece com todos os tijolos seguindo a mesma orientação [1]. O artista pondera entre estes dois objetivos para a escolha do número de tijolos.

### 2.5 Tamanho dos tijolos

O artista acomoda tijolos de tamanhos variados para atender a necessidade de expressar detalhes na imagem. Desta forma, aumenta também a área coberta da imagem e a influência das arestas.

O nível de detalhamento é inversamente proporcional ao tamanho dos tijolos. Os tijolos pequenos preenchem as lacunas e fornecem uma melhor aproximação da curva da aresta.

### 2.6 Escolha da cor dos tijolos

A escolha da cor a ser aplicada ao material, ou a seleção da pedra a ser usadas no mosaico, é feita com o intuito de representar a região ocupada pelo tijolo. Essa escolha estabelece uma relação de composição entre os tijolos que representam o mesmo objeto da imagem e estabelece uma relação de separação entre objetos distintos. Durante a visualização da imagem formada pelo mosaico e integração dos tijolos em uma imagem contínua estas relações de composição e separação são essenciais.

## 3. Simulação de Mosaicos

Sob o ponto de vista da Computação Gráfica a descrição da construção de mosaicos feita na seção anterior estabelece problemas algorítmicos.

A implementação tem como entrada uma imagem contínua a ser simulada pelo mosaico. Através de um lápis virtual, selecionam-se as arestas consideradas de importância semântica para definição dos objetos da imagem. A informação de inclinação das arestas é extraída a partir deste conjunto de arestas selecionadas e propagada por toda imagem por um campo vetorial.

Quadrados coloridos rasterizados pela biblioteca OpenGL [2] representam os tijolos.

O número de tijolos pode ser alterado através da interface do programa segundo um critério pessoal.

Neste ponto, ainda há três condicionantes a atender: 1. precisa-se de um algoritmo para solucionar o problema de posicionar os quadrados e de forma ótima; 2. de um campo vetorial que represente corretamente a difusão da informação das arestas e 3. de um algoritmo que encontre a cor ideal para colorir os tijolos.

### 3.1 Posicionamento dos tijolos

Cada quadrado tem sua posição estabelecida em relação ao seu ponto central. Precisa-se dividir a imagem em regiões a serem ocupadas pelos quadrados.

Dado um conjunto  $S$  de pontos no plano, o Diagrama de Voronoi é formado por regiões computadas a partir deste conjunto de pontos. Todos os pontos no plano com menor distância a um ponto  $p$  em  $S$ , do que a qualquer outro ponto em  $S$ , formam a região do ponto  $p$ . Assim, o plano é repartido em regiões geradas de acordo com a distribuição dos pontos em  $S$  [4].

Usando a medida de distância Euclidiana ( $DE$ ) o Diagrama de Voronoi divide o plano em hexágonos aproximados. Adaptando o Diagrama para usar a medida de Manhattan ( $DM = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ ) o plano é dividido em formas retangulares, ideais ao posicionamento de polígonos deste tipo (Figura 1).

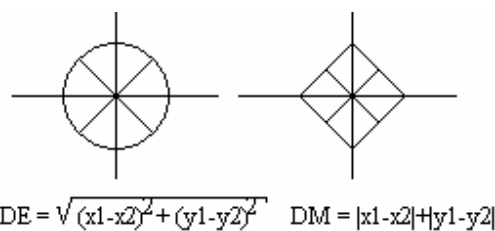


Figura 1 Curvas de Nível das funções de distâncias.

A implementação do Diagrama de Voronoi aproveita o hardware gráfico para agilizar a computação dos seus cálculos [5]. A idéia original é renderizar no z-buffer cones coloridos uniformemente com ápices nos pontos do conjunto  $S$ . A superfície do cone é a imagem da função distância euclidiana para duas variáveis  $x$  e  $y$  projetada ao longo do eixo  $z$ . Cada cone tem uma cor única gerada aleatoriamente e tem raio da base suficiente para cobrir toda a imagem.

Na leitura posterior feita da imagem gerada no frame-buffer cada região é identificada por sua cor e reúne

os pontos da imagem mais próximos do ponto gerador da região do que qualquer outro ponto gerador do conjunto  $S$ . As regiões encontradas tendem a ter o formato aproximado de um hexágono.

Para conseguir a divisão do plano em retângulos faz-se a adaptação da função de distância utilizada. Os cones são trocados por pirâmides de base quadrada, imagem da função de Manhattan para distância em duas variáveis.

Utilizando o Diagrama de Voronoi pela distância de Manhattan com a propriedade extra de seus pontos geradores serem também centros de massa de suas regiões, é feito o posicionamento dos centros dos tijolos nos pontos geradores encontrados.

### 3.2 Inclinação das arestas

A procura por um campo vetorial que traduza a influência das arestas é satisfeita pela análise da função gradiente [6].

As arestas presentes na imagem podem ser detectadas utilizando filtragem por serem visualmente resultantes de regiões com grande contraste, ou seja, mudanças rápidas nas intensidades das cores. Aplicando a teoria matemática da função gradiente, essas mudanças rápidas resultam em altas magnitudes no Mapa do Gradiente.

A extração das arestas da imagem por filtragem não produz resultados satisfatórios por gerar o aparecimento de tijolos inclinados por influências locais que não traduzem a informação semântica geral da imagem e dificultam a continuidade dentro de um objeto.

Para os objetivos propostos na construção dos mosaicos, o artista pré-seleciona apenas as arestas a serem consideradas como sendo de importância semântica.

O campo vetorial gradiente da imagem formada pelas arestas selecionadas somente transmite a angulação aos pontos exatamente sobre a aresta ou imediatamente vizinhos. Para o mosaico, deseja-se que toda a vizinhança seja afetada pela inclinação da aresta mais próxima.

A função de distância do conjunto de aresta estabelece as regiões de influência da inclinação de cada aresta. Um ponto pertence ao domínio de uma aresta, se está mais próximo dela de que qualquer outra. Deste modo é estabelecido um Diagrama de Voronoi com geradores de formato não apenas pontual mas também de segmentos de reta [5].

O desenho 3D é feito com o teste de profundidade do OpenGL ativado [2], implementado em hardware, com cada aresta representada por uma cor única. Esta unicidade estabelece a identificação do domínio da aresta.

Assim, a imagem resultante é constituída pelas cores das regiões que serão afetadas por cada aresta.

Ao associar tons de cinza às profundidades, encontra-se o campo vetorial sobre toda a imagem. A partir da análise da variação das cores, a direção da mudança dos tons de cinza traduz a inclinação da aresta mais próxima e indica a inclinação do tijolo centralizado no ponto.

### 3.3 Escolha das cores

A cor dos quadrados deve representar a região da imagem ocupada pela sua área. Este problema se resume à quantização das cores da imagem em células não uniformes previamente definidas.

Cada componente cromática,  $r$ ,  $g$ ,  $b$ , dos pixels interiores à região é somada e a região é colorida pela média, ou seja, a cor recebida pelo tijolo será a média ponderada pela frequência das cores presentes no interior da região. Em consequência, cores não presentes na imagem original podem surgir, mas o método funciona bem no caso geral [3].

Nessa etapa da computação é obtida uma imagem do Diagrama de Voronoi repartindo o espaço da imagem entre suas regiões, coloridas de acordo com a área da imagem original.

## 4. Inovações trazidas por este estudo

Com o intuito de melhorar as imagens obtidas nos primeiros resultados da implementação, surgiu a necessidade de adaptar localmente o tamanho dos tijolos.

As inovações foram feitas com o objetivo de não aumentar o trabalho manual e o tempo de computação.

### 4.1 Tamanho dos tijolos

Para um mosaico de proporções  $H*W$ , com  $N$  peças de tamanho uniforme, uma boa aproximação para o tamanho do lado do quadrado é  $s = \alpha*(H*W/N)^{1/2}$ . O  $\alpha$  é um fator inserido para amenizar o erro gerado pela variação do campo vetorial e, portanto,  $\alpha$  é menor que 1.

O estudo de Hausner [1] propõe a variação de tamanho com o artista pré-selecionando áreas e marcando cada uma com um fator de correção distinto. Embora muito interessante, esta proposta aumenta a necessidade de trabalho não intelectual do artista.

Este estudo propõe um novo método para criação de mosaicos com peças de tamanho variado, sem a pré-seleção do artista. Ao invés de vincular o tamanho dos tijolos à proporção da área da imagem, propõe-se uma

adaptação local, proporcional ao tamanho da região de Voronoi representada pelo polígono.

O lado de cada tijolo é calculado como sendo  $\alpha \cdot (n)^{1/2}$ , onde  $\alpha$  é o fator de correção e  $n$  é o número de pixels interiores à Região de Voronoi gerada pelo centro de cada quadrado. Esta proporção aumenta a qualidade resultante da imagem por ser uma aproximação melhor da área da região de Voronoi, idealmente ocupada pelo tijolo.

Este método não aumenta o tempo assintótico de computação. O cálculo das quantidades de pixels em cada região de Voronoi é feito durante o cálculo de busca pelo centro de cada região. Para encontrar o centro de uma região é necessário identificar quais dos pixels pertencem a uma região. A cada pixel identificado como pertencente à região, a soma total de pixels dessa região é incrementada.

Com esse método foram obtidas melhorias significativas na maximização da ocupação da área e na diminuição de sobreposições de polígonos, atendendo aos requisitos qualitativos de um mosaico.

Como as regiões de Voronoi possuem tamanhos variados, algumas delas possuem áreas menores do que a área definida proporcionalmente à área da imagem total; o oposto também acontece.

Considerando uma região de Voronoi com área menor do que a área do quadrado definido proporcionalmente à imagem total, no novo cálculo esta área passa a ser representada por um quadrado menor, diminuindo a área ultrapassada em relação à sua região de Voronoi, reduzindo a sobreposição entre polígonos vizinhos.

No caso oposto, estão as regiões de Voronoi com áreas maiores do que a do quadrado proporcional à imagem. A adaptação do tamanho diminui as áreas em branco, pois os quadrados proporcionais não ocupam toda a região destinada a ele.

#### 4.2 Efeito Colagem

Ao suavizar a definição de  $\alpha$  (fator de correção no cálculo do tamanho dos tijolos) permitindo que receba valores maiores que 1, um novo efeito artístico é obtido. O valor de alfa maior que 1 implica na sobreposição proposital dos tijolos. O seu valor é ajustado com o objetivo de completar o espaço da imagem e eliminar a área branca visível. A imagem obtida simula a imagem formada pela colagem de quadrados coloridos uniformemente, cada um por uma cor.

A oclusão das áreas brancas na imagem é alcançada mais rapidamente com o aumento do alfa pelo método de

tijolos de tamanhos variáveis. Estas imagens também demonstram um melhor preenchimento da área da imagem pelo método de tijolos de tamanho variável em oposição ao método de tijolos uniformes.

### 5. Formalização do algoritmo

A computação do campo vetorial que traduz a inclinação do conjunto de arestas sobre a imagem pode ser pré-calculada. A divisão da área da imagem em regiões, o posicionamento, a orientação e a coloração dos tijolos integram o laço principal do algoritmo.

#### 5.1 Pré-computação

Na técnica manual para confecção de mosaicos, o artista insere e rotaciona uma nova peça de forma a seguir a inclinação da aresta mais próxima e garantir continuidade estética no padrão das inclinações de tijolos vizinhos.

A informação de proximidade sobre o plano está intrínseca ao conjunto de arestas a serem destacadas. Esta informação pode ser pré-processada e passada como entrada ao algoritmo na forma de uma divisão do plano da imagem em áreas de influência de cada aresta pela passagem do campo vetorial sobre a imagem.

A área de influência de uma aresta é formada por todos os pontos do plano da imagem mais próximos a esta aresta do que a qualquer outra aresta do conjunto. Sob este ponto de vista, definir as áreas de influência das arestas é encontrar o Diagrama de Voronoi para um conjunto de segmentos.

O Diagrama de Voronoi, tradicionalmente construído a partir de um conjunto de pontos, é adaptado para usar um conjunto de segmentos de reta como geradores.

O pré-processamento se inicia com a escolha de quais arestas carregam informação semântica essencial para interpretação da imagem do mosaico. Para marcar este conjunto de arestas o usuário utiliza a ferramenta oferecida para desenho e seleciona as arestas que considera ter informação essencial. Essa ferramenta de desenho fornece para a nova aresta uma cor que seja única dentro do conjunto de arestas já desenhadas.

O conjunto de arestas da imagem é projetado ortogonalmente no eixo Z compondo a imagem da função distância às arestas. Os pontos da aresta são associados à distância zero, os pixels imediatamente vizinhos são associados à distância um, e assim por diante. Usando o valor da distância encontrado como valor de profundidade dos pixels encontramos a imagem da função distância.

O lugar geométrico dos pontos que possuem a mesma distância a um ponto é o círculo. A imagem da função distância, projetada ao longo do eixo  $z$ , é representada por um cone formado pela seqüência dos círculos associados às distâncias. Usando artifícios similares constata-se que para um segmento de reta a imagem da função distância é representada por uma tenda armada sobre o segmento de reta. Desta forma, cada uma das arestas do conjunto terá como imagem para a função distância tendas armadas sobre seus segmentos de reta.

Ao rasterizar as superfícies das tendas em uma projeção ortogonal com a câmera posicionada em cima dos cones o conjunto de superfícies visíveis encontrado pelo  $z$ -buffer em hardware gráfico é o próprio Diagrama de Voronoi [5]. A profundidade reflete o valor da função distância e a superfície visível em um ponto é a que possui menor distância do ponto à aresta geradora da superfície.

Para obter as superfícies das tendas, são feitas parametrizações das curvas das arestas, percorridas renderizando-se cones com ápice sobre pontos das arestas.

Um tijolo centralizado em um ponto qualquer sobre o plano da imagem recebe a informação de inclinação da aresta mais próxima ao seu centro. A informação de inclinação é retirada do gradiente da imagem formada pelas superfícies visíveis do conjunto de tendas 3D sobre as arestas. O gradiente é usado para transmitir a direção de mudança de altura da superfície que reflete a orientação das arestas.

A passagem de um filtro gradiente em  $x$  e em  $y$  sobre a imagem 3D, formada pelas tendas, permite encontrar as coordenadas dos vetores de orientação segundo a influência das arestas. Após a passagem do filtro é possível saber, para qualquer ponto do plano, qual a orientação do campo vetorial sobre o ponto, traduzindo a influência da angulação da aresta mais próxima ao ponto.

Esta etapa de pré-computação disponibiliza para a próxima etapa a imagem com os valores das coordenadas vertical e horizontal do vetor gradiente. Os valores das magnitudes dos vetores no campo gradiente estão mapeados nas tonalidades de cinza formando a imagem do gradiente do conjunto de arestas 3D.

## 5.2 Laço principal

Esta etapa é responsável por dividir o plano da imagem em regiões a serem ocupadas pelos tijolos e por posicioná-los nos centros de massa destas regiões. A quantidade de tijolos para compor o mosaico é passada pela interface do programa.

Inicia-se a busca pela disposição dos pontos com uma chuva de pontos em posições randômicas sobre a imagem. Os pontos representam as disposições dos centros dos tijolos.

Além da chuva de pontos, a imagem inicial e a imagem do gradiente do conjunto de arestas semânticas formam as entradas para computar a busca pela disposição dos pontos sobre o plano em um Diagrama Central de Voronoi orientados segundo a proximidade ao conjunto de arestas.

A cada fim de iteração, um Diagrama de Voronoi com conjunto geradores nos pontos é traçado. A soma das distâncias entre as posições dos pontos formadores das regiões do Diagrama de Voronoi e o centro de massa das regiões estabelece o critério de saída do laço de repetição. Quando a soma entre essas distâncias for igual a zero cada ponto está sobre o centro de sua região, pelo fato de que a função distância é estritamente positiva.

Operações de movimentação dos pontos sobre a imagem e análise da nova configuração se repetem até convergir sobre o critério exposto.

A iteração começa mapeando-se cada ponto como o vértice de uma pirâmide de base quadrada. O vetor direcional pré-computado estabelece a orientação para desenho da pirâmide sobre este ponto. Os valores das coordenadas  $x$  e  $y$  do vetor de angulação são lidas das imagens do gradiente horizontal e vertical respectivamente.

As pirâmides são rotacionadas ao redor da direção  $z$  segundo a inclinação.

As pirâmides são renderizadas em projeção ortogonal no plano  $xy$  usando o  $z$ -buffer. Neste passo é obtido o Diagrama de Voronoi para o conjunto dos pontos.

Através da análise das cores da imagem formada no frame-buffer encontra-se o centro de cada região. Para cada ponto nesta imagem é identificada a região que pertence através da unicidade da coloração dos pontos da mesma região em relação a todas as outras regiões. A coordenada do ponto é somada ao centro de massa e é acrescido o número de pontos da região. Ao fim da leitura dos pontos da imagem do frame-buffer, os novos centros são encontrados pelo valor total dessas somas ponderadas pela quantidade de pontos em cada região. Os pontos são movidos para o centro de suas regiões.

O teste de convergência é feito analisando a movimentação dos pontos. Quando a diferença entre a soma das distâncias entre as posições atuais dos pontos e a soma das posições computadas no laço anterior for menor que um fator escolhido pelo usuário o laço termina.

Finalizada a divisão do plano em regiões de Voronoi com adaptação para uso da distância de Manhattan, fica faltando posicionar e colorir os tijolos sobre estas regiões. Ao término do laço principal, a disposição encontrada dos pontos sobre o plano é usada como disposição dos centros dos tijolos. A divisão do plano da imagem feita pelo Diagrama de Voronoi tende a formar regiões de estrutura retangular. A melhor acomodação dos tijolos dentro desta região está vinculada a sua rotação na mesma orientação que a sua pirâmide.

Alcançada a convergência, as regiões de Voronoi não possuem necessariamente a mesma área. Esta diferença entre os valores das diversas áreas implica em um melhor preenchimento do espaço da imagem em mosaicos formados por peças de tamanho variado. O fator qualitativo do preenchimento por tamanhos variados está vinculado à diminuição da sobreposição de tijolos acontecendo paralelamente a um maior preenchimento das áreas brancas. A escolha da cor dos tijolos é feita quantizando-se pela média das cores freqüentes no interior das regiões a serem representadas. A imagem do arquivo escolhido para construção do mosaico é lida e as cores de seus pixels, posicionadas em cada região, são somadas e ponderadas para formar a cor resultante no tijolo.

## 6. Resultados obtidos



Figura 2 Tijolos proporcionais à área da imagem.



Figura 3 Tijolos proporcionais à área da imagem.



Figura 4 Tijolos proporcionais à área ocupada

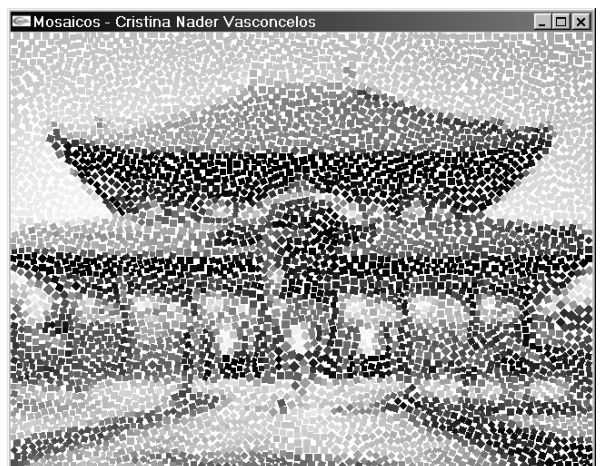


Figura 5 Tijolos proporcionais à área ocupada

Fixando-se o fator de correção  $\alpha$  e o número de tijolos, pode-se comparar os mosaicos obtidos com quadrados proporcionais à área da imagem (Figura 2, Figura 3) com os mosaicos obtidos com quadrados proporcionais à região de Voronoi (Figura 4, Figura 5).

Uma melhoria visível na qualidade da imagem resultante se explica pelo melhor espalhamento de quadrados grandes em posições antes não preenchidas e pela diminuição de quadrados pequenos em áreas de sobreposição, resultando em maior continuidade e preenchimento da imagem.

O efeito colagem, obtido pela sobreposição proposital dos tijolos (Figura 6, Figura 7) é formado pela rasterização dos quadrados com o fator de correção maior que 1.



Figura 6 Efeito colagem



Figura 7 Efeito colagem

## 7. Trabalhos Futuros

Como continuação deste trabalho destaca-se a busca por maior realismo na visualização do mosaico através da simulação de materiais dos tijolos pela aplicação de textura. Os polígonos utilizados, quadrados, facilitam o uso dessa técnica. Texturas com aspecto de mármore, granitos, azulejos, entre outras, aumentariam o realismo na visualização do mosaico.

## 8. Conclusão

A arte, como forma de expressão humana, está sempre se renovando. A construção de mosaicos conquista um novo patamar com o desenvolvimento de técnicas para sua simulação pela Computação Gráfica, imitando os materiais e motivos, ultrapassando a barreira do virtual, liberando a sua utilização em espaços somente possíveis de serem imaginados.

A idéia principal adotada para a simulação de mosaicos é a rasterização dos lugares geométricos da função distância de um conjunto de pontos e curvas no z-buffer. O lugar geométrico da função distância de um ponto está representado pela rasterização de um cone com ápice neste ponto. Para um segmento de reta, o lugar geométrico da função distância está representado por uma tenda armada sobre o segmento com semicones nas suas extremidades. Após renderizar as superfícies desses lugares geométricos no z-buffer, o problema de corte das superfícies visíveis é executado em hardware. Interpreta-se essa computação como a resolução do problema em duas dimensões sobre a divisão do plano da imagem em regiões de proximidade à lista de arestas. A classificação dos pixels de acordo com suas respectivas profundidades é a função inicialmente proposta ao z-buffer.

A aceleração por hardware gráfico na busca e processamento dos cálculos da interação entre um polígono e sua vizinhança facilita a compreensão do z-buffer como instrumento possível de se recorrer para auxiliar a resolução de problemas aparentemente sem ligação com seu propósito inicial. Com a proximidade computada entre um ponto sobre o espaço da imagem e o conjunto de arestas, a técnica manual de inclinar as peças do mosaico pode ser traduzida no processo automático. A influência sobre um tijolo centralizado em um ponto é extraída da análise do campo gradiente da imagem dos lugares geométricos da função distância. Em cada ponto a direção de seu vetor gradiente é a de maior crescimento da superfície do lugar geométrico naquele ponto.

Fica faltando resolver o problema de escolha dos pontos sobre o plano e o problema de posicionar os tijolos no plano. Inicialmente é feita uma distribuição aleatória

dos pontos sobre a área da imagem. Como o Diagrama de Voronoi tende a dividir o plano em polígonos regulares hexagonais, a solução encontrada para resolver o nosso problema é alterar a função de distância que passa a dividir o plano em polígonos retangulares adequados à topologia dos tijolos.

A partir das primeiras imagens geradas surgiu a necessidade de adaptar localmente o tamanho dos quadrados. O Diagrama de Voronoi estabelece uma relação de topologia similar entre suas regiões, mas não garante a produção de áreas de tamanhos uniformes. A inovação permitida por este estudo é vincular localmente a área dos tijolos à área da região de Voronoi. Com essa abordagem, melhorias significativas são obtidas na diminuição do espaço em branco do mosaico e na diminuição da sobreposição entre tijolos vizinhos.

## 9. Referências bibliográficas

- [1] HAUSNER, A. *Simulating Decorative Mosaics*. ACM Siggraph 2001. (Los Angeles CA, USA, 2001).
- [2] WOO, M., NEIDER, J., DAVIS, T., SHREINER, D. *OpenGL® Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, Version*
- [3] GOMES, J. e VELHO, L. *Computação Gráfica: Imagem*. Série de Computação e Matemática (Rio de Janeiro, IMPA, SBM, 1994).
- [4] FIGUEIREDO, L. H., CARVALHO, P. C. *Introdução à Geometria Computacional*. 18. Colóquio Brasileiro de Matemática. (Rio de Janeiro, IMPA, 1991).1.2(3rd Edition), 1999.
- [5] HOFF, K., KEYSER, J., LIN, M., MANOCHA, D. and CULVER, T. *Fast Computation of Generalized Voronoi Diagrams Using Graphics Hardware*. ACM Siggraph 1999 (Los Angeles, CA. USA, 1999).
- [6] SANDBERG, K. *Visualizing calculus: The use of the gradient in the image processing*, Dept of Applied Mathematics, University of Colorado at Boulder (USA, 1998).