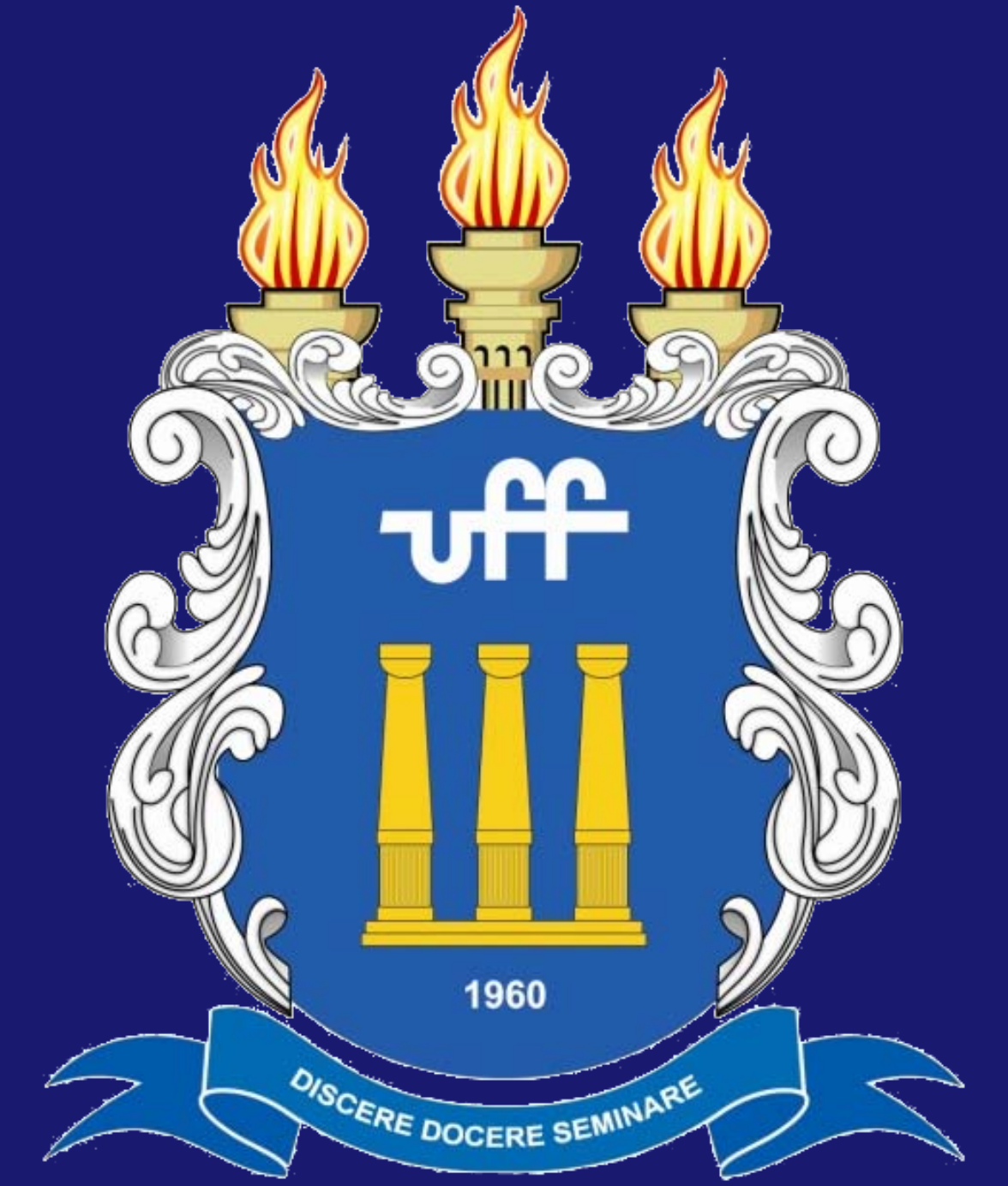


Um novo modelo matemático estocástico para a geração do *jitter* na produção da fala

Lucas W. Monteiro & Edson Cataldo

Universidade Federal Fluminense

lucaswagner@id.uff.br



Resumo

Este trabalho apresenta um modelo matemático estocástico para a produção da voz humana, considerando, em particular, o fenômeno do *jitter* (caracterizado pelos desvios aleatórios do período fundamental do ciclo glotal em relação a um valor médio). Neste trabalho, o modelo estocástico construído é inédito e é proveniente de um modelo determinístico unificado a partir de outros dois modelos conhecidos da literatura para a produção da dinâmica das cordas vocais. Um dos parâmetros desse modelo, a rigidez das cordas vocais, foi considerado como um processo estocástico e, dessa forma, além de ter sido obtido um modelo estocástico unificado, foi possível simular sinais de vozes com *jitter*, obtendo maior qualidade de síntese. Uma outra consequência importante foi que ao variar o nível de *jitter* vozes com características de patologia foram obtidas.

Introdução

A voz possui um caráter cotidiano na transmissão de conhecimentos, sentimentos e emoções. Possui, ainda, importante papel na cultura de um povo, caminhando, por exemplo, entre as artes como o canto e a dublagem. A síntese da voz humana tem um papel mais que teórico, um papel social, podendo melhorar a qualidade de vida de diversas pessoas que perderam a habilidade de se comunicar através da voz, auxiliar deficientes visuais a ter acesso à materiais outrora apenas em texto e identificar patologia nas cordas vocais (valores de *jitter* local superiores a 1,03% podem indicar patologia).

Objetivos

1. Criar um modelo matemático estocástico simplificado para gerar sinais de voz com *jitter*.
2. Sintetizar vozes saudáveis e, também, com caráter patológico.

A Modelagem

A dinâmica das cordas vocais pode ser simplificada através de um sistema massa-mola-amortecedor [3]. Além disso, segundo [1], ao adicionar o termo dissipativo não linear $\hat{C}x_1^2\dot{x}_1$, onde C é uma constante, é possível simular aspectos como a viscoelasticidade dos tecidos e as não-linearidades da aerodinâmica da glote, importantes para a modelagem da dinâmica. A dinâmica da entrada glotal é dada pela Eq. 1. Para inserir os pequenos desvios no comprimento do ciclo glotal, *jitter*, $K(t) = K(t, \omega)$ será considerado um processo estocástico, como na Eq. 2:

$$M\ddot{X}_1(t) + B(1 + \eta X_1^2(t))\dot{X}_1(t) + K(t)X_1(t) = P_m, \quad (1)$$

onde M é a massa das cordas vocais, B a constante de amortecimento, $\eta = \frac{C}{B}$, K o processo estocástico dado pela Eq. 2, representando a rigidez das cordas vocais no tempo, e P_m a pressão média glotal.

$$K(t) = K_0 + (\underline{K} - K_0)(\bar{z} + Z(t))^2, \quad (2)$$

onde K_0 , \underline{K} e \bar{z} são constantes, e $Z(t)$ é um processo estocástico, tal que, $\hat{h} = \frac{a}{i\omega + b}$. Utilizando o método de Euler-Maruyama, é possível encontrar uma solução para a equação diferencial estocástica 1, que modela a entrada glotal.

Resultados

Ao variar a , obtemos curvas diferentes relacionadas com a função densidade de probabilidade (fdp) da variável aleatória chamada de frequência fundamental, definida como o inverso do intervalo de tempo correspondente ao ciclo glotal. Se $a = 0$, a Eq. 1 é determinística; isto é, não há *jitter*. Na Fig.1 é mostrada a fdp para alguns valores de a .

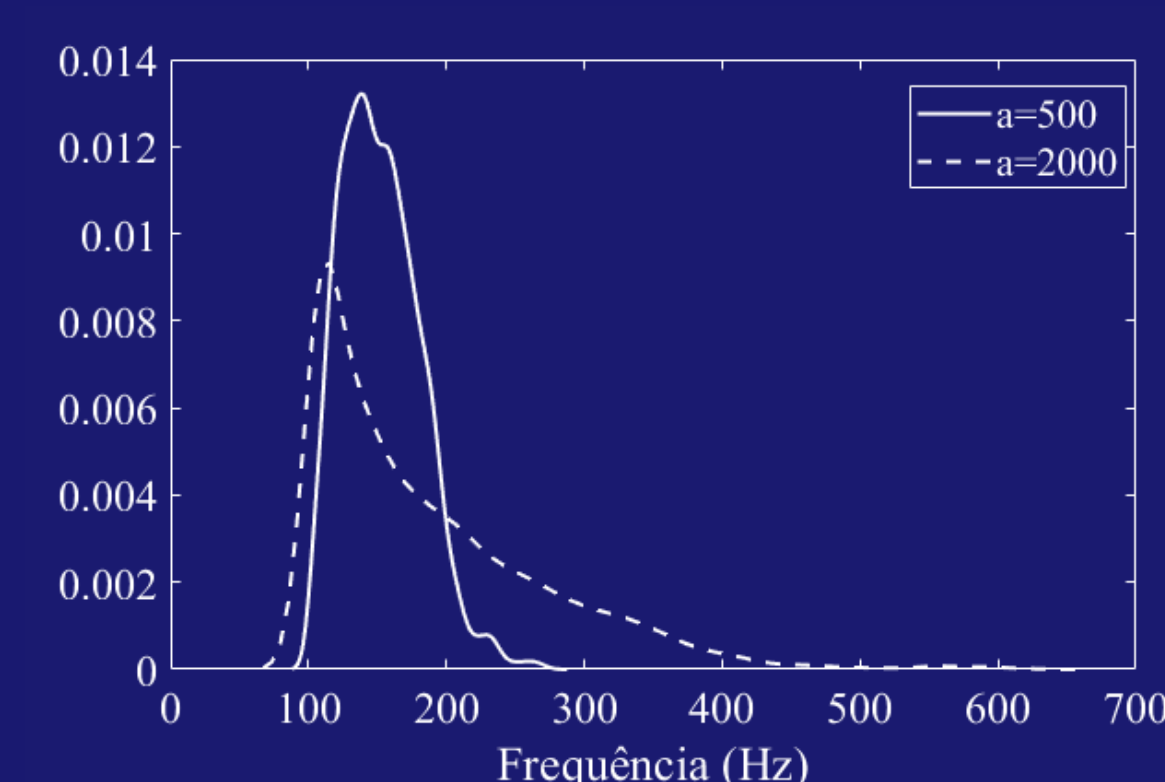


Figura 1: Função densidade de probabilidade da frequência fundamental com valores distintos de a .

Para os valores de $a = 500$ e $a = 2000$ foram obtidas, respectivamente, medidas de *jitter* local de 2,7% e 44,3%. Com estes valores, o fluxo glotal foi simulado e a Fig. 2 mostra os resultados.

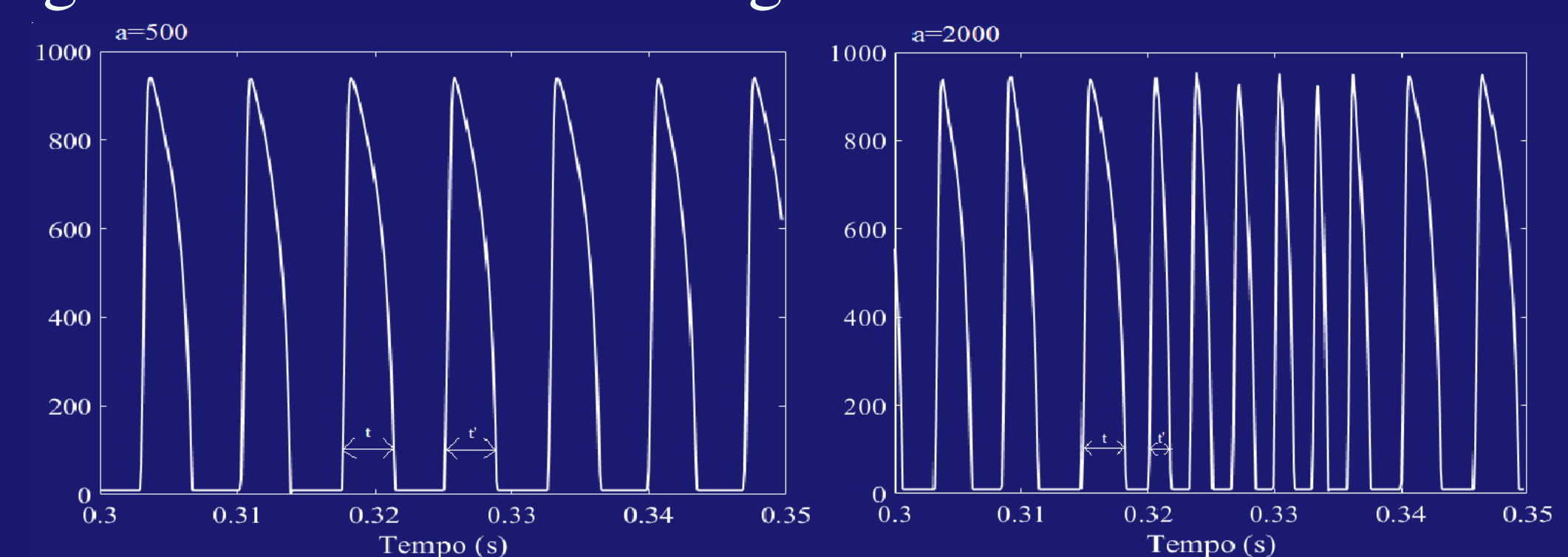


Figura 2: Fluxo glotal produzido com diferentes níveis de *jitter* local

Conclusão

- O fenômeno *jitter* foi simulado, destacando o ineditismo do trabalho.
- Com equações simples, considerando apenas um grau de liberdade para a dinâmica das cordas vocais, e desconsiderando a equação de acoplamento, foi possível obter sinais de vozes com boa qualidade, nos casos de vozes normais e, também, com características de patologia.

Referências

- [1] Laje R. and Gardner T. Continuous model for vocal fold oscillations to study the effect of feedback. *Physical Review E*, 64(056201):056201–1 – 056201–7, 2001.
- [2] Lourenço K. G. Modelagem, análise matemática e validação experimental in vitro da fonação. *Dissertação de doutorado, UNB*, 2013.
- [3] Cataldo E. and Soize C. Voice signals produced with jitter through a stochastic one-mass mechanical model. *Journal of Voice*, 31:111.e9–111.e18, 2017.
- [4] Qureshi T. M. A one-mass physical model of the vocal folds with seesaw-like oscillations. *Archives of acoustics*, 36:15–27, 2011.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPQ pela Bolsa de iniciação científica, ao meu orientador Edson Luiz Cataldo e a minha família por toda paciência.