5 Resultados

Neste capítulo, serão mostrados alguns resultados obtidos a partir do algoritmo de reconstrução proposto. Os resultados aqui apresentados permitem fazer avaliações sobre o funcionamento do algoritmo frente a curvas distintas, com número de pontos de amostragem e ruído variados, além de mostrar a influência do refinamento maior ou menor do *grid* no resultado final.

No capítulo anterior, mostrou-se um primeiro exemplo para o algoritmo de reconstrução. Como foi possível observar, o resultado da reconstrução, neste caso, apresentou bons resultados, mesmo havendo a presença de ruído nos pontos de amostragem. Os primeiros exemplos deste capítulo mostram a reconstrução de um círculo de raio 1, com densidade uniforme de amostragem. Embora este exemplo seja mais simples que o anterior, ele é um bom caso para analisar as diferenças que ocorrem no resultado ao se variar o número de pontos de amostragem, o ruído e o refinamento do *grid*.

A figura 5.1 mostra uma ampliação da reconstrução de um círculo, variando-se o refinamento do grid e o ruído. A coluna da esquerda mostra a reconstrução de um círculo onde o grid foi dividido em 32^2 células, e na coluna da esquerda, o grid foi dividido em 512^2 células. As duas figuras de cima mostram a reconstrução de um círculo sem ruído nos pontos de amostragem. Nas duas figuras centrais, aplicou-se um ruído aos pontos sobre a curva, onde a distância do ponto perturbardo à sua posição original foi distribuída uniformemente entre zero e 0.01 (o que equivale a 1/8 do lado da célula, no primeiro caso, e ao dobro do lado da célula, no segundo caso), em uma direção aleatória, a cada ponto de amostragem. As figuras de baixo mostram o grid, e servem para se fazer uma comparação entre o ruído nos pontos e o tamanho das células.

É importante notar o efeito do refinamento do grid sobre a curva de reconstrução. Como era de se esperar, ao se utilizar um *grid* menos refinado, a curva de reconstrução preserva menos os detalhes da curva original, sendo mais suave do que se um *grid* mais refinado fosse utilizado. É importante notar que é muito difícil diferenciar um ruído de um detalhe na curva, e por isso, o refinamento do *grid* deve ser bem escolhido. Assim, se a curva possui



Figure 5.1: Reconstrução de um círculo - ampliação



Figure 5.2: Reconstrução de uma reta - efeitos da poda

detalhes menores (ou de dimensões próximas) ao ruído médio, estes detalhes serão perdidos, pois não será possível diferenciar os detalhes do ruído.

Na figura 5.2 observa-se a reconstrução de uma reta que vai do ponto (-1, 0.1) ao ponto (1, 0.1). Nela, é possível observar um efeito indesejável da aplicação da podagem sobre a figura. Observe que a podagem é necessária para que ramificações de comprimento pequeno sejam removidas da curva digital, mas a podagem também elimina algumas células das extremidades da curva, como contrapartida. Nesta figura, podemos observar que duas células com pontos de amostragem em seu interior foram indevidamente excluídas da curva final.

Já na figura 5.3, foi aplicado um ruído máximo de 0.2 sobre a mesma reta do exemplo anterior, e o grid foi refinado para 128² células, onde o lado de cada célula mede em torno de 0.02. Observe que, para este ruído de 0.2, um ponto de amostragem pode se afastar até 10 células de sua célula original, fazendo com que este exemplo mostre um ruído bastante crítico para o algoritmo. Como se pode observar na figura 5.4, a reconstrução apresenta alguns detalhes provenientes do alto ruído aplicado aos pontos de amostragem. A recostrução só foi possível graças à adaptatividade, à redução de ruído e à superamostragem, como se pode ver nos pontos azuis, que representam os pontos obtidos na etapa de pré-processamento.

A análise da relação entre ruído e tamanho da célula é muito importante. Seja um ponto de amostragem r, cuja projeção aproximada se quer obter, seja



Figure 5.3: Reconstrução de uma reta - efeitos do ruído



Figure 5.4: Reconstrução de uma reta - zoom



Figure 5.5: Inseto

a célula c(x, y), de lado l, a célula do grid à qual pertence o ponto r e seja n^2 o tamanho da vizinhança utilizada. Para calcular a projeção aproximada de r, serão levados em consideração os pontos de amostragem das célula c(x+i, y+j), onde $-n/2 \le i \le n/2$ e $-n/2 \le j \le n/2$. Se o ruído for próximo de nl/2, os pontos ficarão muito "espalhados" na vizinhança da célula central, não sendo possível obter informações significativas sobre a curva nesta região. Através de experimentações realizadas com o algoritmo proposto, chegou-se a conclusão que um ruído máximo igual a nl/6 apresenta bons resultados na reconstrução, pois as características da curva podem ser bem captadas pelo algoritmo.

O exemplo seguinte (figura 5.5) mostra vários aspectos interessantes da reconstrução: curvas com trechos onde a curvatura é muito grande, vários componentes e singularidades. Observe na figura 5.6 que a reconstrução obtida suavizou a alta curvatura existente no vértice da curva. Isto aconteceu porque a distribuição dos pontos de amostragem fez com que a quina fosse representada por duas células, tornando a representação da quina mais suave. Neste exemplo também se observa como o algoritmo funciona nas singularidades. Devido ao ruído aplicado aos pontos, foram obtidas duas configurações diferentes nas singularidades. Na figura na figura 5.6, observa-se 4 células conectadas entre si, enquanto que na figura 5.7, observa-se 3 células conectadas entre si. Nesta última figura, a interseção da curva original não foi exatamente representada devido ao ruído Ao invés de um cruzamento, foram criadas duas bifurcações próximas.



Figure 5.6: Inseto - singularidade com 4 células



Figure 5.7: Inseto - singularidade com 3 células



Figure 5.8: Dois círculos

O último exemplo (figuras 5.8 e figuras 5.9) mostra dois círculos com interseção. Observe que os círculos se cruzam em um ponto onde as curvas têm inclinações próximas. Isto gera problemas nas proximidades da interseção pois a distância entre os pontos de amostragem é muito pequena durante um grande trecho das curvas, o que faz que pontos de ambos os círculos estejam na mesma célula em várias células vizinhas. Observe que, na figura 5.10, pontos de ambos os círculos aparecem em 4 células vizinhas. Assim, as singularidades foram transformadas em duas bifurcações, onde o segmento entre elas tem um comprimento relativamente grande.

Outro aspecto analisado foi o desempenho do algoritmo. Os tempos de execução em cada uma das etapas do algoritmo foi medido, utilizando-se curvas com ruído máximo e números de pontos de amostragem diferentes, e para vários níveis de refinamento do *grid*. Para realizar tais testes, foi utilizado um Athlon XP 2.0 com 512MB de memória RAM. Estes tempos de execução, bem como alguns dados adicionais, podem ser observados nas tabelas a seguir. As colunas das tabelas mostram os seguintes valores:

- N_c : nível de refinamento (o número de células do grid é de N_c^2)
- $-T_{agrup}$: tempo para executar o agrupamento, em milisegundos
- $-T_{red}$: tempo para executar a redução de ruído, em milisegundos
- $-T_{ups}$: tempo para executar a superamostragem, em milisegundos
- $N_{p,f}$: número de pontos após a superamostragem



Figure 5.9: Dois círculos - pontos de amostragem



Figure 5.10: Dois círculos - zoom

| N_c | T_{agrup} | T_{red} | T_{ups} | $N_{p,f}$ | T_{afin} | T_{poda} | T_{rec} | N_{rec} |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| 16 | 1 | 23 | 2 | 100 | 4 | 0 | 40 | 29 |
| 32 | 0 | 2 | 129 | 1203 | 2 | 3 | 19 | 60 |
| 64 | 1 | 8 | 204 | 2596 | 5 | 3 | 30 | 120 |
| 128 | 3 | 119 | 275 | 2681 | 7 | 0 | 43 | 240 |

Table 5.1: 100 pontos de amostragem, ruído máximo igual a zero

| N_c | T_{agrup} | T_{red} | T_{ups} | $N_{p,f}$ | T_{afin} | T_{poda} | T_{rec} | N_{rec} |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| 16 | 5 | 150 | 1 | 1000 | 2 | 0 | 45 | 28 |
| 32 | 1 | 54 | 81 | 1000 | 1 | 3 | 17 | 60 |
| 64 | 1 | 126 | 42 | 1000 | 4 | 1 | 21 | 120 |
| 128 | 1 | 267 | 205 | 1010 | 8 | 0 | 29 | 240 |
| 256 | 1 | 412 | 969 | 14634 | 6 | 1 | 156 | 484 |
| 512 | 4 | 800 | 2024 | 31738 | 12 | 4 | 331 | 964 |
| 1024 | 15 | 3668 | 4890 | 33167 | 41 | 16 | 714 | 1932 |

Table 5.2: 1000 pontos de amostragem, ruído máximo igual a zero

| N_c | T_{agrup} | T_{red} | T_{ups} | $N_{p,f}$ | T_{afin} | T_{poda} | T_{rec} | N_{rec} |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| 16 | 21 | 8480 | 10 | 10000 | 2 | 0 | 112 | 28 |
| 32 | 6 | 4166 | 425 | 10000 | 1 | 2 | 85 | 60 |
| 64 | 6 | 2267 | 298 | 10000 | 4 | 1 | 87 | 120 |
| 128 | 2 | 1272 | 401 | 10000 | 8 | 0 | 99 | 240 |
| 256 | 6 | 967 | 619 | 10000 | 6 | 1 | 121 | 483 |
| 512 | 5 | 1152 | 1210 | 10011 | 13 | 4 | 143 | 484 |
| 1024 | 17 | 2882 | 5656 | 10030 | 41 | 16 | 209 | 484 |

Table 5.3: 10000 pontos de amostragem, ruído máximo igual a zero

- T_{afin} : tempo para executar o afinamento, em milisegundos
- T_{poda} : tempo para executar a poda, em milisegundos
- -
 T_{rec} : tempo para executar a reconstrução a partir da curva digital, em milis
egundos
- $-\ N_{rec}$: número de segmentos da curva de reconstrução

As etapas que mais consomem tempo de processamento são as etapas de redução de ruído e de superamostragem. O custo computacional da redução de ruído se deve principalmente a dois motivos: um deles é que o cálculos da projeção aproximada de um ponto é um cálculo complexo. O outro motivo é que a redução de ruído é de ordem equivalente ao número de pontos de amostragem vezes o número de pontos considerados em cada projeção. Um aspecto interessante que se pode extrair deste fato é que, ao contrário do que pode se esperar, o refinamento do grid pode tornar o algoritmo mais

| N_c | T_{agrup} | T_{red} | T_{ups} | $N_{p,f}$ | T_{afin} | T_{poda} | T_{rec} | N_{rec} |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| 16 | 0 | 92 | 0 | 1000 | 4 | 0 | 13 | 28 |
| 32 | 2 | 63 | 114 | 1000 | 1 | 3 | 13 | 60 |
| 64 | 0 | 36 | 125 | 1016 | 1 | 0 | 17 | 120 |
| 128 | 0 | 155 | 368 | 4017 | 3 | 0 | 51 | 240 |
| 256 | 1 | 372 | 911 | 13553 | 5 | 1 | 146 | 483 |
| 512 | 4 | 862 | 1849 | 24138 | 13 | 5 | 264 | 969 |

Table 5.4: 1000 pontos de amostragem, ruído máximo igual a 0.01

| N_c | T_{agrup} | T_{red} | T_{ups} | $N_{p,f}$ | T_{afin} | T_{poda} | T_{rec} | N_{rec} |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| 16 | 6 | 8268 | 4 | 10000 | 1 | 0 | 76 | 28 |
| 32 | 5 | 4138 | 425 | 10000 | 1 | 3 | 80 | 60 |
| 64 | 4 | 2304 | 268 | 10000 | 6 | 2 | 88 | 120 |
| 128 | 6 | 1265 | 409 | 10000 | 4 | 0 | 110 | 240 |
| 256 | 3 | 972 | 544 | 10000 | 5 | 1 | 121 | 484 |
| 512 | 7 | 1177 | 1523 | 13624 | 13 | 5 | 171 | 965 |

Table 5.5: 10000 pontos de amostragem, ruído máximo igual a 0.01

rápido em certas ocasiões. Na tabela acima, observa-se que para 10000 pontos, o nível de refinamento onde ocorreu o menor tempo de processamento da redução de ruído foi de 256^2 células. Isto ocorre porque, como as células são menores, elas possuem menos pontos de amostragem em seu interior, e por isso um número menor de células é levado em consideração para o cálculo da projeção aproximada. Já no caso da superamostragem, quanto menor for o tamanho da célula, mais pontos precisarão ser incluídos no cojunto de pontos de amostragem, pois a densidade de pontos necessária para grids muito refinados é mais alta. Isso significa que fazer a superamostragem de grids mais refinados tem maior custo computacional.