

Introdução

Os tucanos toco (*Ramphastos toco*) possuem um bico que representa mais da metade de seu comprimento e uma massa pouco expressiva [1], além de sua beleza, o bico desses animais é constituído de um osso com uma vasta rede de pequenos canais internos à estrutura trabecular, como observados na Figura 1, que transportam nutrientes e agem como um imenso radiador biológico, responsável pela maior parte do resfriamento do animal [2]. Parte daí o interesse em caracterizar e analisar a robustez desse sistema no escopo de redes complexas, devida sua estrutura trabecular.

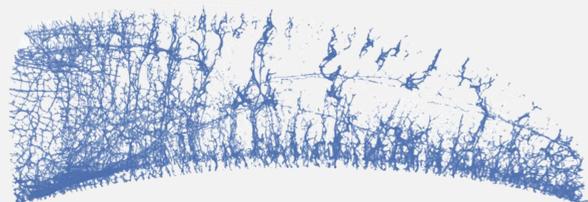


Figura 1 – Rede de canais em um bico de tucano toco.

Metodologias Aplicadas

A partir de tomografias do bico de três tucanos, para cada um, foram realizados uma série de processamentos de imagens para a identificação unitária dos canais. Cada término de canal ou ponto de bifurcação foi representado por um nó, e arestas foram adicionadas a pares de nós ligados por canais. O resultado é um grafo, também chamado de rede complexa, representando a topologia dos canais trabeculares no interior do bico, conforme exemplificado pela Figura 2.

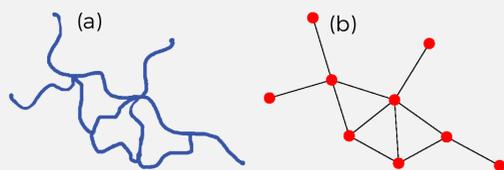


Figura 2 – Exemplificação do processo de conversão de (a) um sistema trabecular para (b) uma estrutura de dados no formato de rede complexa.

Após a obtenção das redes, o sistema de coordenadas dos nós foi alterado, como citado em *Comin et al* [3], de forma a proporcionar uma quantificação dos resultados mais natural em relação ao bico do animal. Com as redes configuradas, foram exploradas algumas formas de caracterização juntamente com a realização de simulações de ataque às redes para verificar sua resiliência.

Resultados de Caracterização

A distribuição de algumas características das redes ao longo das coordenadas dos bicos, conforme mostradas na Figura 3, revelam uma concentração de valores altos de *eigenvector* (*m*) na ponta do bico, que também ficam concentrados na linha média da estrutura (*n*).

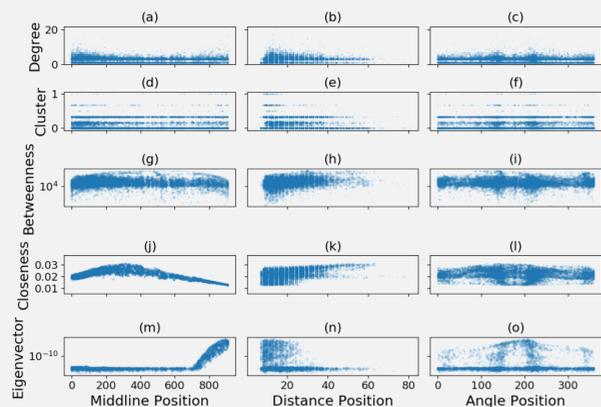


Figura 3 – Propriedades de redes em função de coordenadas relativas.

Na Figura 4 pode-se observar uma distribuição peculiar da propriedade *betweenness*, formando duas estruturas densas no eixo central do bico que se propagam por todo o sistema, indicando uma possível alta sensibilidade da rede nessas regiões.

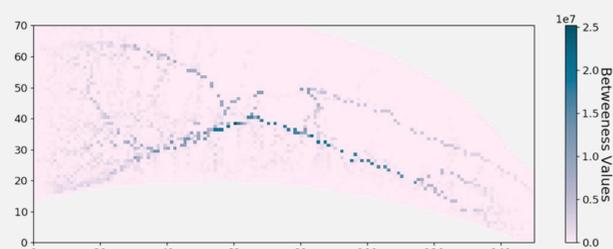


Figura 4 – Distribuição de *betweenness* em um bico de tucano toco.

Resultados de Resiliência

Para determinar a resistência da rede de canais à ataques de acordo com propriedades do bico, foram removidos sucessivamente nós do sistema seguindo uma distribuição estatística relacionada à propriedade em questão. Para cada fração de nós removidos, foi calculado o *tamanho do maior componente conexo* (MCC) da rede restante, gerando como resultado as figuras 5 e 6, que mostram essa função para as propriedades de interesse.

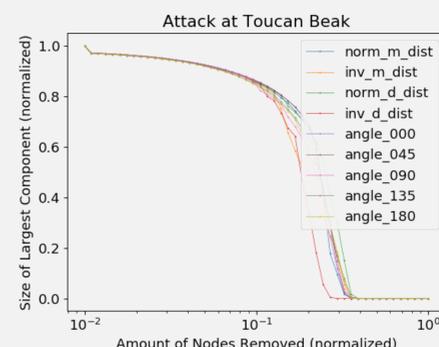


Figura 5 – MCC em função do número de nós removidos de uma rede. Nós foram removidos com base na localização do nó no bico.

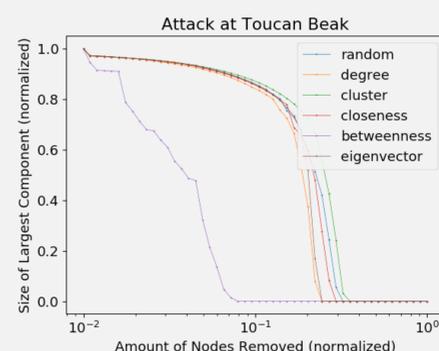


Figura 6 – MCC em função do número de nós removidos de uma rede. Nós foram removidos com base em propriedades da topologia.

Observando o gráfico da Figura 5, não é possível destacar uma curva sobre as demais, indicando que nenhuma coordenada analisada interfere de maneira diferenciada na robustez das redes em questão. Já, no gráfico apresentado pela Figura 6, é nítida a diferenciação da curva de *betweenness* perante as demais, apresentando curiosamente dois comportamentos aproximadamente lineares distintos que levam a uma fragmentação da rede cada vez mais acentuada. Essa quebra mais rápida da rede nessa propriedade está compatível com o que foi observado e proposto durante as análises da Figura 4.

Discussões

A teoria de redes complexas se mostra valiosa ao analisar estruturas interconectadas, disponibilizando ferramentas poderosas para auxiliar a caracterização de sistema interconectados.

Dos resultados encontrados, o mais relevante foi a presença de um esqueleto de nós constituído por dois cordões principais possuindo altos valores de *betweenness* no interior dos bicos. Essa alta concentração leva a uma grande susceptibilidade do sistema à falhas em pontos de menor caminho do fluxo sanguíneo. O bico é relativamente resistente para os outros tipos de falhas analisadas.

Referências

- [1] EKI,Y.; SCHNEIDER, M. S.; MEYERS, M.A. Structure and mechanical behavior of a toucanbeak. *Acta Materialia*, Elsevier, v. 53, n. 20, p. 5281-5296, 2005.
- [2] TATTERSALL, G. J.; ANDRADE, D.V.; ABE, A. S. Heat exchange from the toucan bill reveals a controllable vascular thermal radiator. *science*, American Association for the Advancement of Science, v. 325, n. 5939, p. 468-470, 2009.
- [3] C. H. Comin, et al. Characterizing the trabecular bone tissue of the toco toucanbill, in 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (IEEE, 2018) pp. 1228-1232.