

# Proposta de um Modelo Visualmente Realístico para Simulação Virtual de Laparoscopia Orientada a Dados Médicos

Augusto Luengo Pereira Nunes, Marcelo Walter, Anderson Maciel  
PPGC - Instituto de Informática - UFRGS  
Porto Alegre, Brasil  
Email: {alpnunes, marcelo.walter, amaciel}@inf.ufrgs.br

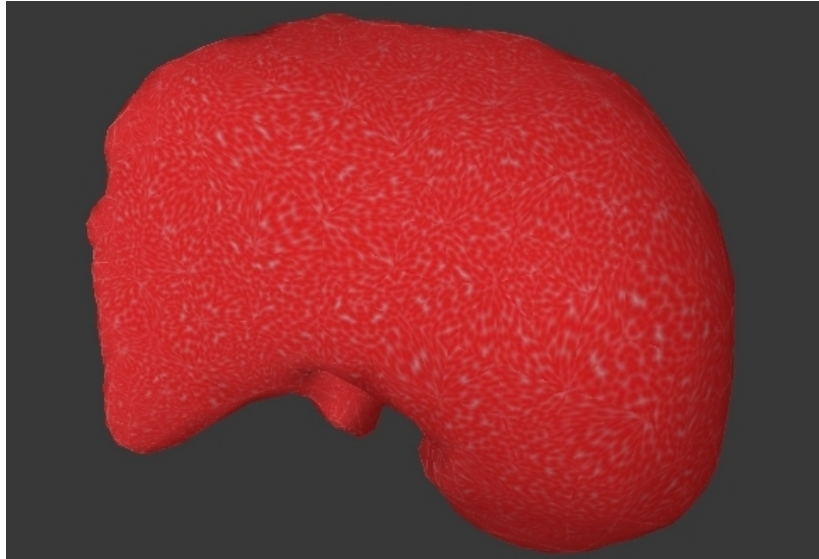


Figura 1. Resultado preliminar: mapeamento de textura procedural baseado em conjunto de padrão com vinte amostras.

**Abstract**—Minimally invasive surgery uses computational resources to perform complex tasks in limited visibility environments which require high-precision for medical procedures. The early trainees for surgery need to develop specific skills, and the use of virtual simulators enable cost optimization and access to state-of-the-art techniques such as laparoscopy. However, the visual results synthesized in these three-dimensional environments should be biologically plausible, since they are used as clues by the physician to control the medical equipments. This paper first presents a few approaches for realistic rendering of liver models for laparoscopy in realtime, and proposes an investigation of the reflexion properties of hepatic tissues in order to build a realistic organic model. We propose the use of procedural textures together with an investigation of how these properties affect light reflecting off the liver. The proposal suggests a model parameterized by medical information in order to provide variety of real situations during simulation.

**Resumo**—Cirurgias minimamente invasivas utilizam recursos computacionais para realizar tarefas complexas em ambientes de visibilidade limitada, que necessitam de alta precisão para procedimentos médicos. Os novos cirurgiões precisam desenvolver habilidades específicas, e a utilização de simuladores virtuais permite a otimização de custos e acesso ao estado-da-arte de técnicas como a laparoscopia. No entanto, os resultados

visuais sintetizados nestes ambientes tridimensionais devem ser biologicamente plausíveis, uma vez que eles são utilizados como pistas pelo médico para controlar os equipamentos. Este trabalho inicialmente apresenta algumas abordagens para a renderização realista de modelos de fígado para laparoscopia em tempo real, e propõe uma investigação das propriedades de reflexão de tecidos hepáticos, a fim de construir um modelo realista orgânico. Propomos o uso de texturas procedurais juntamente com uma investigação de como estas propriedades afetam a luz refletida pelo fígado. A proposta sugere um modelo parametrizado por informações médicas, a fim de fornecer a variedade de situações reais durante simulações.

**Palavras-chave**—renderização foto-realística, simulação de laparoscopia, aplicações médicas.

1

## I. INTRODUÇÃO

A laparoscopia é um procedimento médico classificado como minimamente invasivo (MIS – Minimally Invasive Surgery), caracterizado pelo uso de orifícios naturais do corpo

<sup>1</sup>Este trabalho está relacionado com a dissertação de mestrado de Nunes. A. L. P., UFRGS, Porto Alegre, Brasil

humano, ou cirurgicamente produzidos, através dos quais, instrumentos específicos que serão manipulados pelo cirurgião, possam acessar regiões internas do abdômen, sem que seja necessária a completa exposição do órgão que está sendo operado [1]. Neste contexto, a visualização da cirurgia é produzida por uma câmera introduzida no corpo do paciente, que projeta imagens num monitor, a fim de orientar o cirurgião quanto à manipulação dos instrumentos. A qualidade e precisão dessas imagens estão fortemente ligadas ao controle das ferramentas durante o procedimento [2]. De forma geral, laparoscopia é um processo que envolve restrições quanto ao espaço e à tolerância a eventuais erros, para que órgãos vitais não sejam danificados, provocando assim risco de vida ao paciente. De fato, garantir que tais cuidados sejam satisfeitos exige o desenvolvimento de habilidades motoras específicas do cirurgião, baseadas na experiência quanto à manipulação dos instrumentos médicos da laparoscopia, bem como familiaridade com o monitoramento mencionado [3]. Para o desenvolvimento de futuros cirurgões através do experimento de suas habilidades por repetição exaustiva, faz-se necessário o emprego de meios que não recorram ao uso de pacientes como alvo de treinamento. Além disso, a utilização de cadáveres é limitada a aspectos éticos e legais que dificultam o amplo acesso ao treinamento da laparoscopia [4]. Desta forma, simuladores representam uma opção viável, desde que forneçam ao futuro cirurgião, boa parte da experiência que deve ser adquirida até que seja plausível a execução da cirurgia num ambiente real. Em ambientes tridimensionais sintéticos com interação do usuário em tempo real, a imersão é o fator que mede a sensação de que se está dentro do ambiente virtual [5], porém na simulação de laparoscopia, a projeção de imagens semelhantes às reais, no monitor utilizado como referência de visualização pelo usuário, com as devidas reações às deformações e colisões por parte do modelo, provocam certo grau de imersão, que é fundamental para o desenvolvimento das habilidades motoras necessárias para esta classe de procedimento cirúrgico. Desta forma, o aspecto orgânico da renderização é um ponto chave em relação à familiarização do futuro cirurgião com ambiente da laparoscopia. O nível e qualidade dos detalhes reproduzidos no ambiente virtual correspondem aos fatores que satisfazem ou não o realismo esperado pelo sistema óptico humano, em relação à cena. A estes detalhes esperados, podemos denominar informalmente como ‘pistas’.

*Proposta de Contribuição:* Este trabalho propõe-se a explorar técnicas de renderização em tempo real, voltadas para simulação de laparoscopia para o fígado humano, a fim de produzir imagens sintéticas para o monitoramento envolvido, com certo grau de liberdade visando parametrização em função de dados médicos, mantendo bom aspecto orgânico. Através de texturas procedurais e técnicas de mapeamento que garantam continuidade dos padrões utilizados, espera-se reproduzir características do tecido hepático de forma biologicamente plausível. Pretende-se simular também, características especulares e rugosidade do fígado considerando todo o ambiente local da laparoscopia.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Localmente, o ambiente da laparoscopia é formado pelos órgãos internos do corpo humano na região superior da cavidade abdominal, e pelas ferramentas necessárias para realização da cirurgia, como pinças especiais para manipulação, corte e cauterização de tecidos, uma câmera para monitoramento interno do procedimento, e uma fonte de luz pontual localizada junto à câmera. Texturas podem ser usadas para representar tanto o aspecto externo quanto efeitos característicos que ocorrem na superfície de modelos tridimensionais. Catmull [6] introduziu o método de mapeamento de texturas como uma solução para aumentar o nível de detalhes das imagens sintéticas, sem que para isso fosse necessário aumentar também o número de polígonos na geometria de uma cena. Como uma técnica para simular rugosidade de superfícies, Blinn [7] introduziu *bump mapping*, técnica na qual os vetores normais utilizados no cálculo da iluminação são modificados em função de um mapa de profundidade, armazenado como textura.

### *Múltiplas Camadas de Textura*

O trabalho de Neyret *et. al.* [4] é direcionado à simulação de laparoscopia em tempo real, e propõe a renderização do modelo tridimensional com três camadas de textura, dentre as quais são classificadas representações como: aspecto visual do modelo, reações específicas do fígado às interações do usuário, e reflexão da fonte de luz. Buscando minimizar distorções causadas pelo mapeamento de texturas, é definida uma versão simplificada e regular da malha poligonal da geometria, chamada malha de textura. Nesta malha, as dimensões dos triângulos que a compõe se aproximam de triângulos equiláteros. Cada triângulo da malha de textura terá um triângulo equilátero de amostra de textura mapeado de forma que a continuidade local entre as bordas de triângulos vizinhos seja preservada. Em seguida, os triângulos da malha de textura são sobrepostos aos da malha de geometria para definir as coordenadas de textura do modelo original, e ao final, apenas a malha de geometria com as coordenadas e a amostra de textura associada são renderizadas. Segundo a proposta de Neyret e Cani [8] considerada nesse trabalho, com apenas quatro amostras que respeitem condições de bordas, é possível cobrir todo modelo tridimensional mantendo continuidade sem grande repetição de padrões. Cada triângulo equilátero da amostra de textura utilizada por Neyret *et. al.* [4] é produzido com a técnica de síntese de texturas celulares de Worley [9], mantendo condições de continuidade entre bordas. A figura 2 mostra as malhas de geometria e textura utilizadas, além das amostras de textura procedural.

*Efeitos característicos:* Na segunda camada, aplicou-se o método *direct painting* [10], para alterar em tempo real as cores da textura, simulando assim efeitos como gotas de sangue, queimaduras de cauterizações e branqueamento decorrente de pressão contra a superfície do órgão. Para simular o aspecto molhado do órgão, aplicou-se uma terceira camada com a técnica de *environment mapping* [11] [12], definindo que o padrão especular é a imagem da fonte de luz suavizada através de uma Gaussiana. As figuras 3 e 4 ilustram

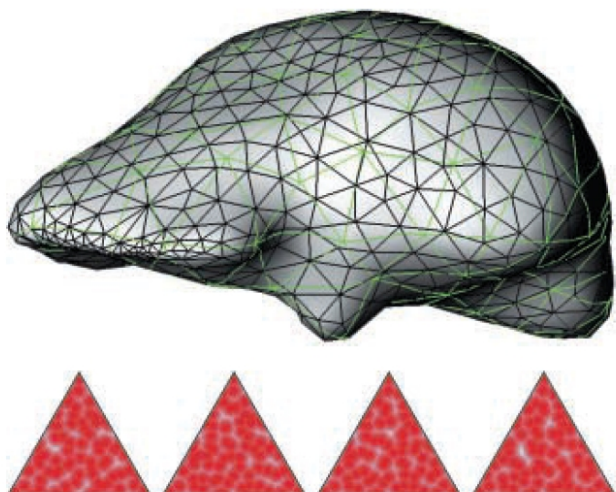


Figura 2. Malha de geometria, malha de textura e triângulos de amostra de textura procedural utilizados em Neyret *et. al.* [4].

o resultado da renderização com múltiplas camadas de textura desta abordagem.

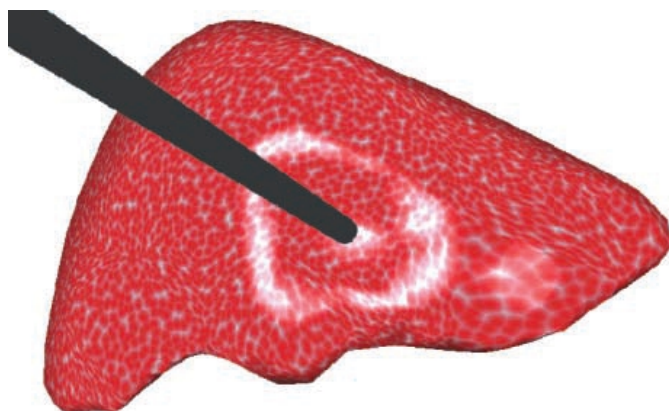


Figura 3. Modelo de fígado renderizado com três camadas de textura. Neyret *et. al.* [4].

#### Mapa de reflexão

Os resultados obtidos pela implementação de Neyret *et. al.* [4] são visualmente agradáveis, mas o aspecto da superfície do fígado não corresponde suficientemente ao real, se afastando do que seria biologicamente plausível. Além disso, a reflexão apenas do efeito da fonte de luz na terceira camada de textura, limita a possibilidade de que outros objetos sejam refletidos parcialmente pelo modelo, e a premissa de que o tecido do fígado possui características especulares que o aproximam de um espelho, produz um aspecto plástico incoerente com o ambiente real. Elhelw *et. al.* [13] preocupou-se em tornar realística a renderização da superfície de um órgão, considerando fatores de reflexão e refração segundo propriedades dos tecidos

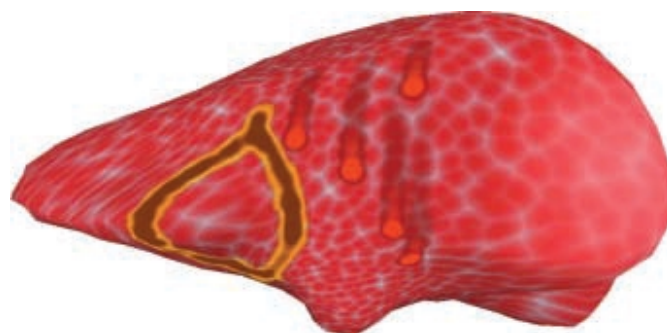


Figura 4. Efeitos simulados com a abordagem sugerida. Neyret *et. al.* [4].

orgânicos, como a rugosidade e secreções que os envolvem. Estudando essas características, os autores argumentam que abordagens semelhantes ao modelo de iluminação de Phong [14] tendem a produzir efeitos que assemelham a superfície de um material plástico, e que para evitar isso e proporcionar um aspecto orgânico ao modelo, é preciso considerar a rugosidade da superfície. A forma proposta constitui-se em gerar uma segunda textura para o modelo, utilizando uma função de ruído para compor um mapa de reflexão, e aplicar a perturbação gerada diretamente no vetor normal de cada pixel da superfície do objeto no momento do cálculo da reflexão, simulando assim os desníveis que a rugosidade proporciona. As figuras 5 e 6 mostram um exemplo de mapa de reflexão e os efeitos visuais decorrentes de variações da função de ruído usada para criá-los.

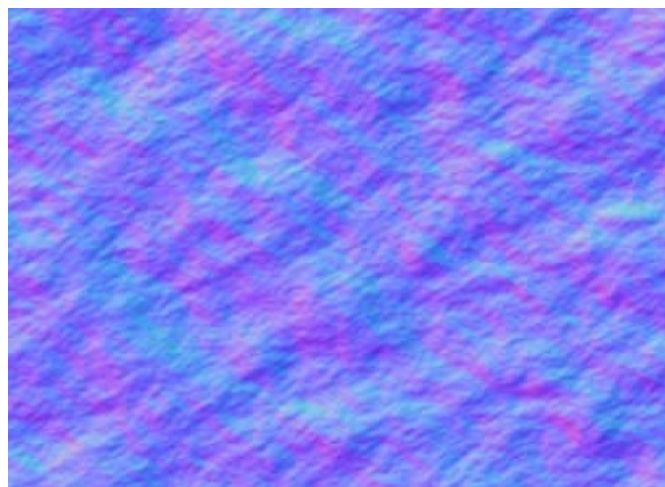


Figura 5. Mapa de reflexão gerado com função de ruído. Elhelw *et. al.* [13].

### III. METODOLOGIA

Produzir informação digital pertinente para treinamento de novos cirurgiões para laparoscopia envolve o estudo de técnicas de renderização que proporcionem pistas para características específicas do ambiente simulado. Em especial, o aspecto da superfície do modelo tridimensional, no caso de

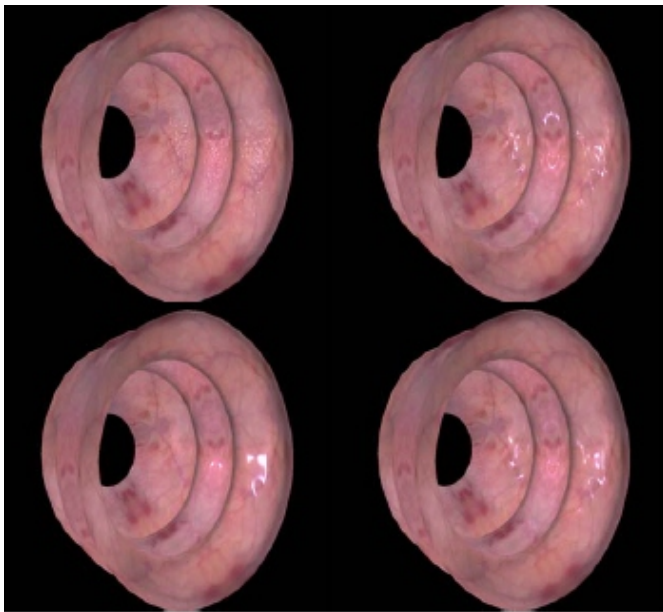


Figura 6. Variações da função de ruído e os diferentes aspectos produzidos na renderização. Elhelw *et. al.* [13].

um fígado, deve corresponder à parâmetros biologicamente plausíveis. Neste trabalho, propõe-se a constituição de um modelo para geração do aspecto orgânico de um fígado, observando as propriedades de rugosidade, reflexão e padronização de cor, a fim de estudar as variações desses aspectos em função de patologias, para que se possa manter um modelo parametrizável e de maior usabilidade num simulador virtual para laparoscopia. A figura 7 demonstra de forma resumida, o fluxo de customização de uma malha poligonal genérica para a renderização de um indivíduo específico.

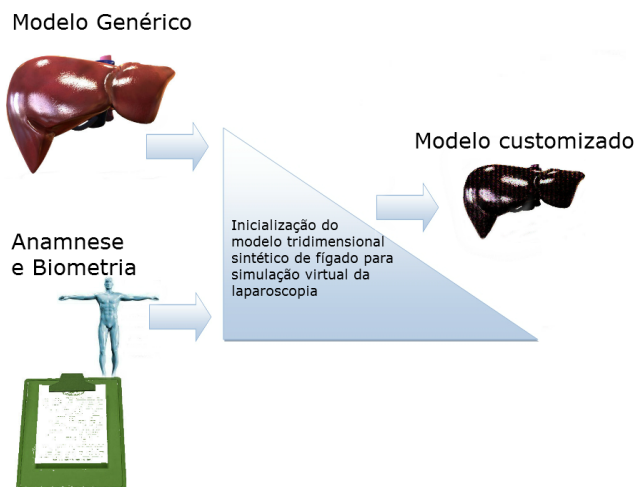


Figura 7. Parâmetros para renderização do modelo.

### Aspecto da superfície do modelo

A característica de tempo real de um simulador dimensiona o potencial computacional disponível, e observar esta restrição é fundamental para o desenvolvimento de uma técnica de renderização para este ambiente. Em termos práticos, a representação do aspecto orgânico pode ser realizada com base no estudo da estrutura do tecido hepático, e de forma generalizada, produzir uma aproximação biologicamente plausível. Torná-la parametrizável corresponde a observar as variações deste aspecto em função da exposição do órgão a determinado comportamento do paciente, ou do desenvolvimento de alguma patologia. Uma instância do problema pode ser exemplificada com a aplicação das características externas de um fígado diagnosticado com Doença Hepática Não Alcoólica (DHGNA) na qual uma das características que pode ser observada é o aumento do fígado e uma alteração da cor em tons de amarelo.

### Características Reflexivas

Nesta mesma abordagem, os autores argumentam que a função de ruído que gera o mapa de reflexão pode ser alterada de forma a produzir uma variedade de aspectos para o tecido do órgão. Propõe-se aqui, a validação desta possibilidade realizando uma parametrização também em função de dados médicos.

### Experimentos

Para adquirir conhecimento específico em relação ao domínio das simulações virtuais de laparoscopia, foi implementado parte do algoritmo de mapeamento de textura procedural apresentado por Neyret e Cani [8]. Neste experimento não construímos uma malha somente para parametrização das coordenadas de textura, apenas aplicamos regras de conectividade às amostras da textura ao longo da malha poligonal original. Como resultado, a definição da malha de textura não foi necessária para obter um resultado similar à primeira camada de textura do trabalho de Neyret *et. al.* [4], no caso da renderização para um modelo de fígado. Porém, distorções são encontradas em função do escalamento da amostra de textura para as dimensões dos triângulos da geometria, que não são regulares como os da malha de textura sugerida no trabalho original.

*Algoritmo Implementado:* A abordagem adotada analisa apenas combinações em nível de vértices, o que não garante continuidade entre bordas com apenas quatro amostras. Para diminuir repetições de um único padrão, definimos inicialmente quatro valores de cor que serão atribuídos aleatoriamente aos vértices da malha de geometria. Sem exercer qualquer restrição quanto à continuidade das bordas nos triângulos, a distribuição de quatro cores em cada triângulo da geometria formará um arranjo que define o número de 64 amostras que devemos fornecer ao algoritmo:

$$Ar(4, 3) = 4^3 = 64$$



*Amostras de Textura:* O arranjo acima corresponde a combinações possíveis de quatro cores em conjuntos de três, permitindo repetições. Eliminando os casos em que a combinação é apenas uma rotação de um caso particular, podemos diminuir para vinte o número de amostras, desde que o algoritmo implementado seja responsável por identificar e realizar as devidas rotações. Um exemplo correto do conjunto de amostragem de textura para o algoritmo estudado pode ser visto na figura 8. Não respeitando o valor mínimo definido pelo arranjo, reduzidos os casos de rotação, o algoritmo pode não encontrar uma amostra de textura para associar a um triângulo que tenha uma combinação arbitrária, como mostra a figura 9.

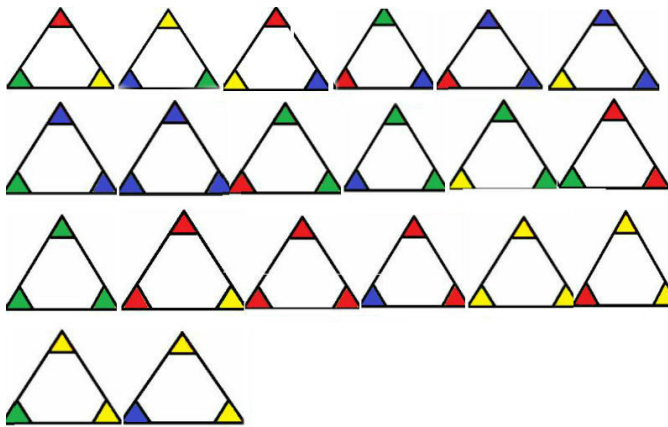


Figura 8. Arranjo de quatro cores em triângulos equiláteros, formando conjunto de amostras de textura.

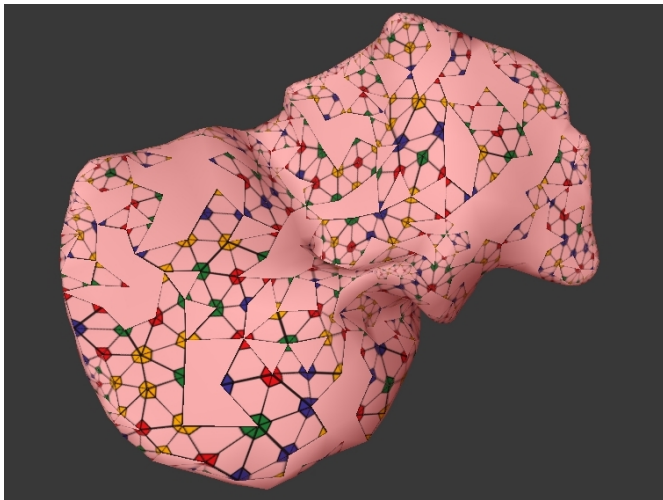


Figura 9. Modelo tridimensional renderizado com conjunto insuficiente de amostras de texturas. As partes sem texturas representam triângulos para os quais o algoritmo não encontrou amostras correspondentes.

*Atribuição das amostras:* A distribuição das cores para vértices da malha poligonal é realizada através de um mapeamento onde, cada elemento do mapa é na verdade uma cor relacionada a um vértice, e o próprio vértice é a chave para

acessar o valor do mapa. Assim, basta percorrer cada triângulo da malha de geometria, e verificar se seus vértices já foram mapeados, recuperando a cor associada caso o encontre, ou definindo aleatoriamente um novo valor de cor para também adicionar ao mapa. A figura 10 demonstra a renderização de um modelo tridimensional de fígado, utilizando o algoritmo apresentado e o conjunto de amostras de texturas da figura 8. A figura 1 mostra o mesmo modelo renderizado com um conjunto de amostras derivadas do conjunto utilizado no trabalho de Neyret *et. al.* [4].

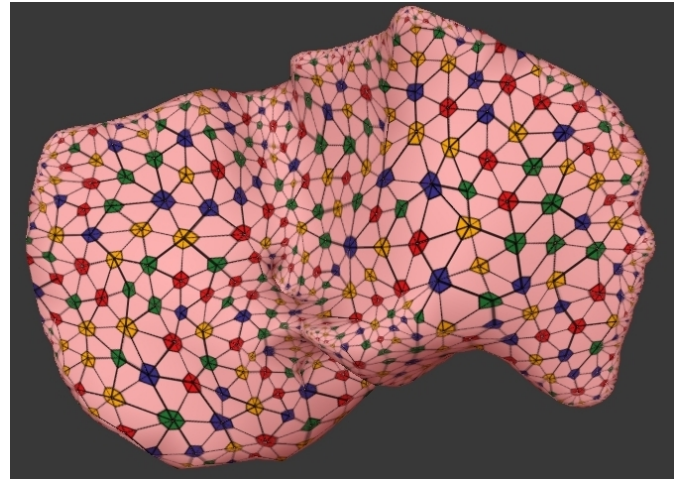


Figura 10. Conjunto completo de amostras de textura aplicado à modelo de fígado.

#### Trabalhos Futuros

Um importante passo com relação aos experimentos é complementar o algoritmo de mapeamento de textura, conforme Neyret e Cani [8], de forma a analisar diretamente as bordas de cada triângulo da amostragem e texturas. A abordagem do primeiro experimento descrito não contempla continuidade tendo apenas quatro amostras de textura, pois distribui combinações de cores para vértices sem analisar sua vizinhança, e assim não proporciona continuidade local nas bordas que compartilham um conjunto de vértices. Pretende-se também, estudar as técnicas de simulação das características especulares de tecidos orgânicos, apresentados em [4] e [13]. Com ambos os modelos instanciados, a verificação do realismo da renderização pode ser realizada ante os resultados da solução proposta, avaliando a variação da qualidade da imagem em função da alteração das entradas para o modelo sugerido. Busca-se analisar então, a aplicabilidade das técnicas levantadas num simulador virtual para laparoscopia.

#### IV. CONCLUSÃO

Espera-se com esta abordagem a constituição de um modelo parametrizável para renderização em tempo real de um fígado para simulação de laparoscopia, com fidelidade visual e informação digital biologicamente plausível.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Capes pelo apoio financeiro na forma de bolsa de mestrado.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. Basdogan, S. De, J. Kim, M. Muniyandi, H. Kim, and M. A. Srinivasan, "Haptics in minimally invasive surgical simulation and training," *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 24, no. 2, pp. 56–64, 2004.
- [2] R. Vecchio, B. V. MacFayden, and F. Palazzo, "History of laparoscopic surgery," *Panminerva Med*, vol. 42, no. 1, pp. 87–90, 2000.
- [3] J. Shah and A. Darzi, "Simulation and skills assessment," *Medical Imaging and Augmented Reality, International Workshop on*, vol. 0, p. 0005, 2001.
- [4] F. Neyret, R. Heiss, and F. S enegas, "Realistic rendering of an organ surface in real-time for laparoscopic surgery simulation," *The Visual Computer*, vol. 18, no. 3, pp. 135–149, 2002.
- [5] C. Kirner, F. Deriggi, M. M. Kubo, A. C. Sementille, J. F. Brega, and S. Santos, "Virtual environments for shared interactive visualization," *Workshop of the german-brazilian cooperative program in informatics*, 1995.
- [6] E. E. Catmull, "A subdivision algorithm for computer display of curved surfaces." Ph.D. dissertation, The University of Utah, 1974, aAI7504786.
- [7] J. F. Blinn, "Simulation of wrinkled surfaces," *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 12, no. 3, pp. 286–292, Aug. 1978.
- [8] F. Neyret and M.-P. Cani, "Pattern-based texturing revisited," in *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ser. SIGGRAPH '99. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999, pp. 235–242.
- [9] S. Worley, "A cellular texture basis function," in *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ser. SIGGRAPH '96. New York, NY, USA: ACM, 1996, pp. 291–294.
- [10] P. Hanrahan and P. Haeberli, "Direct wysiwyg painting and texturing on 3d shapes," *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 24, no. 4, pp. 215–223, Sep. 1990.
- [11] J. F. Blinn and M. E. Newell, "Texture and reflection in computer generated images," *Commun. ACM*, vol. 19, no. 10, pp. 542–547, Oct. 1976.
- [12] N. Greene, "Environment mapping and other applications of world projections," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 6, no. 11, pp. 21–29, Nov. 1986.
- [13] M. A. Elhelw, B. P. Lo, A. Darzi, and G. zhong Yang, "Real-time photo-realistic rendering for surgical simulations with graphics hardware," in *in Proc. MIAR '04: Medial Imaging and Augmented Reality*, 2004, pp. 346–352.
- [14] B. T. Phong, "Illumination for computer generated pictures," *Commun. ACM*, vol. 18, no. 6, pp. 311–317, Jun. 1975.