

5 Comparações e Resultados

5.1 Comparações

Métodos de deformação como os apresentados no capítulo 3 introduzem distorções sobre a malha do modelo. Dependendo da aplicação, certas distorções são desejáveis (mudança de volume) ou não (perda de feições). Neste capítulo comparamos as deformações obtidas por cada método segundo alguns critérios que nos permitirão avaliá-los numericamente. A variação de área e volume é usada para comparar o comportamento global das deformações obtidas, analisando seu comportamento em relação ao modelo e ao poliedro de controle, antes e depois da deformação. Através de histogramas analisaremos a variação do ângulo diedral e curvatura gaussiana, tendo assim uma idéia do comportamento local da malha do modelo.

5.1.1 Área

A primeira comparação entre os métodos é realizada por uma análise da relação entre as áreas do modelo e do poliedro de controle, antes e após as deformações. A área da superfície de malha é obtida através da soma das áreas de suas faces. O critério da área pode auxiliar na identificação de distorções globais sobre o modelo, como alterações de escala.

Na figura 5.1 temos as deformações do modelo mulher robô obtidas por cada método, com os vértices do poliedro de controle na posição original. Ao centro o modelo original e em volta, as deformações obtidas com cada coordenada. Optamos por mostrar primeiramente o resultado das deformações com o poliedro de controle na posição original para chamar atenção para algo observado em nossos experimentos, durante a implementação das coordenadas harmônicas. Observe na tabela 5.1 que, mesmo sem alteração da posição dos vértices do poliedro de controle, a área do modelo resultante da deformação com as coordenada harmônicas é alterada. Isso ocorre por que, como visto no capítulo 2, a solução de equação de Laplace é calculada inicialmente sobre

as células de um gride, assim a precisão linear do método é garantida apenas sobre as células desse gride. Usamos interpolação trilinear para obter o valor da função sobre os pontos do modelo. Isso faz com que o resultado das deformações esteja diretamente relacionado com o número de células do gride utilizado.

Observamos também na tabela 5.1 que os resultados obtidos na figura 5.1 com as coordenadas do valor médio e as coordenadas de Green comprovam a precisão linear dos métodos. O resultado obtido na deformação com as nossas coordenadas apresenta uma pequena diminuição da área do modelo (0.2 %), conseqüência da distância mensurada sobre o poliedro de controle ao calcularmos o distância interior. Observe que o resultado da correção feita sobre os erros no capítulo anterior depende ainda da distância mensurada sobre o poliedro de controle.

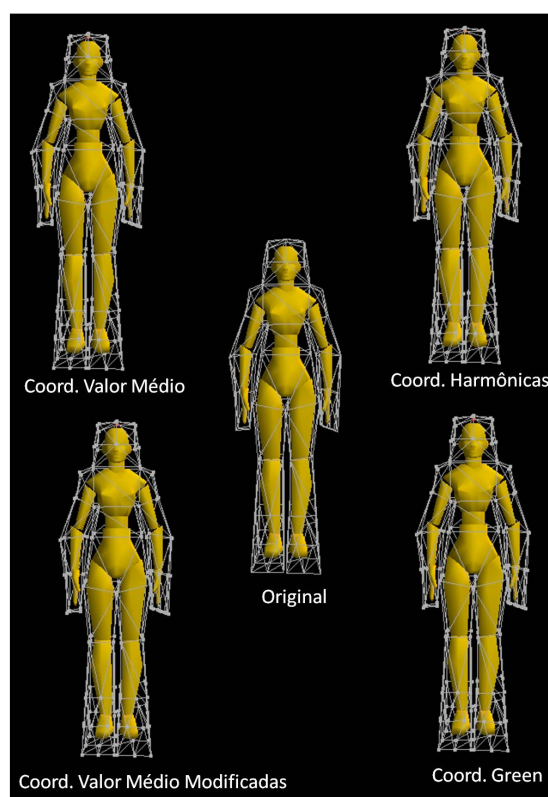


Figura 5.1: Deformações do modelo mulher robô obtidas com o poliedro de controle original.

5.1.2 Volume

O volume é usado como um segundo critério de comparação entre as deformações obtidas de forma global. Assim, como na seção anterior,

Método	Área
Modelo original	347.176
Coord. Valor Médio	347.176
Coord. Valor Médio Modificadas	346.448
Coord. Harmônicas	360.053
Coord. Green	347.170

Tabela 5.1: Área das deformações obtidas na figura 5.1.

analisamos o comportamento do volume do modelo antes e após as deformações e a sua relação com o volume do poliedro de controle antes e após também.

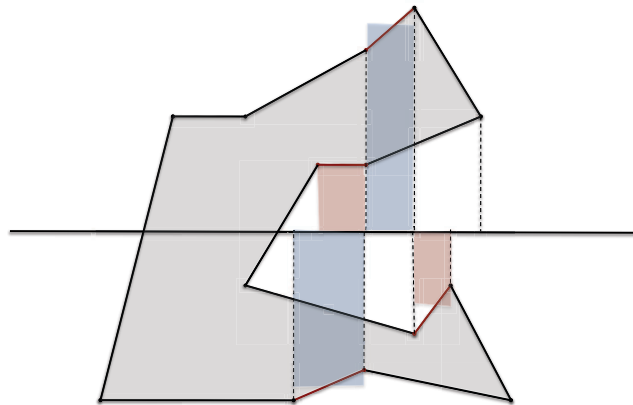


Figura 5.2: As regiões em azul e vermelho são exemplos das regiões que contribuirão, respectivamente, de forma positiva e de forma negativa.

O volume da malha é estimado pelo método dos trapézios, através da soma do volume de prismas triangulares retos. A base do prisma é determinada pela projeção de uma face da malha sobre o plano xy , possuindo uma de suas bases sobre o plano xy e a outra na altura média dos vértices da face projetada. O valor do volume do prisma receberá um sinal positivo ou negativo de acordo com a sua posição, a atribuição de sinais é ilustrada em duas dimensões na figura 5.2.

Na figura 5.3 temos as deformações do modelo triceratops obtidas por cada método. Deformamos o poliedro de controle através de uma rotação dos vértices de controle com maior influência sobre a região da cabeça do modelo e levantamos os vértices de controle com maior influência sobre as costas do modelo.

Ao observarmos a figura 5.3 percebemos que as deformações obtidas pelas coordenada do valor médio e as coordenadas harmônicas comprovam a flexibilidade e influência local dos pesos de controle dos métodos. A deformação realizada no poliedro de controle é tal que os pesos negativos existentes nas

coordenadas do valor médio não causam deformações indesejáveis. Um ponto importante é o comportamento da deformação obtida com as coordenadas do valor médio modificadas semelhante a deformação obtida com o método original, para deformações como está. Nas deformações obtidas por essas três coordenadas podemos observar a flexibilidade e influência local dos vértices de controle, a deformação no poliedro de controle é refletida para o modelo de forma bastante intuitiva.

Já na deformação obtida com as coordenadas de Green, observamos que o resultado reflete a principal característica do método. A tentativa de preservar a forma do modelo faz com que seu volume seja mesmo alterado do que nos outros métodos. Podemos observar também que a influência global dos vértices de controle faz com que regiões do modelo relativamente distantes às regiões do poliedro de controle deformadas também sofrem deformações.

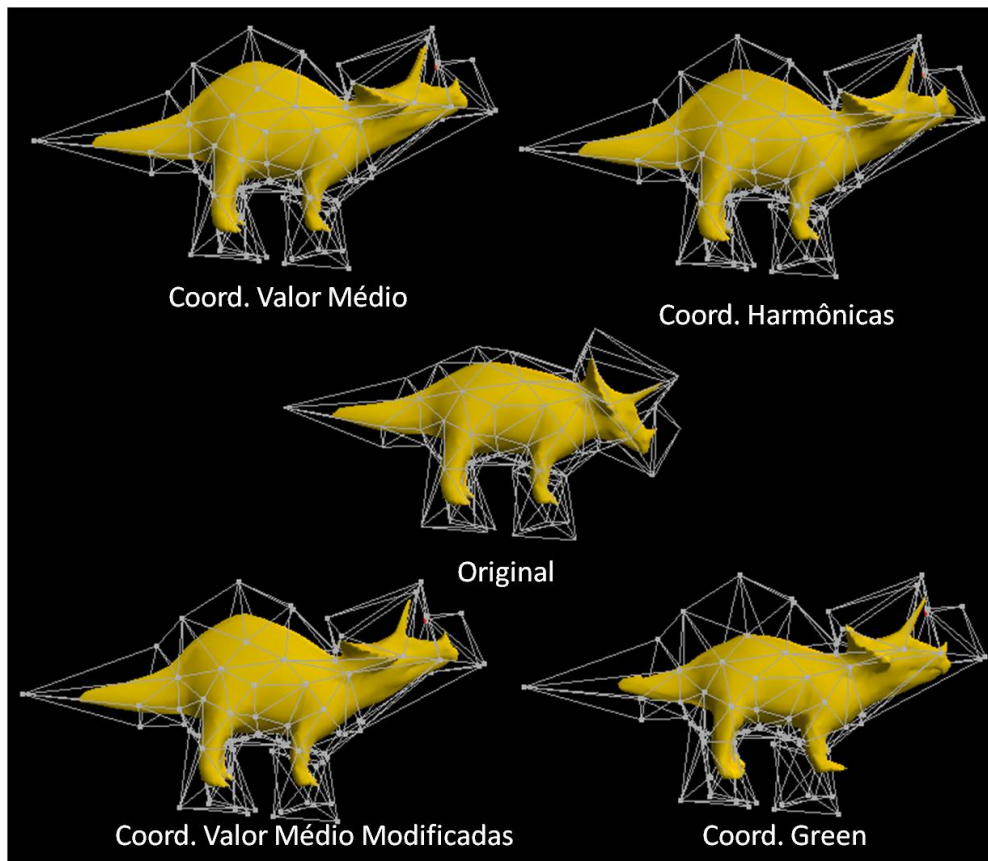


Figura 5.3: Deformações do modelo triceratops

Método	Volume	V_f/V_i
Modelo original	273.465	-
CVM	325.965	1.191
CVM Modificadas	328.341	1.200
CH	341.287	1.248
CG	311.292	1.138

Tabela 5.2: Volume das deformações obtidas na figura 5.3.

Poliedro	Volume	V_f/V_i
Posição inicial	751.780	-
Posição final	872.742	1.160

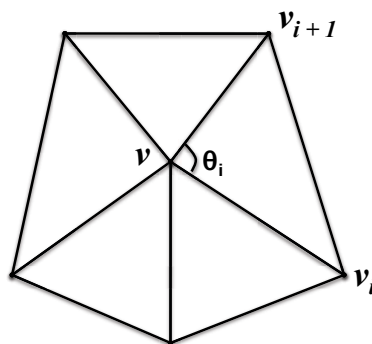
Tabela 5.3: Volume do poliedro de controle das deformações obtidas na figura 5.3.

5.1.3 Curvatura Gaussiana

Uma forma de analisar localmente as deformações obtidas é através da curvatura nos vértices da malha do modelo. Vértices de maior curvatura acrescentam informações geométricas importantes à malha, enquanto vértices de menor curvatura contribuem menos com a geometria da malha. O comportamento da curvatura Gaussiana sobre os vértices da malha, antes e após a deformação, nos permite comparar os métodos quanto a preservação de detalhes do modelo. A curvatura Gaussiana é calculada na estrela de um vértice v em função do somatório dos ângulos de seus triângulos incidentes (ver figura 5.4).

$$C(v) = 2\pi - \sum_{i=1}^s \theta_i, \quad (5-1)$$

onde s é o numero de triângulos na estrela do vértice v .

Figura 5.4: Estrela do vértice v .

Na figura 5.5 temos deformações do modelo gato obtidas com cada

coordenada. Deformamos o poliedro de controle com rotações nos vértices de controle com maior influência sobre a região das patas do modelo. No histograma apresentado na figura 5.6 observamos que a alteração da curvatura Gaussiana sobre os vértices do modelo é relativamente pequena, comprovando o bom comportamento dos métodos na preservação de detalhes nas deformações obtidas.

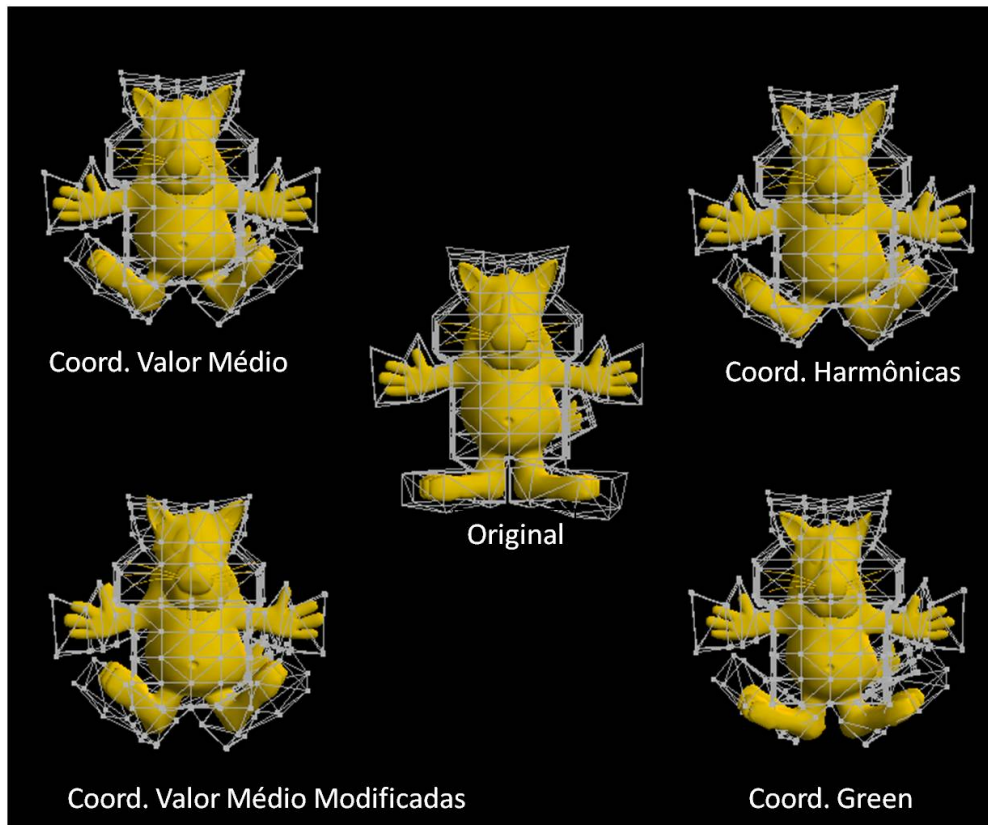


Figura 5.5: Deformações do modelo gato.

5.1.4 Ângulo Diedral

Chamamos de ângulo diedral o ângulo formado por dois planos concorrentes. O ângulo diedral é relacionado a curvatura média da superfície. A análise do comportamento do ângulo diedral entre as faces do modelo, antes e após as deformações, nos permite, assim como a curvatura gaussiana, comparar os métodos quanto a preservação de detalhes do modelo. Para fins de avaliação da geometria local, estamos normalmente interessados no cosseno do ângulo diedral sobre as arestas, dado pelo produto interno entre normais unitárias das faces incidentes a cada aresta (ver figura 5.7).

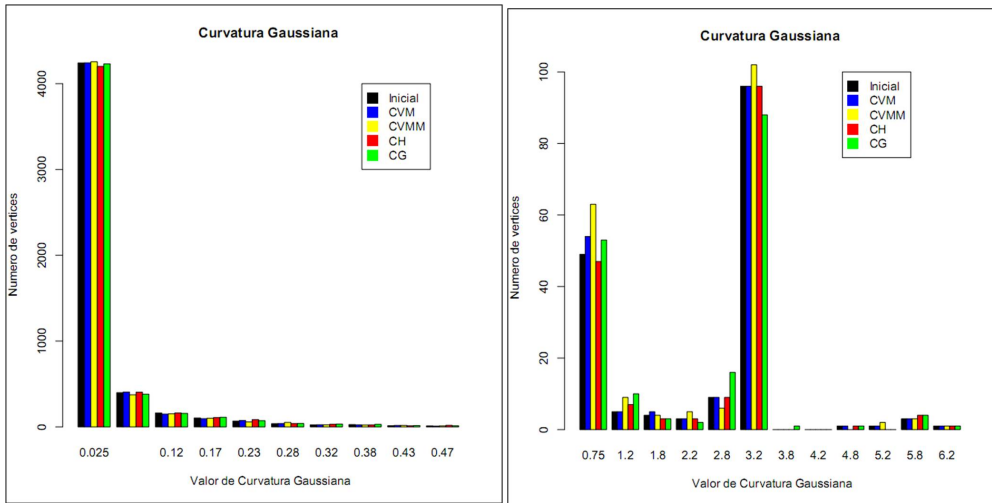


Figura 5.6: Curvatura Gaussiana das deformações da figura 5.5.

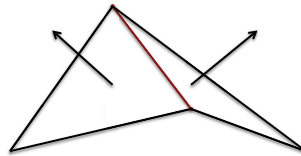


Figura 5.7: Faces incidentes a uma aresta.

O histograma apresentado na figura 5.8 se refere ao ângulo diedral das arestas do modelo da figura 5.5. Podemos observar que, assim como a curvatura Gaussiana dos vértices do modelo, o ângulo diedral também é preservado nas deformações obtidas pelos métodos analisados. Temos assim, mais uma ferramenta que nos permite comprovar a preservação dos detalhes do modelo.

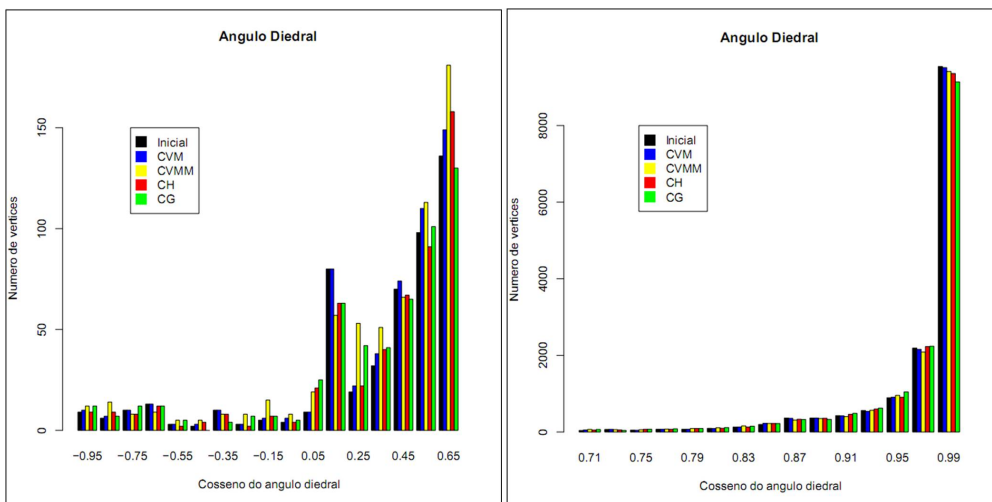


Figura 5.8: Ângulo diedral sobre as arestas do modelo nas deformações apresentadas na figura 5.5.

5.2 Resultados

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos nas deformações dos modelos abordados.

5.2.1 Modelo Triceratops - Poliedro de Controle Original

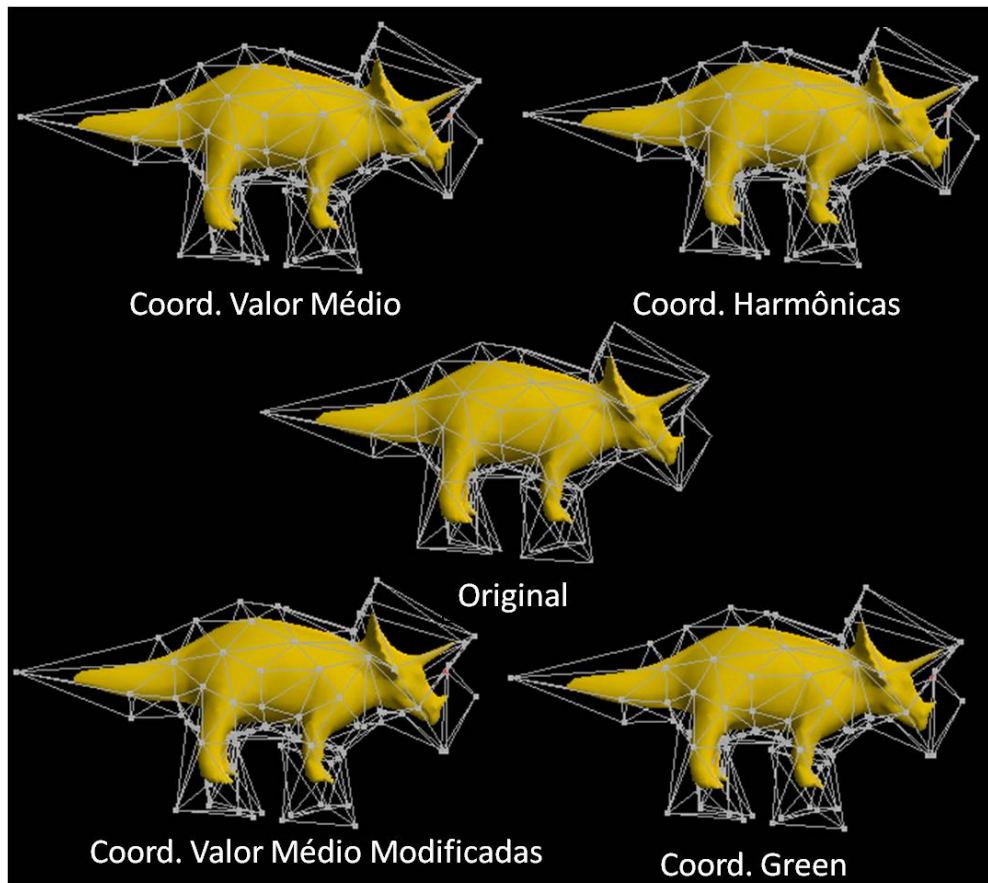


Figura 5.9: Deformações obtidas com o poliedro de controle original.

Método	Área	Volume
Modelo original	219.915	273.465
Coord. Valor Médio	219.915	273.465
Coord. Valor Médio Modificadas	219.275	272.198
Coord. Harmônicas	232.054	287.284
Coord. Green	219.915	273.464

Tabela 5.4: Área e volume das deformações obtidas na figura 5.9.

Na tabela 5.4, podemos observar, como mencionado anteriormente, a alteração de área e volume nas deformações obtidas com as coordenadas de harmônicas, consequência da não precisão linear sobre os pontos do modelo.

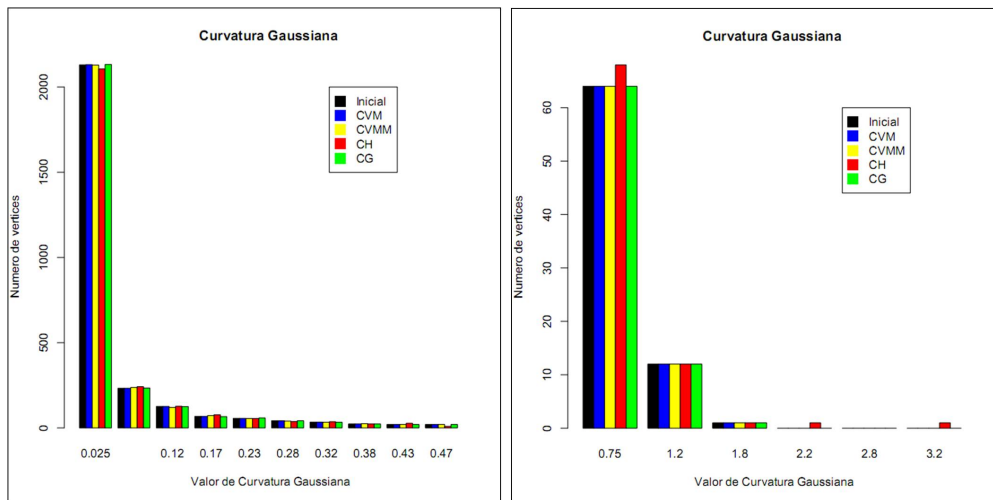


Figura 5.10: Curvatura Gaussiana nos pontos do modelo.

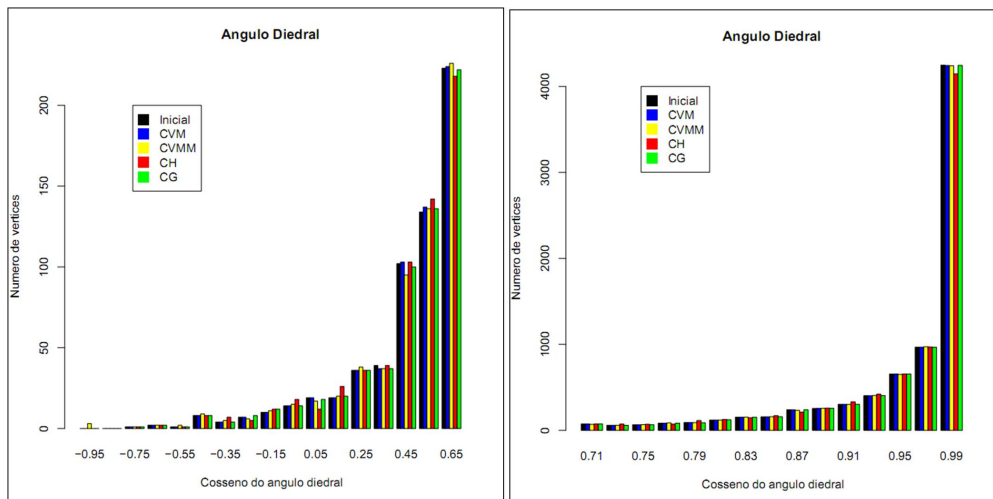


Figura 5.11: Ângulo diedral sobre as arestas do modelo.

O fato de a precisão linear não ser satisfeita pelas coordenadas harmônicas (devido ao cálculo da solução da equação de Laplace inicialmente sobre as células do gride) e coordenadas do valor médio modificadas (devido a relação de dependência com a distância mensurada sobre o poliedro de controle) pode ser observado pela alteração, mesmo que relativamente pequena, da estrutura local dos modelos obtidos. Nos histogramas apresentados nas figuras 5.10 e 5.11 podemos observar maiores alterações nos dados obtidos com as coordenadas do valor médio modificadas (em amarelo) e coordenadas harmônicas (em vermelho).

5.2.2 Modelo Cubo - Deformação 2

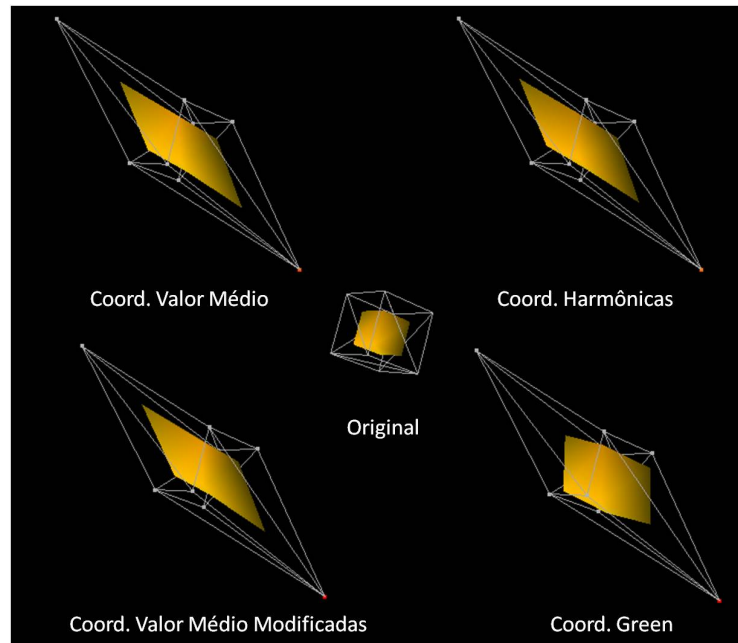


Figura 5.12: Deformações do modelo cubo

Método	Área	A_f/A_i	Volume	V_f/V_i
Modelo original	96.0	-	128.0	-
CVM	216.336	2.253	336.056	2.625
CVM Modificadas	209.435	2.181	317.096	2.477
CH	212.21	2.210	327.157	2.555
CG	241.384	2.514	490.937	3.835

Tabela 5.5: Área e volume das deformações obtidas na figura 5.12.

Poliedro	Área	A_f/A_i	Volume	V_f/V_i
Posição inicial	311.04	-	746.496	-
Posição final	719.422	2.312	1973.96	2.644

Tabela 5.6: Área e volume do poliedro de controle das deformações obtidas na figura 5.12.

Nas tabelas 5.5 e 5.6 podemos observar um melhor comportamento na deformação obtida com as coordenadas do valor médio em relação a razão das áreas e volume, do modelo e poliedro de controle, antes e após a deformação.

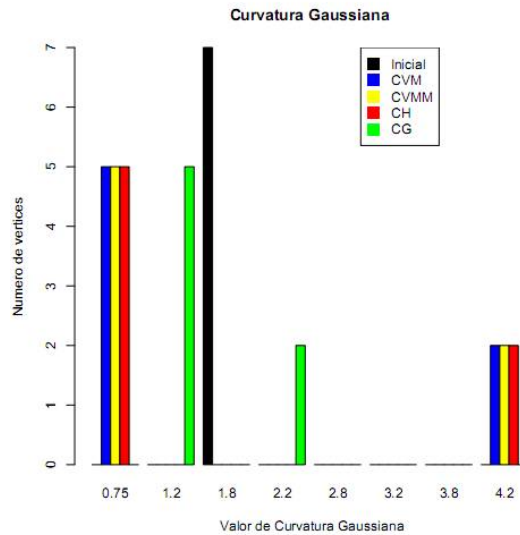


Figura 5.13: Curvatura Gaussiana nos pontos do modelo.

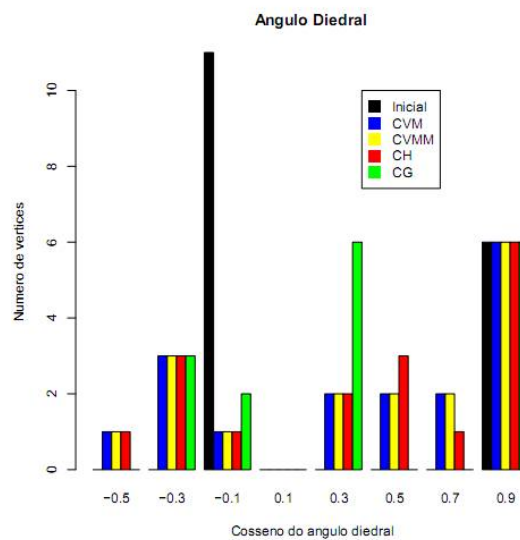


Figura 5.14: Ângulo diedral sobre as arestas do modelo.

Nos histogramas 5.13 e 5.14 podemos observar um comportamento similar das coordenadas do valor médio, coordenadas do valor médio modificadas e coordenadas harmônicas quanto a alteração da curvatura Gaussiana e ângulo diedral. Já com as coordenadas de Green, o método espalha menos a distribuição dos ângulos do modelo cubo.

5.2.3

Modelo Mulher Robô - Deformação 1

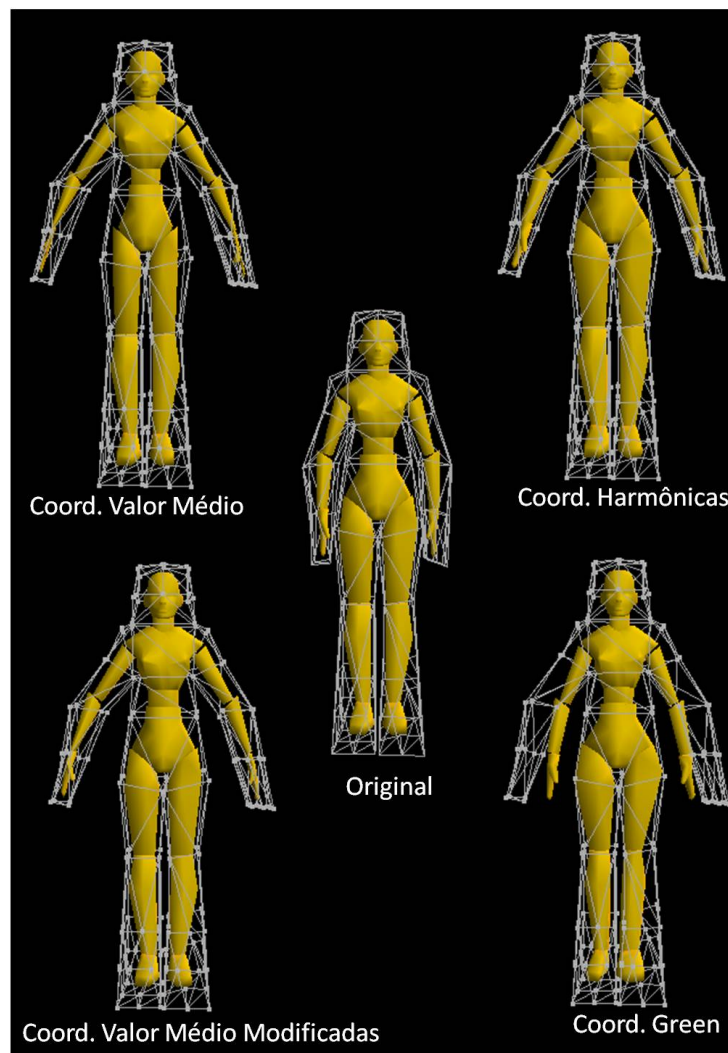


Figura 5.15: Deformações do modelo mulher robô.

Nas deformações acima, rotacionamos as regiões do poliedro de controle com maior influência sobre os braços do modelo robô mulher, com o objetivo de evidenciar as deformações indesejadas na deformação obtida com as coordenadas do valor médio e analisar os resultados obtidos nas deformações realizadas com as outras coordenadas.

Na tabela 5.7 destacamos a perda de área e volume na deformação obtida pelas coordenadas do valor médio (consequência das deformações não desejadas provocadas pelos pesos negativos). Podemos observar um melhor comportamento da deformação obtida pelas coordenadas do valor médio modificadas, com uma menor perda área e volume do modelo.

Método	Área	A_f/A_i	Volume	V_f/V_i
Modelo original	347.176	-	231.149	-
CVM	331.279	0.954	210.492	0.910
CVM Modificadas	342.702	0.9987	226.821	0.981
CH	360.355	1.037	246.923	1.068
CG	342.375	0.986	226.019	0.977

Tabela 5.7: Área e volume das deformações obtidas na figura 5.15.

Poliedro	Área	A_f/A_i	Volume	V_f/V_i
Posição inicial	636.706	-	852.491	-
Posição final	638.359	1.002	856.436	1.004

Tabela 5.8: Área e volume do poliedro de controle das deformações obtidas na figura 5.15.

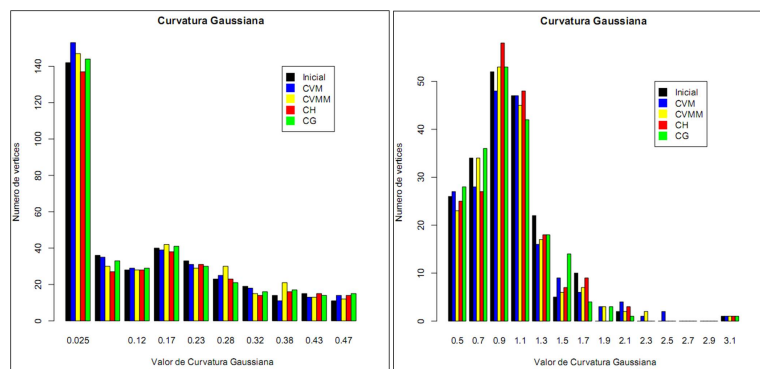


Figura 5.16: Curvatura Gaussiana nos pontos das deformações obtidas na figura 5.15.

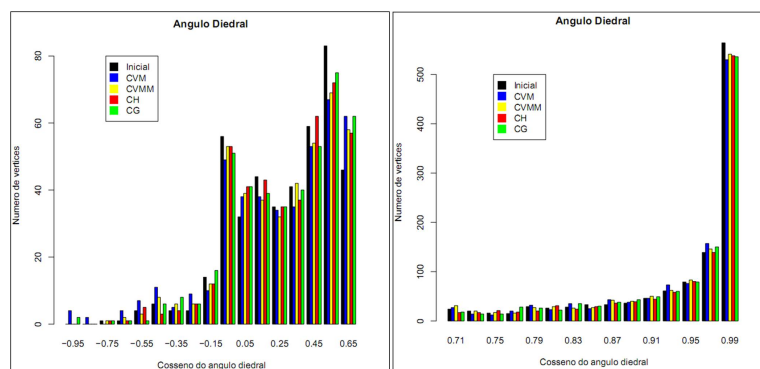


Figura 5.17: Ângulo diedral sobre as arestas nas deformações obtidas na figura 5.15.

5.2.4 Modelo Mulher Robô - Deformação 2

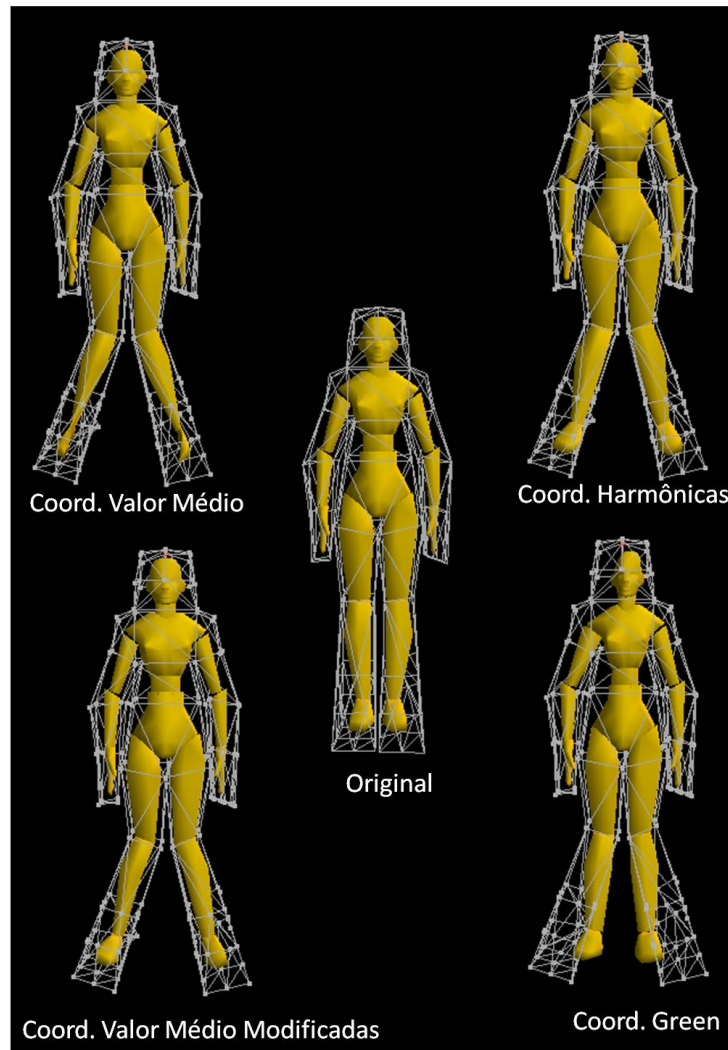


Figura 5.18: Deformações do modelo mulher robô.

Nas deformações acima rotacionamos as regiões do poliedro de controle com maior influência sobre as pernas do modelo mulher robô. A deformação realizada no poliedro de controle tem o mesmo objetivo da deformação realizada na figura 5.15, destacar a influência dos pesos negativos na deformação obtida com as coordenadas do valor médio. Outro ponto importante é o resultado obtido pelas coordenadas de Green, com deformações sobre o modelo em pontos relativamente distantes da região do poliedro de controle deformada, consequência da influencia global de seus pesos.

Método	Área	A_f/A_i	Volume	V_f/V_i
Modelo original	347.176	-	231.149	-
CVM	336.158	0.968	217.562	0.941
CVM Modificadas	340.207	0.979	223.813	0.968
CH	357.776	1.030	243.932	1.055
CG	335.531	0.966	215.747	0.933

Tabela 5.9: Área e volume das deformações obtidas na figura 5.18.

Podemos observar na tabela 5.9 o mesmo comportamento de variação de área e volume ocorrido nas deformações apresentados na figura 5.15.

Poliedro	Área (cm^2)	A_f/A_i	Volume (cm^3)	V_f/V_i
Posição inicial	636.706	-	852.491	-
Posição final	638.594	1.006	845.074	0.991

Tabela 5.10: Área e volume do poliedro de controle das deformações obtidas na figura 5.18.

Destacamos no histograma apresentado na figura 5.19 a melhoria das coordenadas do valor médio modificadas em relação às coordenadas harmônicas. Já no histograma da figura 5.20 podemos observar que as coordenadas do valor médio originais introduzem ângulos diedrais muito negativos, que podem ser observados também no encolhimento das mãos na figura 5.18. Já as coordenadas modificadas não introduzem esses ângulos diedrais extremos. Esse comportamento será ainda mais visível no próximo exemplo.

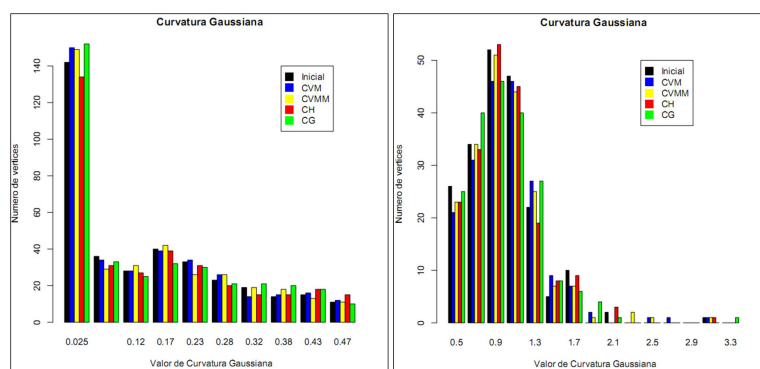


Figura 5.19: Curvatura Gaussiana nos pontos das deformações obtidas na figura 5.18.

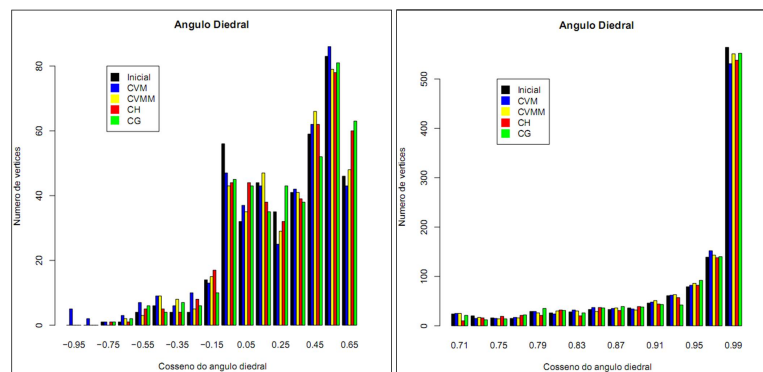


Figura 5.20: Ângulo diedral sobre as arestas nas deformações obtidas na figura 5.18.

5.2.5 Modelo Mulher Robô - Figura 5.1

Abaixo temos as informações quanto a área, volume, curvatura Gaussiana e ângulo diedral das deformações obtidas na figura 5.1, onde temos as deformações obtidas por cada coordenada sem a alteração da posição dos vértices do poliedro de controle. E como mencionado anteriormente, o comprometimento da precisão linear nas coordenadas harmônicas e coordenadas do valor médio modificadas provoca alterações nas deformações obtidas. O comportamento observado reforça as análises realizadas no exemplo anterior.

Método	Área	A_f/A_i	Volume	V_f/V_i
Modelo original	347.176	-	231.149	-
CVM	347.176	1.000	231.149	1.000
CVM Modificadas	346.448	0.997	230.375	0.996
CH	360.053	1.035	246.318	1.065
CG	347.170	0.999	231.142	0.999

Tabela 5.11: Área e volume das deformações obtidas na figura 5.1.

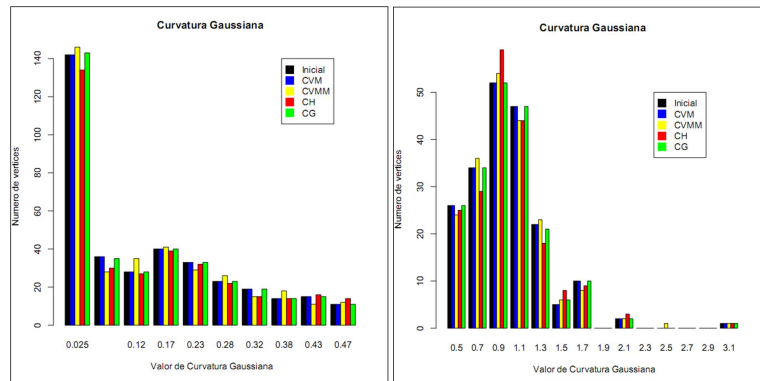


Figura 5.21: Curvatura Gaussiana nos pontos das deformações obtidas na figura 5.1.

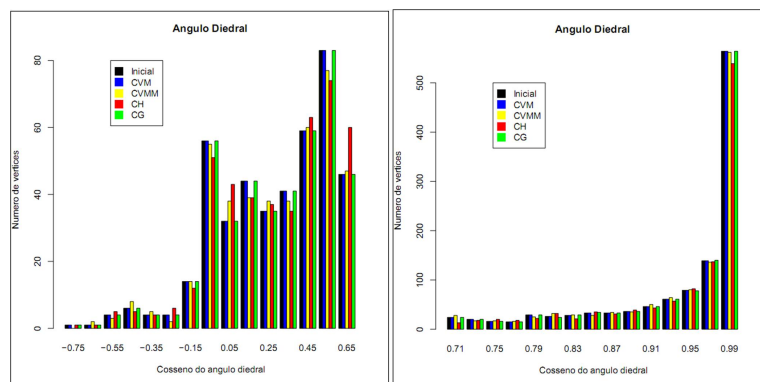


Figura 5.22: Ângulo diedral sobre as arestas das deformações obtidas na figura 5.1.