

Modelagem Procedural de Folhas baseada em Padrões de Venação e de Pigmentação

Tales Chene de Miranda, Marcelo Walter
PPGC - Instituto de Informática - UFRGS

Porto Alegre, Brazil

Web page: www.inf.ufrgs.br/~{tcmiranda,mwalter}

Resumo—Despite advances in modeling objects from the Plant Kingdom, such as trees and vegetation, there is relatively less work addressing the visual patterns on the surface of leaves and fruits. This proposal for a master's thesis addresses the problem of modeling the development of visual patterns in leaves and other objects from the Plant Kingdom. By empiric observation from samples of real leaves with visual patterns, we see a possible correlation between leaf venation patterns and the visual patterns on the surface. In this work our goal is to explore this relationship and investigate a suitable model to generate the visual patterns as an extension of a model that synthesizes veins patterns. The possible models to generate patterns include the Clonal Mosaic Model and Reaction-Diffusion Model.

Keywords-plants kingdom; visual patterns; leaves

Resumo—Apesar do enorme avanço na modelagem de elementos do Reino Vegetal, como árvores e vegetação, pouca atenção tem sido dada aos padrões visuais observados nas superfícies de folhas e frutos. Este trabalho de mestrado irá abordar o problema de formação de padrões visuais em folhas e outros elementos do Reino Vegetal. Pela observação empírica de amostras de folhas com padrões, observa-se uma aparente correlação entre o padrão de veias das folhas e os padrões visuais na superfície. Neste trabalho pretendemos explorar esta relação e investigar um modelo adequado para geração dos padrões visuais como uma extensão de um modelo que sintetiza os padrões de veias. As possibilidades de modelos para geração dos padrões incluem os modelos Mosaico de Clones e Reação-Difusão.

Keywords-reino vegetal; padrões visuais; folhas

I. INTRODUÇÃO

¹Desde o trabalho pioneiro de Scholten and Lindenmayer [1], que deu origem ao estudo sobre L-Systems e suas derivações, como o de Prusinkiewicz e colegas [2], têm-se muitos trabalhos realizados na área de Modelagem do Reino Vegetal em geral e sobre modelagem de folhas em particular. Podemos destacar destes os trabalhos de Runions e colegas[3], por seu realismo do ponto de vista biológico, de Hong e colegas[4] pelo processo detalhado para modelagem de folhas usando veias como esqueleto e, por fim, de Binsfeld e colegas[5], pelo seu estudo sobre a formação dos padrões visuais no Reino Vegetal, obtendo resultados plausíveis para um conjunto limitado de folhas e alguns frutos.

Entretanto nota-se que a maioria destes trabalhos modela apenas o aspecto estrutural, ocorrendo alguns que modelam o aspecto visual e havendo uma carência em trabalhos que unam ambos os aspectos.

¹Dissertação de Mestrado.

Neste sentido propõe-se então unificar estes aspectos em um processo procedural para conseguir-se uma modelagem de folhas realista, completa e biologicamente motivada. Para conseguir isto, propomos reutilizar o modelo de Hong e colegas[4], substituindo as etapas iniciais deste pelo modelo de crescimento de Venação descrito por Runions e colegas[3] estendendo este para modelar também o processo de pigmentação como de Binsfeld e colegas[5] ou de Turk[6], pois existem fortes evidências que há correlação entre o desenvolvimento da veias e o desenvolvimento dos padrões visuais, como pode ser visto na Figura 1.



Figura 1. Exemplos de folhas onde há indícios de correlação entre crescimento de veias e formação de padrões visuais.

O restante deste trabalho está organizado deste modo: a sessão 2 explana o modelo de Hong e colegas [4], as sessões 3 e 4 detalham o processo de Modelagem de Venação e de Modelagem do Aspecto Visual, respectivamente e a sessão 5 apresenta as considerações finais, discutindo a abordagem, como pretende-se reunir estas técnicas, e os desafios e ideias que estão sendo consideradas para o futuro deste trabalho.

II. O PROCESSO DE MODELAGEM

O processo apresentado por Hong e colegas [4] pode ser descrito em seis etapas (de “A” até “F”). A Figura 2 exhibe resumidamente as entradas e saídas para estas etapas. A

entrada inicial são duas imagens (idealmente obtidas através de scanner) representado a frente e o verso de uma folha real. A etapa A então analisa essas imagens e retorna a “borda” da folha (denominada *profile*). Durante a etapa B o usuário deve especificar manualmente as principais veias da folha, dentro do referido *profile*. As etapas C e D ocorrem independentemente, possivelmente em paralelo, onde a etapa C transforma a venação e o *profile* em uma malha de triângulos e a etapa D permite que o usuário “dobre” a venação para conferir ao resultado um aspecto tridimensional. Finalmente, a etapa E une os resultados de C e D, utilizando a venação como um esqueleto para impor um efeito de “dobra” para folha. A etapa F renderiza o modelo, podendo utilizar as imagens originais como textura.

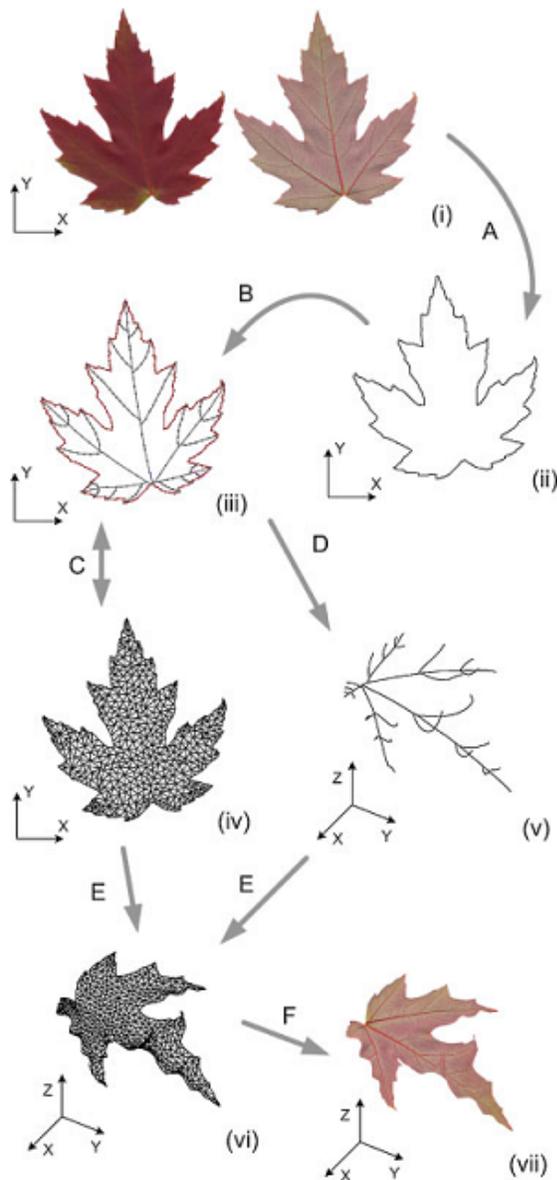


Figura 2. Etapas do modelo de Hong e colegas [4].

No artigo de Hong e colegas [4] é exibido o resultado

de diversas aplicações resultantes do trabalho, entre as quais pode-se destacar a simulação do envelhecimento de uma folha, além de propor diversos trabalhos futuros interessantes, como tentar identificar as principais veias via processamento de imagem, e o estudo sobre a renderização da aparência de plantas aplicando um modelo bio-físico da interação da luz com o tecido foliar, como ilustrado na Figura 7.

III. GERANDO PADRÕES DE VENAÇÃO

O modelo de desenvolvimento de padrões de venação descrito por Runions e colegas [3], ilustrado na Figura 3, baseia-se no relacionamento entre o crescimento da folha, da localização das fontes de auxina, e do crescimento das veias em direção a estas fontes de auxina. Runions e colegas [3] define auxina como um tipo de hormônio do crescimento. O modelo representa o formato da folha como uma função, e suas veias como um conjunto de nodos representando segmentos discretos.

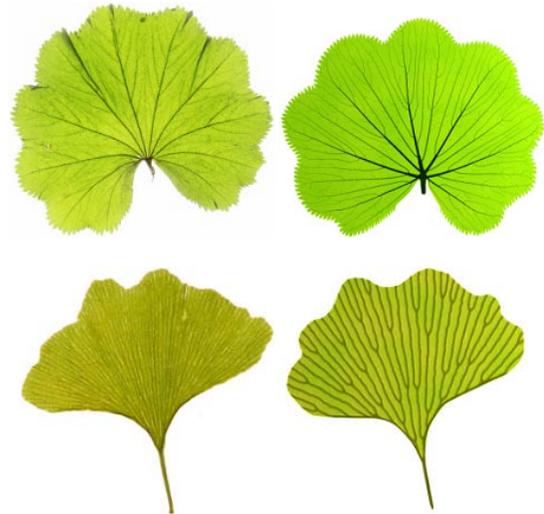


Figura 3. Resultado em geração de padrões de venação obtidos por Runions e colegas [3], original à esquerda e sintético à direita; Folha de Ginkgo ao topo e folha de Lady's Mantle ao abaixo.

Como parâmetros temos o estado inicial da folha (o formato inicial dela, e os nodos iniciais das veias), funções e/ou parâmetros determinado o crescimento da folha, e parâmetros caracterizando a interação entre a fontes de auxina e o desenvolvimento da veia.

O processo é iterativo como ilustrado na Figura 4, onde a cada passo os nodos das veias crescem em direção às fontes de auxina. Caso alguma veia esteja próxima demais de uma fonte de auxina, esta é “esgotada” e desaparece. Então a folha cresce, segundo seu padrão, e a posição dos nodos e das fontes é recalculada, se necessário for e, finalmente, novas fontes de auxina surgem aleatoriamente, se houver espaço.

IV. MODELANDO O ASPECTO VISUAL (PADRÃO DE PIGMENTAÇÃO)

Investigando o aspecto visual de folhas, temos que modelar seu padrão de pigmentação. Entre os trabalhos relacionados

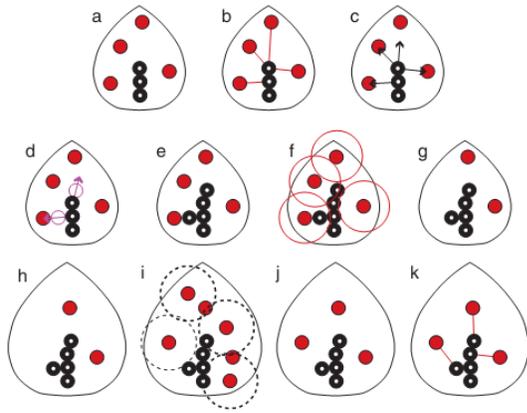


Figura 4. Um passo da iteração do modelo de crescimento da venação de folhas descrito por Runions e colegas[3].

podemos destacar o de Bins, Gamboa e Walter [5] por aplicar-se ao reino vegetal e o trabalho de Turk [6] por utilizar o modelo de Reação-Difusão que apresentou resultados visuais plausíveis em simulações de pigmentação de alguns mamíferos.

A. O modelo MClone

O trabalho de Bins e colegas [5] demonstra uma aplicação do modelo *Mosaico de Clones* (MClone) no contexto de pigmentação no Reino Vegetal, uma vez que usualmente é utilizado no Reino Animal. O modelo MClone foi considerado uma opção viável para formação de padrões no Reino Vegetal inicialmente por Korn [7]. Este modelo considera que o tecido biológico é um mosaico de células, onde células do mesmo tipo se originam de uma única célula mãe. O padrão então surge da simulação da interação entre células de dois tipos diferentes, *background* e *foreground*. Cada tipo de célula tem as seguintes propriedades informadas pelo usuário: cor, taxa de divisão, probabilidade de uma célula ser deste tipo em particular, probabilidade da célula mudar para o outro tipo, e adesão (a força de repulsão entre células).



Figura 5. Resultado do processo de Binsfeld e colegas[5]. À esquerda uma planta real e à direita o resultado simulado.

Uma quantidade inicial de células é espalhada aleatoriamente pela superfície do modelo 3D. Assumindo que a única força atuando nas células resulta destas mantendo seu tamanho sob o controle de adesão, tem-se a mobilidade das células. Para obter-se um equilíbrio utiliza-se um esquema de relaxamentos

que ocorrem a cada “dia” do sistema. A quantidade de relaxamentos por cada dia na iteração é especificada pelo usuário. A relação entre as taxas de divisão de eventos de relaxamento modela o relacionamento entre a divisão celular e a movimentação celular. Podemos ver um dos resultados obtidos na Figura 5.

B. O modelo de Reação-Difusão

O artigo de Turk [6] descreve o modelo de Reação-Difusão inicialmente proposto por Turing [8] como um processo onde dois ou mais compostos químicos difundem-se em taxas desiguais e reagem entre si para formar padrões estáveis como manchas circulares e listras.

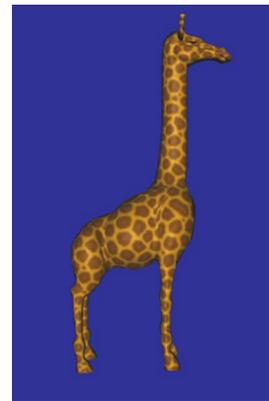


Figura 6. Os padrões visuais (textura) desta girafa foram gerados pela implementação do processo de Reação-Difusão de Turk[6].

Em termos biológicos acredita-se que é um dos possíveis mecanismos para a organização do desenvolvimento animal. Sob esta hipótese, dois ou mais compostos químicos se difundem no embrião e reagem entre si até o padrão estável ser atingido. Esses padrões atuam como gatilhos para que células de diferentes tipos se desenvolvam em diferentes posições do embrião. A Figura 6 ilustra um exemplo da aplicação desse processo para obtenção do padrão de pigmentação de uma girafa.

Para o Reino Vegetal ainda há poucos trabalhos explorando o método de Reação-Difusão. Uma exceção é o trabalho dos pesquisadores Nigel Franks e Nicholas Britton [9] que propõe o uso de Reação-Difusão para explicar o processo de forma geométrica de folhas. Uma das hipóteses do nosso trabalho é que devido à grande semelhança visual entre os padrões deste Reino com o Reino Animal, supor que ambos podem ser regidos pelo mesmo modelo torna-se uma hipótese plausível.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as possíveis limitações que se pode apontar no modelo de Hong [4], está a dependência de imagens reais, que em algumas situações podem não estar disponíveis, e a grande quantidade de intervenção manual requerida para a obtenção da venação. O próprio artigo propõe um trabalho futuro para este último, onde a venação poderia ser extraída da própria entrada, via reconhecimento de imagens. Entretanto, sugere-se

aqui uma abordagem alternativa, onde se substitui as etapas A e B do processo original. pelo processo descrito em Runions e colegas[3], que requer apenas a descrição de parâmetros sobre o crescimento da folha e de sua venação.

Quanto a modelagem dos aspectos visuais, devemos aprofundar a investigação para decidir qual o melhor modelo a utilizar. O modelo MClone de Binsfeld e colegas[5] é um ponto inicial por estar adaptado à nossa necessidade, entretanto o método de Reação-Difusão ([6]) é um forte candidato no aspecto de modelagem de pigmentação e é uma hipótese interessante a ser estudada. Vários trabalhos recentes em Biologia têm utilizado Reação-Difusão como ponto de partida[10]. Além disto tem-se ainda que considerar de que forma o modelo escolhido deverá ser adaptado para trabalhar em conformidade com o algoritmo de Runions e colegas[3].



Figura 7. Envelhecimento simulado por Hong[4].

Uma das aplicações mais interessantes do modelo de Hong[4] é sua utilidade para simular um aspecto de envelhecimento da folha, através de mudança na curvatura e no “desbotamento” da coloração, conforme ilustrado na Figura 7, apesar deste efeito ser obtido pela manipulação direta do modelo. Como o modelo de Runions e colegas[3] simula o crescimento do folha (Figura 8), uma proposta interessante é investigar qual é a melhor teoria para simular esse envelhecimento e juntar esses conhecimentos para modelar inteiramente o ciclo de vida de uma folha.

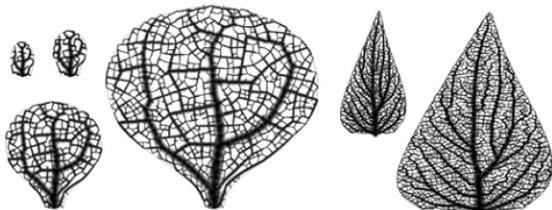


Figura 8. Simulações do Crescimento de folhas feito por [3].

Assim considera-se como passos necessários para realizar estas propostas:

- Testar a viabilidade de renderização em tempo real,

verificando a possibilidade de trabalhar em conjunto com a GPU via CUDA;

- Experimentar alternativas de interfaces de controle;
- Estudar a melhor estratégia para unir as técnicas de modelagem do aspecto visual e de venação;
- Verificar qual a validade biológica da união das técnicas;
- Verificar qual o grau de realismo obtido pelo modelo;
- Investigar qual o fundamento biológico para curvatura e desbotamento que ocorre no envelhecimento da folha e a viabilidade de adicionar isto ao modelo;
- Investigar outros fatores que possam influenciar na curvatura e/ou formato final da folha.

Realizando estes passos, acredita-se ser possível modelar folhas proceduralmente de forma realista e biologicamente plausível, que é nosso objetivo imediato. Após isto, pretende-se reproduzir os resultados com frutos até mesmo talvez com outras partes da planta, o que seria uma grande contribuição para o estado-da-arte atual.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- [1] H. Scholten and A. Lindenmayer, “A mathematical model for the laminar development of simple leaves,” pp. 29–37, 1981.
- [2] P. Prusinkiewicz, M. S. Hammel, and E. Mjolsness, “Animation of plant development,” in *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ser. SIGGRAPH '93. New York, NY, USA: ACM, 1993, pp. 351–360. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/166117.166161>
- [3] A. Runions, M. Fuhrer, B. Lane, P. Federl, A.-G. Rolland-Lagan, and P. Prusinkiewicz, “Modeling and visualization of leaf venation patterns,” pp. 702–711, 2005. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1186822.1073251>
- [4] S. M. Hong, B. Simpson, and G. V. G. Baranoski, “Interactive venation-based leaf shape modeling: Natural phenomena and special effects,” *Comput. Animat. Virtual Worlds*, vol. 16, no. 3-4, pp. 415–427, Jul. 2005. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/cav.v16:3/4>
- [5] R. Binsfeld, J. Gamboa, and M. Walter, “Visual patterns in the plant kingdom,” in *Proceedings of the 2011 24th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*, ser. SIBGRAPI '11. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011, pp. 86–92. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/SIBGRAPI.2011.44>
- [6] G. Turk, “Generating textures on arbitrary surfaces using reaction-diffusion,” *SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 25, no. 4, pp. 289–298, Jul. 1991. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/127719.122749>
- [7] R. W. Korn, “Watermelon stripes. a case for the clonal mosaic model in plants.” *Journal of Theoretical Biology*, 2007.
- [8] A. M. Turing, “The chemical basis of morphogenesis,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, vol. 237, no. 641, pp. 37–72, 1952. [Online]. Available: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/237/641/37.abstract>
- [9] N. R. Franks and N. F. Britton, “The possible role of reaction-diffusion in leaf shape,” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 267, no. 1450, pp. 1295–1300, 2000.
- [10] S. Kondo and T. Miura, “Reaction-diffusion model as a framework for understanding biological pattern formation,” *Science*, vol. 329, no. 5999, pp. 1616–20, 2010.